

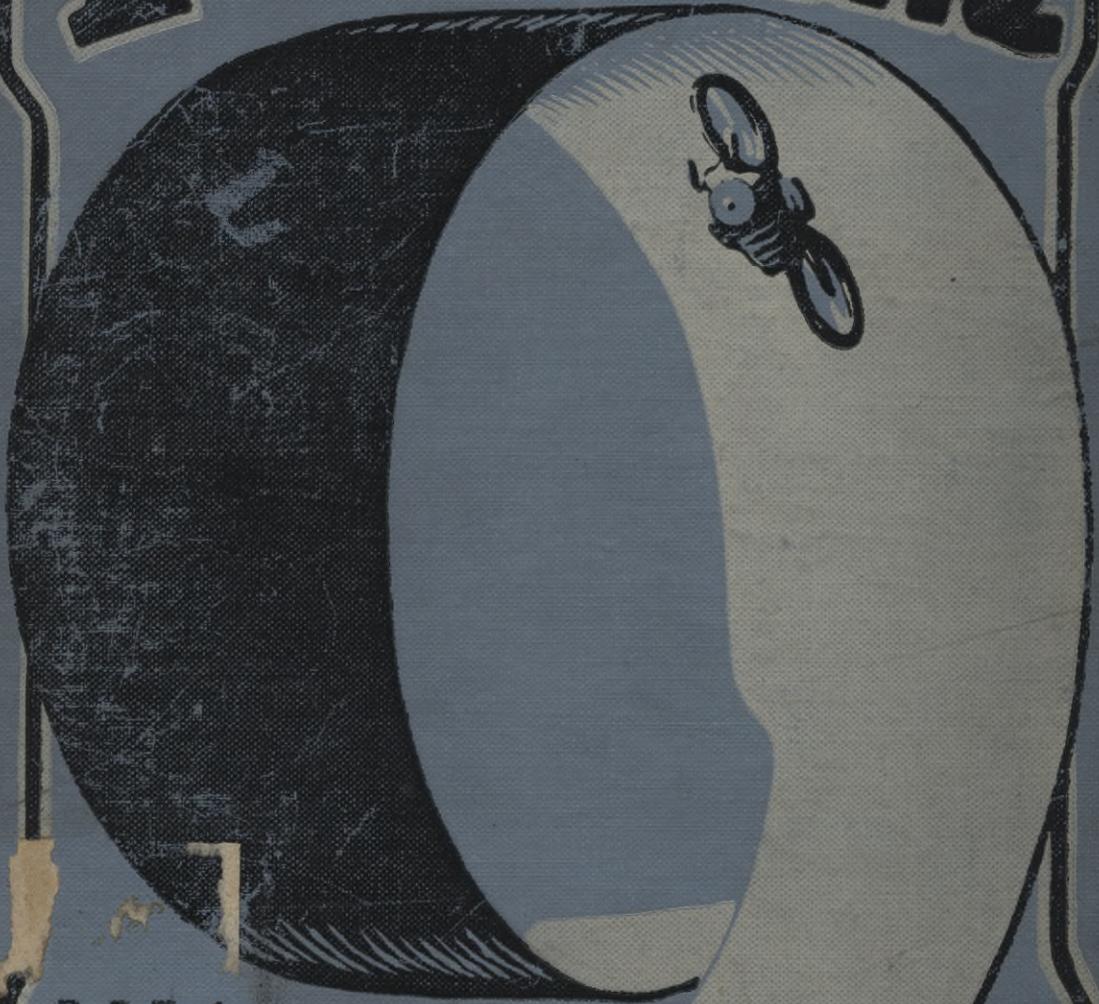
WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw. 3681

atur=

# Paradoxa



B. G. Teubner  
in Leipzig und Berlin

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000294385





# Natur-Paradoxe.

Ein Buch für die Jugend zur Erklärung von Erscheinungen,  
die mit der täglichen Erfahrung im Widerspruch zu stehen scheinen.

Nach Dr. W. Hampson's  
„Paradoxes of nature and science“

bearbeitet von

**Dr. C. Schäffer.**

Lehrerbücherei  
des Städtischen Lyzeums  
zu Oppeln.

Mit 4 Tafeln und 65 Textbildern.

M. ii.



No. 721.

Leipzig und Berlin,  
Druck und Verlag von B. G. Teubner.  
1908.

Ka/19.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

II 3681

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Akc. Nr. 45 / 50

## Vorwort des Herausgebers.

---

Der englische Verfasser dieses Buches hat aus der Fülle des für populäre Behandlung geeigneten naturwissenschaftlichen Experimentierstoffes mit großem Geschicke eine Anzahl von Erscheinungen herausgegriffen, deren Behandlung sich an paradox erscheinende Fragen und Behauptungen anknüpfen läßt. So ist dieses englische Experimentierbuch zu dem eigenartigen Titel „Paradoxes of nature and science“, der in etwas abgeänderter Form auch für die vorliegende deutsche Ausgabe beibehalten wurde, gekommen. Indem das Paradoxe oder scheinbar Paradoxe zum Leitmotiv gemacht wurde, ergab sich eine wesentliche Beschränkung des Stoffes. Es galt nun, widersinnige oder widersinnig erscheinende, wenn möglich den laienhaften Auffassungen des täglichen Lebens widersprechende Probleme und Aufgaben zu suchen, sowie ihre Unlösbarkeit oder Lösbarkeit darzutun. Dadurch waren manche Gebiete, wie z. B. die Elektrizitätslehre, mehr oder weniger ausgeschlossen. Zugleich ist das Buch dadurch mehr als ein bloßes Experimentierbuch geworden.

Das Bestreben des deutschen Bearbeiters ging dahin, wo es irgendwie zulässig erschien, eine an das Original sich eng anschließende Übersetzung oder Übertragung zu liefern. Trotz dieses Bestrebens mußten an mehreren Stellen mehr oder weniger tiefgreifende Veränderungen des Textes erfolgen. Die Gründe dafür sind verschiedener Art. So mußte alles auf spezifisch englische Verhältnisse Bezügliche und für deutsche Leser Unverständliche oder doch Fernliegende abgeändert werden. Es war nicht immer möglich, für die so fortfallenden englischen Einkleidungen entsprechende deutsche Darstellungsformen zu finden. So kommt es, daß stellenweise Kürzungen vorzunehmen waren, die z. T. auch in dem Rest Veränderungen zur Folge hatten. Einige Kürzungen und Umstellungen erfolgten außerdem noch im Interesse der Lesbarkeit,

die bei einer Übertragung aus einer Sprache in die andere so leicht leidet. An mehreren Stellen endlich sind Veränderungen oder selbständige Ergänzungen des englischen Textes vorgenommen, weil der Herausgeber sich mit der Auffassung des englischen Verfassers nicht einverstanden erklären konnte. Das gilt besonders von den Abschnitten: 1. Teil, I, 3 und 4. Teil, VI. Eine Unterscheidung der Zutaten des Bearbeiters von dem Texte des englischen Verfassers durch den Druck ist im Interesse der Einheitlichkeit und mit Rücksicht auf den elementaren Zweck des Buches nicht durchgeführt. — Für einige Verbesserungsvorschläge ist der Bearbeiter Herrn Prof. Grimsehl (Hamburg) zu Dank verpflichtet.

Hamburg, August 1907.

**Dr. C. S.**

## Inhaltsverzeichnis.

Einleitung . . . . .	Seite 1
----------------------	------------

### Erster Teil.

#### Mechanische Paradoxe.

##### I. Wagen und andere Transportmittel.

1. Ein Wagen, welcher auf wagerechtem Boden leichter beladen als leer zu ziehen ist . . . . .	5
2. Wenn ein Eisenbahnzug mit einer stündlichen Geschwindigkeit von 90 km vorwärtsfährt, welche Teile desselben bewegen sich dann mit etwa 15 km Geschwindigkeit rückwärts? . . . . .	8
3. Gibt es ein Segelboot, welches sich schneller bewegt als der Wind, der es treibt? . . . . .	10

##### II. Drehbewegungen.

1. Das Wunderrad, das sich ohne sichtbare Ursache bewegt . . . . .	14
2. Feste Körper, welche der Schwerkraft trotzen . . . . .	20

##### III. Rollende und fliegende Bewegung.

1. Die intelligenten Billardkugeln . . . . .	26
2. Bälle um die Ecke zu werfen. . . . .	30
3. Bumarangs . . . . .	34
4. Ballons als Luftschiffe . . . . .	41
5. Der Weg eines Vogels in der Luft . . . . .	47

##### IV. Flüssigkeiten und Dämpfe.

1. Ein Pfund hält einem Zentner das Gleichgewicht . . . . .	51
2. Flüssigkeiten, die nicht fallen; Wasser, das bergan fließt . . . . .	55
3. Erhöhung des Gewichts ohne Vermehrung der Masse . . . . .	59
4. Abstoßung und Anziehung, durch dieselbe Ursache erzeugt. . . . .	63

##### V. Mißverständliche Anwendungen des Hebelgesetzes.

1. Die vermeintlichen Vorteile einer winkelförmigen Fahrradkurbel . . . . .	67
2. Die immerfort sich drehende Mühle . . . . .	71

## Zweiter Teil.

**Paradoxe Erscheinungen aus der Lehre von den inneren physikalischen Zuständen.**

I. Gefrieren und Schmelzen.		Seite
1. Eis zu schmelzen, während es kälter wird . . . . .		77
2. Eis zu schmelzen, ohne Wärme zuzuführen oder Kälte zu erzeugen . . . . .		79
3. Eis zu zerschneiden, ohne die Teile zu trennen. . . . .		80
4. Eis, welches in einem Gefäß mit kochendem Wasser nicht schmilzt. . . . .		82
5. Ausdehnung und Zusammenziehung, beides durch dieselbe Ursache hervorgebracht. . . . .		83
6. Sprengwirkung des gefrierenden Wassers . . . . .		87
II. Dampf und Verdampfung.		
1. Sprengwirkung des erhitzten Wassers . . . . .		88
2. Explosion oder Zusammenbruch? . . . . .		92
3. Wasser durch Abkühlung zum Sieden zu bringen. . . . .		94
4. Wie man mit wenig Wasser einen Gegenstand stärker fühlen kann als mit viel Wasser. . . . .		96
III. Wärmeleitung.		
1. Ein Gefäß, welches zu heiß ist, um Wasser darin zu kochen . . . . .		98
2. Wer taucht die Hand in geschmolzenes Blei? . . . . .		100
3. Das Gehen auf rotglühenden Steinen (die Abbildung nach Davey Honolulu) . . . . .		100
IV. Merkwürdige Dampfströme.		
1. Wer bewegt die Hand durch einen heißen Dampfstrahl? . . . . .		103
2. Wie der Schwächere den Stärkeren besiegt. . . . .		104
V. Leicht verdunstende Flüssigkeiten.		
1. Wie kann man eine Flüssigkeit durch Sieden zum Gefrieren bringen? . . . . .		106
2. Kann Eis Wärme liefern? . . . . .		111
VI. Angebliche immerwährende Bewegung.		
1. Flüssige Luft und immerwährende Bewegung . . . . .		113
2. Eine „unererschöpfliche“ Wärmequelle . . . . .		115
3. Eine nie stillstehende Uhr. . . . .		116
VII. Magnetismus.		
Ziehen ohne Tau . . . . .		118

## Dritter Teil.

**Chemische Paradoxe.**

## I. Merkwürdige chemische Vereinigungen.

	Seite
1. Das Feuer als Wasserquelle . . . . .	127
2. Das Wasser als Wärmequelle . . . . .	128
3. Stoffe, die gleich zusammengesetzt und doch ungleich sind . . . . .	130

## II. Atomzerfall.

1. Der Stein der Weisen . . . . .	132
2. Umwandlung von Elementen im allgemeinen . . . . .	135

## Vierter Teil.

**Biologische Paradoxe.**

## I. Einiges vom Bau des menschlichen und tierischen Körpers.

1. Das Pferd als Ballettänzer . . . . .	139
2. Pumpen ohne Kolben . . . . .	143

## II. Das Auge und das Sehen.

1. Ein blinder Fleck in einem gesunden Auge . . . . .	148
2. Das Doppelsehen . . . . .	150
3. Wer kann durch die Hand sehen? . . . . .	153
4. Blau und Gelb bringen nicht Grün hervor . . . . .	155
5. Wie man nach einer Farbe sieht und eine andere erblickt . . . . .	156

## III. Die Augen als falsche Zeugen.

1. Entgegengesetzte Bewegungen können gleich aussehen . . . . .	157
2. Parallele, die nicht parallel erscheinen, und Parallele, die nicht parallel sind . . . . .	160
3. Falsche Beurteilung von Höhen . . . . .	163
4. Scheinbare Lückenlosigkeit (Kontinuität) von Gesichtswahrnehmungen . . . . .	165

## IV. Die Ohren als falsche Zeugen.

1. Das Bauchreden . . . . .	167
2. Scheinbare Lückenlosigkeit von Schalleindrücken . . . . .	171

## V. Das Gefühl als falscher Zeuge.

1. Das Wärmere erscheint kälter . . . . .	172
2. Schmerzen im Fuß, wenn das Bein amputiert ist . . . . .	173
3. Augenblicklicher Gehorsam ist unmöglich . . . . .	174
4. Scheinbare Lückenlosigkeit von Berührungsreizen . . . . .	175

Anhang: Ein mathematisches Paradoxon.		Seite
Achilles holt die Schildkröte nicht ein . . . . .		176

## Tafeln.

I. Kanadische Eisboote (reproduziert mit Erlaubnis der Kanadischen Regierung) . . . . .	13
II. Ein Australier, einen Bumarang werfend . . . . .	34
III. Eine Schleifenbahn (reproduziert mit Erlaubnis von Sydney N. Hyman Ltd.) . . . . .	61
IV. Der große Gletscher an der Kanadischen Pazifikbahn (reproduziert mit Erlaubnis von W. Notman & Son, Montreal). . . . .	82

---

## Einleitung.

---

Lieber Leser! Dem Schreiber dieser Zeilen begegnete einst ein Mensch, der sich ein Vergnügen daraus machte, immer das Gegenteil von dem zu behaupten, was man im allgemeinen für wahr hält. Mit Vergnügen erinnern sich seine Zuhörer noch nach vielen Jahren der unterhaltenden Stunden, die sich ergaben, wenn es nun galt, die paradoxen Behauptungen auf ihre Richtigkeit zu prüfen. Jener Spaßvogel verstand es meisterhaft, seine widersinnigen oder doch widersinnig erscheinenden Sätze zu verteidigen, und nicht selten stellte sich zum großen Erstaunen aller Zuhörer und Mitstreitenden heraus, daß doch ein Körnchen Wahrheit — ja manchmal sogar ein ganz großes Korn! — in den Paradoxen und Rätseln unseres Freundes steckte. Er war aber nicht nur ein Spaßvogel. Oft lag ein „tiefer Sinn im kindischen Spiele“. Keiner von uns allen, die wir das Glück hatten, mit ihm zu leben, ging davon, ohne reiche geistige Anregung mitzunehmen.

Solch einen belehrenden und unterhaltenden Freund, lieber Leser wünsche ich auch dir. Er wird dir manche Stunde, die anderen leer ist, mit wertvollem Inhalt füllen helfen. — Nun fragst du mich: Wo finde ich aber einen solchen Freund? Sieh dich um, er ist stets bei dir. Schau hinein in die Natur und das Walten ihrer Kräfte! Sieh den Kreislauf an, den da eben jener Knabe peitscht! Auch er ist ja ein Stück Natur. Warum fällt er denn nicht um?

Immer noch steht er auf seiner Spitze und tanzt umher, wie wenn es keine Schwerkraft gäbe, die ihn zu Boden reißen will. Da hast du also ein wahres Natur-Paradoxon! Willst du es verstehen lernen, so brauchst du deinen Freund, die Natur, nur richtig zu fragen. Wenn du gelernt hast, in ihrer Sprache zu reden, so wird sie dir stets die unverfälschte Wahrheit antworten. Dieses Buch aber soll dir zeigen, wie du es anzufangen hast, sie zum Sprechen zu bringen. Nimm es und laß es dir zum guten Freunde werden!

---

Erster Teil.

Mechanische Paradoxe.



## I. Wagen und andere Transportmittel.

### 1. Ein Wagen, welcher auf wagerechtem Boden leichter beladen als leer zu ziehen ist.

Wenn Reisende, die von Japan zurückkehren, uns erzählen, daß der Jinrikisha-Führer<sup>1)</sup> einen Passagier in seinem kleinen Wagen (Fig. 1)

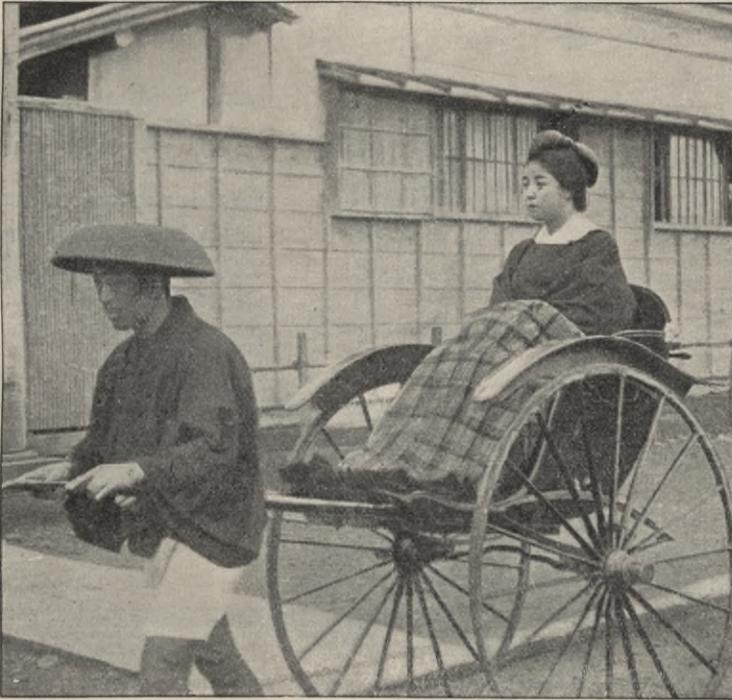


Fig. 1. Eine japanische Jinrikisha.

in einem Tage 40 Kilometer weit oder mehr zu ziehen vermag, so nehmen wir mit Rücksicht auf die wunderbare Ausdauer der Japaner,

1) Sprich: Dschinrickscha. Jin = Mensch, riki = Kraft, sha = Wagen.

die wir in der letzten Zeit kennen gelernt haben, auch das als glaubhaft hin. Wenn man uns aber weiter erzählt, daß der Zinrikisha-Mann, selbst wenn er keinen besonderen Lohn für die Mehrarbeit erhält, lieber seinen Passagier zurückfährt, als seinen Wagen leer zurückzieht, so steigt in uns der Verdacht auf, daß man uns Jägerlatein aufsticht. Tatsächlich läßt sich aber die Zinrikisha auf einem wagerechten Wege, der sich in gutem Zustande befindet, leichter beladen ziehen als leer. Wie mag sich das erklären? Zunächst wissen wir, daß es weit leichter ist, 3 Zentner in einem leichten Wagen auf einem Bahngelise entlang zu ziehen, als 1 Zentner auf dem Rücken zu tragen, denn diese Art, die Last zu befördern, verlangt von den Beinen, daß sie ein Mehrgewicht von 1 Zentner tragen. Der Zinrikisha-Führer, der mit seinem leeren Wagen zurückkehrt, hat sein eigenes Gewicht mit seinen Beinen

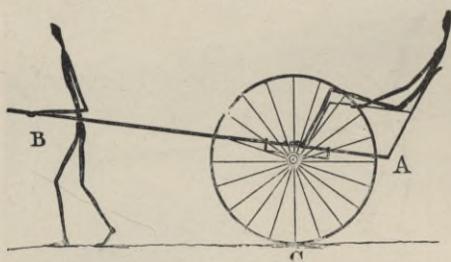


Fig. 2. Gleichgewicht an der beladenen Zinrikisha.

zu tragen. Es würde ein gutes Geschäft für ihn sein, wenn er einen Teil seines Gewichtes von seinen Beinen auf die Räder übertragen könnte, selbst wenn diese außerdem noch doppelt so viel zu tragen hätten, als seinen Beinen abgenommen wurde. Aber die Zinrikisha ist nicht so gebaut, daß man darauf sitzen und zu gleicher Zeit sie vorwärtsbewegen kann, wie man es bei einem Zweirad tut. Die einzige Art, wie man einen Teil seines Gewichtes auf die Räder übertragen kann, während man die Zinrikisha zieht, besteht darin, daß man sich auf die Deichsel stützt.

Nun ist der Oberteil des Wagens so leicht, daß der geringste Druck auf die Deichsel ihn in die Höhe hebt. Um also die Deichsel zu befähigen, einen ansehnlichen Teil seines Gewichtes zu tragen, muß der Führer hierfür ein Gegengewicht schaffen, indem er eine nicht zu kleine Masse auf dem Sitze seines Fuhrwerks anbringt. Dieses Gegengewicht muß beträchtlich schwerer sein als derjenige Teil seines eigenen Gewichtes, von dem er befreit werden will, da der Angriffspunkt des Gegengewichts dem Drehungspunkt näher und daher sein Hebelarm kürzer ist. Ein Passagier wird in der Tat ein geeignetes Gewicht für diesen Zweck liefern.

Wenn in der Fig. 2 der Schwerpunkt des Passagiers (über *A*) halb so weit hinter der über *C* liegenden Radachse liegt wie *B*, der Punkt, auf den der Führer einen Teil seines Gewichts überträgt, vor derselben sich befindet, so ist klar, daß der Hebelarm für *B* doppelt so lang ist wie für *A*. Wenn daher der Mann und sein Passagier von demselben Gewichte sind, so hält das halbe Gewicht des Führers dem ganzen Gewicht des Passagiers das Gleichgewicht. Ruht aber das halbe Gewicht des Mannes bei *B* auf der Deichsel, so braucht er nur noch die andere Hälfte mit seinen Beinen zu tragen. Das ist eine große Erleichterung. Andererseits ist die Arbeit, das Passagiergewicht und das halbe Eigengewicht auf leichten Rädern auf einem guten Wege entlang zu ziehen, sehr klein. Keinesfalls kann sie den Gewinn aufheben, der darin liegt, daß der Mann seine Beine von dem halben Körpergewicht befreit hat. So ist die *Jinrikisha* tatsächlich leichter beladen als leer zu ziehen.

Es ist wohl unnötig, zu sagen, daß der japanische *Jinrikisha*-Führer für gewöhnlich seinen Passagier nicht ohne Entgelt zurückfährt. Aber, wenn er es verweigert, so geschieht das mehr aus kaufmännischen als auch mechanischen Gründen.

Diese Auseinandersetzung trifft nicht zu, wenn die Fahrt bergauf geht. In solchen Fällen kommt zu der Zugarbeit die Arbeit, welche nötig ist, um ein gegebenes Gewicht auf eine verlangte Höhe zu bringen. Wollte man diese Arbeit durch Aufnahme eines Passagiers verdoppeln, so würde dadurch der Gewinn, der aus der Übertragung des eigenen halben Körpergewichts auf die Räder entspringt, mindestens aufgehoben. Ähnliches gilt für den Fall, daß die Wege erweicht sind. Die Zugarbeit wird dann vermehrt durch das Einschneiden der Räder in den Boden. Für die leichte *Jinrikisha* selbst ist der Effekt unbedeutend; aber wenn das Gewicht eines Passagiers und das halbe Gewicht des *Jinrikisha*-Mannes hinzukommt, so wird die Sache ernster, und ein Passagier, der kein Fahrgeld bezahlt, würde unwillkommen sein. Es würde von Interesse sein, zu wissen, ob man versucht hat,

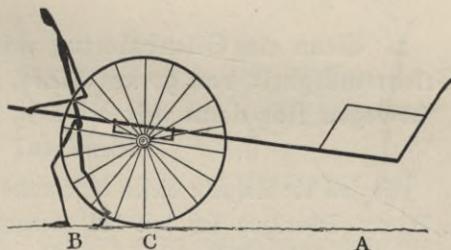


Fig. 3. Vorschlag zur Erzielung von Gleichgewicht an der leeren *Jinrikisha*.

den Vorteil der Verminderung des Körpergewichts auch für den Fall zu sichern, daß kein Passagier da ist. Es scheint, daß dieses erreicht werden könnte, wenn man die Deichseln so befestigte, daß sie in dem Achsengestell verschoben werden könnten. Wenn der Sitz  $\frac{1}{4}$  des Körpergewichtes des Führers ausmachte, würde er den vierfachen Hebelarm erfordern, um dem ganzen Körpergewichte, den doppelten Hebelarm, um dem halben Körpergewicht das Gleichgewicht zu halten. Wenn kein Passagier vorhanden ist, schiebe man den Sitz zurück, wie das die Fig. 3 zeigt, bis  $AC$  dreimal so lang ist wie  $BC$ . Dann kann der Mann  $\frac{3}{4}$  seines Gewichtes auf den Deichseln ruhen lassen, mit anderen Worten, seine Beine von  $\frac{3}{4}$  seines Körpergewichtes befreien, ohne zu dem Gesamtgewicht, welches beim Bergaufgehen zu heben ist, noch etwas hinzuzufügen.

**2. Wenn ein Eisenbahnzug mit einer stündlichen  
Geschwindigkeit von 90 km fährt, welche Teile desselben  
bewegen sich dann mit etwa 15 km Geschwindigkeit  
rückwärts?**

Es soll die Aufgabe dieses Abschnittes sein, zu zeigen, daß, wenn z. B. ein Schnellzug sich mit der obengenannten Geschwindigkeit bewegt, stets kleine Teile an jedem Wagen, an der Lokomotive und dem Tender zu finden sind, welche sich buchstäblich mit einer stündlichen Geschwindigkeit von 15 km rückwärts bewegen. Wie ist das möglich?

Nimm eine kreisförmige Scheibe, etwa von der Größe eines Zweimarkstückes und ziehe einen Radius  $AC$  (Fig. 4). Lege die Scheibe flach auf den Tisch gegen den Rand eines dünnen, flachen Lineals oder eines anderen Gegenstandes, der dünner ist als die Scheibe und zwar so, daß die Scheibe das Lineal mit dem Punkte  $C$  berührt. Nun rolle die Scheibe ein wenig rückwärts und vorwärts am Lineal entlang, so daß der Punkt  $B$  sich um 2—3 mm verschiebt. Die genaueste Beobachtung wird keine Bewegung des Punktes  $C$  entdecken lassen. Erst wenn die Scheibe ein wenig weiter gerollt wird, so daß  $B$  sich um 4—5 mm fortbewegt, so wird die Bewegung des Punktes  $C$ , von der Kante des Lineals fort, erkennbar. Dagegen wird keinerlei Vorwärts- oder Rückwärtsbewegung des Punktes in der Richtung des Lineals zu sehen sein.

Diese Tatsache möge man in größerem Maßstabe untersuchen, indem man ein Zweirad so weit fortschiebt, bis es durch ein senkrechtcs Hindernis, etwa eine Hauswand, aufgehalten wird. Nun bringe man einen Kreidestrich an dem tiefsten Punkte des Rades und auf dem Boden darunter an. Darauf entferne man die Maschine ein wenig von der Wand, und wenn sie um 25 mm verschoben ist, wird die gezeichnete Stelle des Rades sich dem Anschein nach überhaupt nicht bewegt haben. Wenn das Zweirad langsam ein wenig weiter zurückgeschoben wird, so ist die erste sichtbare Bewegung des bezeichneten Punktes eine Bewegung vom Boden fort, also nach oben. Eine Verschiebung des Kreidestriches von der Wand fort ist noch immer nicht zu erkennen.

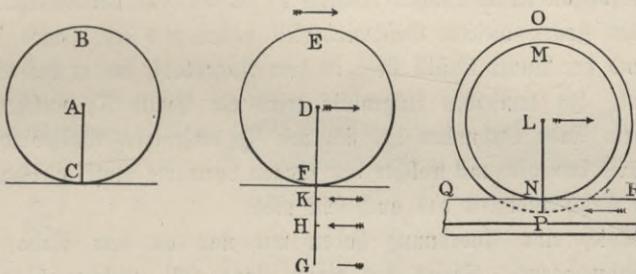


Fig. 4. Zum Beweise, daß gewisse Teile eines Eisenbahnwagens sich rückwärts bewegen.

Tatsächlich hat also bei allen Rädern und bei allen Geschwindigkeiten der den Boden berührende Teil innerhalb sehr kurzer Zeiträume so gut wie gar keine Bewegung, so daß, selbst wenn ein Eisenbahnzug 1 km in der Minute zurücklegt, jedes Rad in jedem Augenblicke einen Teil hat — nämlich den tiefsten Teil, der in diesem Augenblicke auf dem Geleise ruht, — welcher sich, praktisch gesprochen, überhaupt nicht vorwärts bewegt.

Nachdem dieses festgestellt ist, nehme man ein dünnes Stäbchen, welches doppelt so lang ist wie die Strecke AC, und klebe es in der Lage DG an der Scheibe fest, so daß also seine halbe Länge über den Rand vorragt. Nun bringe man die Scheibe in dieselbe Lage wie vorher, mit dem Punkte F gegen die Kante des Lineals, während die äußere Hälfte FG des Stäbchens über die Kante hinausragt. Man rolle die Scheibe wieder leicht rückwärts und vorwärts, indem man den Punkt G am äußersten Ende des Stäbchens beobachtet. Man wird sehen, daß er sich stets in der entgegengesetzten Richtung wie der

Punkt  $D$  bewegt, so daß, wenn  $D$  sich längs des Lineals 1 mm nach rechts bewegt,  $G$  sich 1 mm nach links verschiebt.  $F$  ist währenddessen der Mittelpunkt eines Kreises, dessen Durchmesser  $DG$  ist, und die Endpunkte des Durchmessers bewegen sich in entgegengesetzten Richtungen. Ein Punkt  $H$ , der von  $F$  nur halb so weit entfernt ist wie  $G$ , bewegt sich nur halb so weit und daher, weil die Zeit dieselbe ist, nur mit der Hälfte derjenigen Geschwindigkeit rückwärts, mit welcher sich  $D$  vorwärts bewegt. Wenn die Strecke  $FK$   $\frac{1}{6}$  von  $FG$  beträgt, so wird  $K$  sich um  $\frac{1}{6}$  des Betrages rückwärts vorchieben, um den  $D$  vorwärts kommt.

Wenn  $EF$  ein Rad ist und  $D$  der Mittelpunkt der Achse, mittels welcher es an einem Wagen befestigt ist, so wird  $D$  notwendigerweise zu allen Zeiten dieselbe Geschwindigkeit haben wie der Wagen selbst, während der Punkt  $F$  still steht in dem Augenblick, wo er den Boden berührt. In demselben Augenblick wird ein Punkt  $K$ , welcher fest mit dem Rade verbunden ist, sich mit  $\frac{1}{6}$  derjenigen Geschwindigkeit rückwärts bewegen, mit welcher der Wagen vorwärts läuft, gleichgültig, welche Geschwindigkeit das auch sein mag.

Solch eine Anordnung haben wir nun an dem Rade eines Eisenbahnwagens. Dieses hat einen Rand  $OP$ , welcher über den rollenden Umfang  $MN$  vorragt. Wenn der Radius  $LN$  48 cm lang und der Rand  $NP$  8 cm breit ist, dann bewegt sich der Punkt  $P$ , der 8 cm unter der Oberfläche des Geleises liegt, mit  $\frac{1}{6}$  der Geschwindigkeit der Achse und deshalb auch mit  $\frac{1}{6}$  der Geschwindigkeit des Zuges rückwärts.

So hat also, wenn ein D-Zug mit 90 km stündlicher Geschwindigkeit westlich in der Richtung nach Hamburg fährt, jedes Rad eines jeden Wagens in jedem Augenblick einen Teil an seinem Spurkranz, welcher sich mit 15 km stündlicher Geschwindigkeit ostwärts in der Richtung nach Berlin bewegt.

### 3. Gibt es ein Segelboot, welches sich schneller bewegt als der Wind, der es treibt?

Der Wind kann Schiffe treiben, indem er auf zweierlei Weise gegen die Segel bläst, entweder senkrecht oder schräg. Wenn das Schiff sich in derselben Richtung bewegen soll, in welcher der Wind weht, so wird das Segel quer gestellt. Der Wind trifft dann senkrecht auf

die Fläche des Segels und treibt dieses und das Schiff in seiner eigenen Richtung vorwärts. Das ist in der Anordnung der Fig. 5 dargestellt, in welcher das Boot  $AB$ , getrieben durch das Segel  $CD$ , sich in derselben Richtung wie der Wind bewegen soll, nämlich von  $B$  nach  $A$ , wie es die Pfeile andeuten.

Die zweite und dritte Anordnung zeigen Beispiele für den zweiten Fall. Wenn das Schiff  $EF$  nach links fahren soll, während der Wind in derselben Richtung wie in dem ersten Beispiel weht, so muß das Segel  $GH$  schräg gestellt werden. Der bei  $G$  anlangende Teil der Luft, der das Bestreben hat, sich nach  $L$  zu bewegen, findet in dem Segel ein Hindernis und kann nicht vorwärts kommen, ohne das Hindernis zuvor fortgeschoben zu haben. Nun kann die Luft aber das

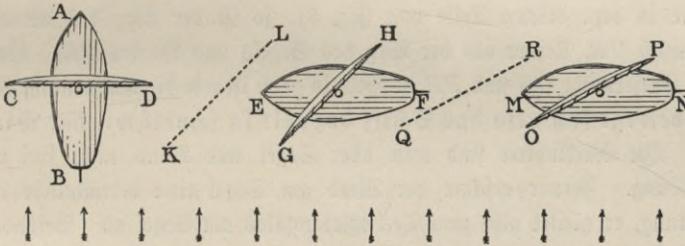


Fig. 5. Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Segelstellung.

Segel nicht in ihrer eigenen Bewegungsrichtung fortschieben, weil das Schiff quer zu dieser Richtung liegt und gesteuert wird. Es kann, wenn seine Bug nach links zeigt, mit einer gewissen Leichtigkeit sich nur in seiner Längsrichtung, also nach links verschieben. Das Segel wird deshalb, weil es fest mit dem Schiff verbunden ist, nach links zur Seite geschoben und läßt so den Luftstrom vorbeiziehen.

Die Geschwindigkeit des Schiffes wird zum Teil von dem Winkel abhängen, den das Segel mit der Windrichtung bildet. Nehmen wir vorläufig an, daß die Luft und das Segel vollkommen reibungslos sind, so daß sie aneinander entlang streichen, ohne etwas von ihrer Kraft einzubüßen. Nehmen wir ferner an, daß das Schiff und das Wasser ebenfalls reibungslos sind und daß keine Kraft verloren geht, während das Schiff das Wasser zur Seite drängt. Dann wird der Wind, wenn er von  $G$  nach  $L$  gerichtet ist, das Segel leicht so weit nach links beiseite schieben, daß sein Weg nach  $L$  frei wird. Wie

groß diese Verschiebung sein muß, das hängt, wie nun gezeigt werden soll, von der Stellung des Segels ab.

Wenn das Boot in einer Richtung segelt, welche senkrecht zur Windrichtung steht und das Segel mit der Fahrtrichtung und folglich auch mit der Windrichtung einen Winkel von  $45^\circ$  bildet (wie in dem zweiten Beispiele der Fig. 5), so muß das Segel von  $GH$  nach  $KL$  verschoben werden, um die Bahn für den Wind freizumachen. Dann ist  $GLH$  ein gleichschenkelig-rechtwinkliges Dreieck, und zwar ist  $GL = HL$ . In der Zeit, in der der Wind die Strecke  $GL$  zurücklegt, macht dann das Segel einen Weg, der gleich  $LH$  ist, das heißt aber: das Boot bewegt sich ebenso schnell wie der Wind.

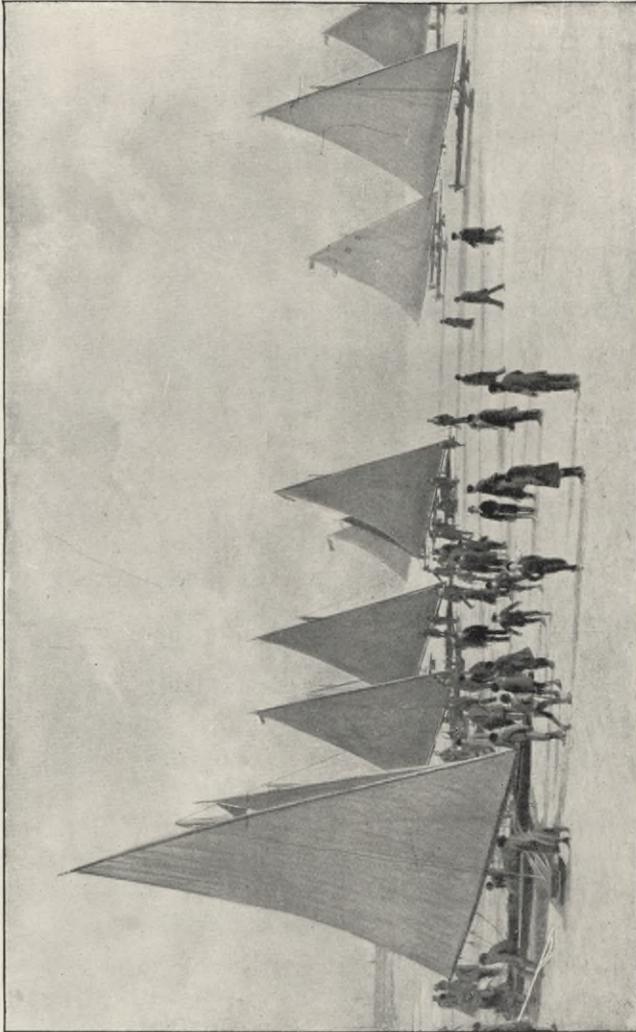
Wenn jedoch bei gleicher Windrichtung und Fahrtrichtung das Segel mit der Windrichtung einen Winkel bildet, der größer ist als  $45^\circ$  (wie in dem dritten Teile von Fig. 5), so ist der Weg des Windes, nämlich  $OR$ , kleiner als der Weg des Segels und Bootes  $PR$ . Wenn die Entfernung  $OQ$  und  $PR$  doppelt so groß ist wie die Entfernung  $OR$ , so bewegt sich also das Schiff doppelt so schnell wie der Wind.

In Wirklichkeit sind nun aber Segel und Wind nicht frei von Reibung. Ferner erfährt der Wind am Segel eine beträchtliche Ablenkung, er gleitet also zum Teil wirkungslos am Segel ab. Besonders viel Kraft ist erforderlich, die Reibung und den Widerstand des Wassers zu überwinden, um das Wasser unter Wellenbildung beiseite zu schieben. Es kommt ferner hinzu, daß das Boot sich nicht wie ein Keil, der einen Baumstamm spaltet, zwischen starren Flächen bewegt. Es wird vielmehr durch den seitlich kommenden Wind seitlich „abgetrieben“, und so geht ein weiterer nicht unbeträchtlicher Teil der Energie des Windes für die Vorwärtsbewegung verloren.

Die wirkliche Geschwindigkeit des Schiffes entspricht also nicht den Verhältnissen unserer Zeichnung. Sie wird bei gewöhnlichen Schiffen weit hinter der Geschwindigkeit des Windes zurückbleiben.

Anderß würde es sein, wenn es gelänge, die Reibung der Luft am Segel, die Reibung zwischen Schiff und Wasser, sowie das seitliche Abtreiben zu beseitigen oder doch nahezu zu beseitigen. Dann könnte es möglich sein, ein Boot zu schaffen, das sich schneller bewegt, als der seitlich kommende Wind. Daß die erste Bedingung sich nicht erfüllen läßt, liegt auf der Hand. Anders ist es mit der zweiten.





Kanadische Eisboote.

Tatsächlich gibt es schon eine Art des Segelns, bei der die wirksamste Reibung, nämlich diejenige zwischen Schiff und Wasser auf einen sehr geringen Betrag herabgesetzt ist. Wir denken an das sogenannte Eisboot (vgl. Tafel I), welches auf den großen Seen der Vereinigten Staaten und Kanadas, wenn in strengen Wintern ihre Oberfläche gefroren ist, für Sportzwecke in Gebrauch ist. Diese Eisboote bestehen aus einem Gestell, welches auf großen, Schlittschuhen ähnlichen Rufen, die auf dem Eise gleiten, aufgebaut ist. Es ist mit einem Mast und Segel versehen, um dem Winde treibende Kraft abzugewinnen. Damit ist der Kraftverlust, der dadurch entsteht, daß das Wasser beiseite geschoben werden muß, beseitigt und die Reibung des „Bootes“ an seiner Unterlage ganz außerordentlich vermindert. Auch von seitlichem Abtreiben kann bei dieser Einrichtung nicht mehr die Rede sein. Bei diesem Boote wird also zweifellos die Energie des Windes in einer außerordentlich günstigen Weise ausgenutzt. Man sieht ein, daß seine Geschwindigkeit sich unter Umständen derjenigen des Windes weit mehr nähern wird als die Geschwindigkeit irgendeines anderen Bootes.

Wie aber steht es mit der Beantwortung der in der Überschrift aufgeworfenen Frage? Kann es ein Boot geben, das sich mit größerer Geschwindigkeit bewegt, als der Wind, der es treibt? Es gibt Personen, die das auf Grund der von uns oben ausgeführten Betrachtungen für das Eisboot — und zwar bei seitlichem Winde! — bejahen haben. Wenn aber das Eisboot bei schräg gestelltem Segel sich schneller bewegen sollte als der Wind, dann müßte doch wohl bei quergestelltem Segel und von hinten in der Fahrtrichtung wehendem Winde (Fig. 5, *AB*) dieses Boot sich fast so schnell bewegen wie der Wind. Bedenken wir doch, wie außerordentlich günstig dann der Wind das Segel trifft! Seine Richtung steht senkrecht zu derjenigen des Segels; das Abgleiten der Luftteilchen an der Segelfläche entlang ist also ganz außerordentlich erschwert. Wieviel leichter wird die Luft an dem Segel *OP* abgleiten! Nun ist aber eine Geschwindigkeit des Schiffes *AB*, die der Geschwindigkeit des Windes sehr nahe kommt, ganz ausgeschlossen, und zwar wegen der Reibung des Bootes auf dem Eise und wegen der leichten Verschiebbarkeit der Luftteilchen, welche stets zu einem teilweisen Abfließen der Luft an der Rückseite des Segels führen muß. Ist aber nicht einmal in dem Falle des Bootes *AB* die Geschwindig-

keit des Windes annähernd zu erreichen, so wird man trotz der so verlockenden mathematischen Betrachtungen dem Eisboote die Fähigkeit absprechen müssen, schneller zu fahren, als der Wind weht.

## II. Drehbewegungen.

### 1. Das Wunderrad, das sich ohne sichtbare Bewegung dreht.

Der Verfasser hatte einst Veranlassung, die Luft eines Zimmers an verschiedenen Punkten auf leichte Strömungen nach unten und oben zu untersuchen. Für diesen Zweck erfand er eine Einrichtung, welche leicht von jedem zu Hause angefertigt werden kann. Ihre Herstellung wird deshalb im folgenden genau beschrieben werden.

Ziehe mit Bleistift auf einem Blatt starken Schreibpapiers zwei aufeinander senkrecht stehende gerade Linien  $AB$  und  $CD$  (Fig. 6).

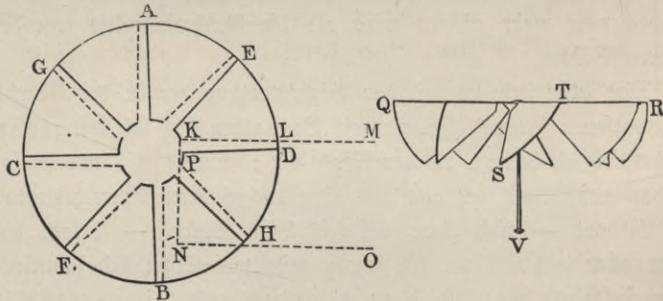


Fig. 6. Herstellung des Wunderrades.

Ziehe darauf zwei andere  $EF$  und  $GH$ , welche die entstehenden Winkel halbieren. Um den Schnittpunkt dieser Linien als Mittelpunkt schlage einen größeren Kreis  $ACBD$  von etwa 6 cm und einen kleineren von etwa  $1\frac{1}{2}$  cm Durchmesser. Wenn dieses mit einem Zirkel geschieht, so muß vermieden werden, daß die Zirkelspitze im Mittelpunkt ein Loch erzeugt. Um dieses zu vermeiden kann man ein kleines Stück Gummi, Blech, Leder oder Pappe an die Stelle legen, wo die Linien sich schneiden und die Zirkelspitze darauf setzen. Wenn die Kreise gezeichnet sind, zieht man die punktierten Linien der Fig. 6 (ausgenommen  $MKN$ ).

Nun schneide mit Schere oder Messer den größeren Kreis aus. Alsdann schneide an den nicht punktierten, zum Centrum laufenden

Linien entlang bis zum kleinen Kreise und von dem inneren Ende jedes dieser Schnitte mache auf dem kleinen Kreise einen Schnitt, der halb bis zu dem inneren Ende des nächsten Schnittes reicht. Diese letzteren Schnitte sind in der Fig. 6 ebenfalls durch nicht punktierte Linien bezeichnet. Das annähernd dreieckige Stück *EKL* und die anderen ebenso gestalteten werden nun an den punktierten Linien entlang so aufgebogen, daß sie mit dem Tische Winkel von  $45^\circ$  bilden. Das ist am besten auszuführen, indem man über den schmalen Streifen, der nicht aufgebogen werden soll (*KPDL*), ein flaches Lineal in der Lage *MKNO* mit seiner Kante längs der punktierten Linie *KL* legt. Indem man diese Kante fest niederdrückt, schiebt man das Ende eines Tischmessers unter das Stück *EKL*, biegt es auf und drückt es mit dem Rücken des Messers gegen die Kante des Lineals, so daß eine scharfe Einknickung längs der Linie *KL* entsteht. Die übrigen 7 Stücke behandelt man ebenso. Jetzt nimmt man einen Bleistift mit abgerundeter Spitze. Die Spitze darf nicht scharf, aber auch nicht breit und flach sein. Diesen drückt man senkrecht mit seiner Spitze gegen den Mittelpunkt des auf dem Tische liegenden Rädchens, nachdem man einige Lagen weichen Papiers, etwa Zeitungspapier, darunter gelegt hat. Dreht man den Stift nun zwischen den Fingern, so entsteht eine kleine kegelförmige Vertiefung im Mittelpunkt. Vermeiden muß man, daß der Stift ein Loch durch das Papier bohrt. Wenn man die Scheibe umdreht und von der Seite betrachtet, so wird sie aussehen wie in *QR*. Nun nimmt man eine gewöhnliche Stecknadel und macht die Spitze etwas stumpf, indem man sie an einem feinkörnigen Steine oder einem Gegenstande von ähnlicher Oberfläche reibt. Man trage Sorge, daß keine Haken oder Zacken an der Spitze entstehen. Die Spitze muß glatt und abgerundet sein, aber trotzdem fein. Jetzt halte man die Nadel mit Daumen und Zeigefinger in der Lage *V* und lege die Scheibe mit der Vertiefung auf die Nadelspitze. Die aufgebogenen Dreiecke hängen nach unten.

Dieser kleine Apparat ist ein sehr empfindliches Anemometer. Sein Gewicht ist sehr gering, die Berührungsfläche zwischen dem Papier und der Nadelspitze außerordentlich klein und die Vertiefung im Papier durch den Bleistift gut geglättet. Das Rädchen wird sich deshalb sehr leicht drehen. Der leichteste Luftzug, der von oben oder unten auf die schrägen Flügel ebenso trifft wie auf die Flügel einer Windmühle

oder auf das schräggestellte Segel eines Bootes, bewirkt, daß diese schrägen Flächen sich verschieben und somit das Rädchen in Drehung versetzen. Strömt die Luft nach oben, so wird sie, indem sie gegen die untere Fläche des Flügels  $ST$  stößt, diesen von rechts nach links treiben, während die Flügel an der Rückseite in ähnlicher Weise von links nach rechts getrieben werden. Strömt die Luft aber abwärts, so wird sie, wenn sie von oben auf  $TS$  trifft, den Flügel nach rechts schieben, während die Rückseite der Scheibe nach links getrieben wird.

Sobald man die Scheibe auf die Nadelspitze legt und sie ruhig hält, findet man, daß sie sich plötzlich dreht, indem die Vorderseite nach links geht. Offenbar ist gerade da, wo man steht, ein aufsteigender Luftstrom, der vielleicht zu schwach war, um vorher beobachtet zu werden.

Man gehe mit dem Rädchen in einen anderen Teil des Zimmers, wo man keinen Luftzug zu finden erwartet. Der Apparat beginnt wieder, sich zu drehen, und zwar in derselben Richtung wie vorher. Augenscheinlich ist also auch dort ein aufsteigender Luftstrom. Untersucht man noch andere Teile des Zimmers, so kommt man zu demselben Ergebnis.

Wenn oben im Zimmer ein Fenster gegen einen starken Wind geöffnet und so gestellt ist, daß es den Luftzug abwärts leitet, so entsteht unter dem Fenster eine starke absteigende Luftbewegung, welche sogleich das Rad in Bewegung setzt, aber in eine solche, die der vorigen entgegengesetzt ist.

Sehen wir von solchen besonderen und gewissermaßen gewaltsamen Unterbrechungen der regelmäßigen Erscheinung ab, so werden wir in einem Zimmer, in welchem nach unserer bisherigen Ansicht die Luft überall durchaus stillstand, an jeder Stelle Anzeichen eines deutlichen Aufwärtsströmens finden. Es hat den Anschein, wie wenn die Luft überall von unten durch den Fußboden dringt, in dem ganzen Zimmer aufsteigt und durch die Decke entweicht.

Oder ist hier irgendeine andere geheimnisvolle Kraft am Werke, um das Rädchen in der Umdrehung zu erhalten? Der Verfasser hat ein anderes Exemplar aus dünnem Aluminiumblech gemacht, mit vier größeren Flügeln statt der acht kleinen. Jeder Flügel hatte einen solchen Umriß, daß er einem Vogel mit ausgebreiteten Flügeln und Schwanzfedern ähnelte, und war mit dem Mittelpunkte durch das

Ende des inneren Flügels verbunden. An Stelle der einfachen Schiefstellung der Flügel, wie wir sie bei dem Papierrädchen beschrieben haben, war hier eine kunstvolle Anordnung der Flügel und Schwänze getreten, welche die natürliche Haltung von Vögeln bei einigen ihrer Flugbewegungen nachahmte. Dieser Apparat verhielt sich nun genau so wie das Papierrädchen. In jedem Teile eines Zimmers, wo man die Luft für ruhig halten mußte, begann es sich langsam zu drehen. Alle Beobachter der Erscheinung waren außerordentlich überrascht davon, ohne eine befriedigende Erklärung geben zu können. Einige nahmen magnetische Kräfte oder elektrische Entladungen aus den Spitzen der Flügel an.

Den wahren Schlüssel zur Erklärung findet man aber, wenn man die Stecknadel nicht mit der Hand festhält, sondern in irgendeiner anderen Weise befestigt. Man nehme einen schmalen Streifen steifer Pappe oder einen Holzstab und befestige die Nadel nahe dem einen Ende, indem man sie bis zum Kopfe hindurch treibt. Den Pappstreifen befestige man so, daß er über die Kante eines Tisches oder Borts vorragt, etwa dadurch, daß man ein Buch auf das Ende ohne Nadel legt. Darauf lege man das Rädchen auf die Nadelspitze und ziehe sich etwas zurück. In einem ruhigen Zimmer zeigt das Rad jetzt keinerlei Bewegung. Hält man aber die Hand darunter, so beginnt es sich zu drehen. Es ist also klar, daß die treibende Kraft von der untergehaltenen Hand stammt.

Tatsache ist, daß die Hand gewöhnlich wärmer ist als die umgebende Luft. Die Temperatur des Blutes tief unter der Körperoberfläche ist etwa  $37^{\circ}$  C. Die Lufttemperatur im Zimmer möge  $20^{\circ}$  C. betragen. Die Hände sind aber stets kühler als das Körperblut, weil sie fortwährend Wärme abgeben, indem sie die Luft erwärmen. Wärme dehnt die Körper aus, und so bewirkt die Wärme der Hände, indem sie auf die mit ihnen in Berührung befindliche Luft übergeht, eine Ausdehnung dieser Luft. Ausgedehnte Luft ist weniger dicht und daher weniger schwer. Da hierdurch das Gleichgewicht gestört ist, so wird sie von der schwereren, nicht erwärmten Luft emporgedrängt, gerade so wie die heiße, ausgedehnte, leichte Luft über einem Feuer im Ofen durch die kältere, dichtere, schwerere Luft des Zimmers im Schornstein hinaufgepreßt wird. Wir erzeugen so einen beständigen, von den Händen und vom Gesicht aufsteigenden Luftstrom. Dieser ist so schwach, daß

er für gewöhnlich unserer Aufmerksamkeit entgeht. Wenn aber ein beträchtlicherer Teil der Haut in erhitztem Zustande kalter Luft ausgesetzt wird, so ist der Strom leicht zu beobachten.

Wenn ein kahlköpfiger Herr, der eine ziemliche Strecke von der Eisenbahnstation wohnt, sich an einem kalten Wintermorgen sehr erhitzt hat, indem er von einem verspäteten Frühstück zur Station eilte und wenn er dann findet, daß der ungewöhnlich pünktliche Zug schon fort ist und er auf den nächsten warten muß, so wird er nicht selten während der Wartezeit sich den Schweiß abwischen. In dem Augenblick zwischen dem Abnehmen des Hutes und der Anwendung des Taschentuchs, kann man eine Säule von Dampfwolken, die durch die kalte Luft verdichtet sind, von seinem Kopfe aufsteigen sehen. Sie zeigen uns mit großer Deutlichkeit die Richtung des aufsteigenden Stromes, der dadurch verursacht wird, daß die Wärme seines Kopfes die Luft erwärmt und dadurch leichter machte.

Aufsteigende Luftströme, die in ähnlicher Weise durch eine örtliche Wärmequelle verursacht sind und die mit entsprechenden absteigenden Strömen, die durch örtliche Abkühlung erzeugt sind, sich zu mehr oder weniger kreisförmigen Strömen verbinden, spielen in der Naturgeschichte unserer Erde eine wichtige Rolle.

Ein gutes Beispiel für Luftströme, die durch örtliche Abkühlung hervorgerufen sind, liefern uns die Luftströme, die an Zimmerfenstern entstehen. Im Zusammenhang damit wird es der Mühe wert sein, eine Geschichte etwas näher zu betrachten, die nicht selten erzählt wird, und die eigentlich ein unschöner Scherz auf Kosten eines älteren Herrn ist.

In der Zeit, wo große, klare Glasscheiben noch neu und selten waren, saß ein solcher Herr, der zum ersten Male ein Haus, das mit diesem Glase ausgestattet war, besuchte, nahe einem Fenster, das von oben bis unten ohne jede Sprosse war. Nach einiger Zeit legte er die Hand auf seinen Kopf, der nicht von Haar geschützt war, und beklagte sich, da sein Sehvermögen auch nicht das beste war, darüber, daß er sich durch den Zug vom offenen Fenster her eine Erkältung zugezogen habe. Man erklärte ihm, daß das Fenster tatsächlich geschlossen sei; da er sich aber eingebildet hatte, daß es offen sei und daß er sich infolge des Luftzuges erkältet habe, so hatte er tatsächlich alle Unannehmlichkeiten einer schlimmen Erkältung während der nächsten

14 Tage zu erdulden. Das erzählt man als ein bemerkenswertes Beispiel für die Gewalt der Einbildungskraft, für die wunderbare Gewalt des Geistes über den Körper. Er hatte sich durch seine eigene Einbildung erkältet!

Es ist aber nicht notwendig, diesen Schluß zu ziehen. Obgleich das Fenster geschlossen war, kann ein deutlicher kalter Luftzug von ihm ausgegangen sein. Wenn das Zimmer gut durchwärmt war und die Außenluft kühl, war es sicher so; denn die kalte Außenluft kühlt das Glas, das kalte Glas kühlt die Innenluft, die mit ihm in Berührung kommt. Die Abkühlung bewirkt eine Zusammenziehung der Luft, sie wird dichter und schwerer, sinkt folglich nieder und bewegt sich nach der Mitte des Zimmers, während andere Luftmassen oben sich nach dem Fenster hin verschieben, um ebenfalls dort abgekühlt zu werden. So ist eine Kreisströmung entstanden, deren einer Teil der kalte Strom vom Fenster her ist, welcher sehr wohl dem alten Herrn seine Erkältung verschafft haben kann, obwohl das Fenster geschlossen war.

Eben solche Ströme entstehen in größerem Maßstabe in einer Versammlungshalle, welche eine fensterlose Wand auf einer Seite und eine Reihe von Fenstern auf der andern Seite hat. Ist die Außenluft kalt, so kühlt sie die Glasfenster ab, diese wieder die Innenluft. Diese Innenluft sinkt nieder, bewegt sich quer durch den unteren Teil der Halle, wo sie durch die Wärme der versammelten Menschen oder durch künstliche Heizung erwärmt wird. An der den Fenstern gegenüberliegenden Seite steigt sie auf, um sich oben wieder an den Fenstern hin zu bewegen. Ist auch die Decke in größerer Ausdehnung von Glas oder anderem dünnem Material, so ist die Abkühlung noch stärker. Die Wirkung kann so bedeutend werden, daß auf den Gallerien von solchen großen Hallen Flammen, statt aufwärts zu brennen, durch den Luftzug wagerecht fortgeblasen werden, auch wenn kein offenes Fenster, keine offene Thür oder dergleichen in der Nähe ist.

Wenn wir bedenken, was für erstaunliche Luftbewegungen durch so mäßige Ursachen entstehen, und wenn wir mit ihnen die furchtbare Kraft der Sonnenhitze in den — Millionen von Quadratkilometern umfassenden — Tropen vergleichen sowie die gewaltigen Gebiete strengster Kälte um die Pole herum, so haben wir keinen Grund, erstaunt zu sein über die Gewalt der schrecklichsten Stürme, die auch nur solche Luftströmungen in größerem Maßstabe sind. Die Winde, welche Schiffe

und Windmühlen bewegen, sind in jeder Beziehung den kleinen aufsteigenden Luftströmen ähnlich, welche von unserer Hand aufsteigen und die Umdrehung unseres kleinen „Wunderrades“ verursachen.

## 2. feste Körper, welche der Schwerkraft trotzen.

Der Apparat, mit welchem wir uns in diesem Abschnitte beschäftigen wollen, führt den Namen Gyroskop und ist in Lehrmittelhandlungen, hier und da wohl auch als Spielzeug, käuflich. Wer aber mit der Säge, z. B. einer Laubjäge, umzugehen versteht, kann leicht einen guten Ersatz dafür selbst herstellen.

Nimm ein ebenes, astfreies Brett und zeichne darauf einen Kreis von 12—15 cm Durchmesser. Säge sorgfältig auf dieser Kreislinie

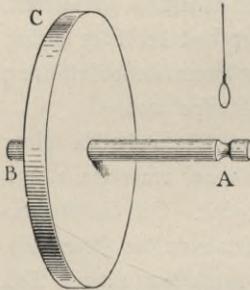


Fig. 7. Gyroskop eigener Konstruktion.

entlang, bohre durch den Mittelpunkt ein Loch und befestige darin eine Achse, so daß sie auf der einen Seite 8—10 cm, auf der andern Seite 5 cm vorragt. Ein hölzerner Federhalter wird eine gute Achse darstellen. Die Achse muß möglichst genau senkrecht zum Rade und möglichst genau in der Mitte angebracht werden. An ihrem längeren Teile, nahe dem Ende, mache eine tiefe Kerbe, wie es die Fig. 7 bei A zeigt. Nun verfertige einen kleinen Drahttring, der gerade so weit ist, daß er sich

eben über die Achse schieben läßt. Diesen schiebe bis zur Kerbe und drücke ihn dann etwas zusammen, damit er nicht wieder abgleiten kann. Endlich befestige an dem Drahttring eine feine Schnur (oder einen starken Zwirnsfaden), die fast so lang ist wie die Entfernung eines Fensters in einem oberen Stockwerke vom Erdboden. Der Apparat ist jetzt fertig.

Die Schnur wird nun auf die Achse gewickelt. Zu diesem Zwecke wickelt man sie zuerst ein paar mal fest um das Ende der Achse, um sie zu befestigen. Darauf faßt man das Ende B mit der rechten Hand, legt A auf eine Tischkante, führt mit Daumen und Zeigefinger der linken Hand die Schnur und wickelt sie, indem man die Achse mit der rechten Hand dreht, auf. Das letzte Ende der Schnur muß dicht neben dem Rade aufgewickelt sein.

Jetzt lehnt man sich aus dem Fenster heraus oder besser noch über das Geländer eines Balkons, hält das Ende der Schnur in der

linken Hand, gibt dem Rade, indem man es bei *C* anfaßt, eine senkrechte Lage (wie in Fig. 7) und läßt es los, indem man ihm mit der rechten Hand einen kräftigen Antrieb zur Abrollung der Schnur gibt.

Man sollte nun meinen, daß die Radachse, da sie nur an einem Ende durch die Schnur unterstützt ist, während des Herunterfallens sich senkrecht stellt (das Ende mit der Schnur nach oben, das andere durch das Gewicht des Rades nach unten). Zum größten Erstaunen derjenigen, welche noch kein Gyroskop beobachtet haben, wird es aber in der Lage, die die Fig. 7 zeigt, verharren. Je weiter es fällt, desto schneller wird es sich drehen, bis endlich die Schnur ganz abgewickelt ist. Dann wird es sich noch einige Zeit unter Beibehaltung seiner Lage in dem Drahtring weiter drehen, scheinbar in offenem Widerspruch mit dem bestbegründeten Naturgesetze, dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung (Gravitation) oder der Schwere.

Würde das Rad sich nicht drehen und würden wir versuchen, seine Achse in wagerechter Lage zu erhalten, in dem wir nur das eine Ende derselben durch die Schnur unterstützen, so würde der Versuch zu einem lächerlichen Mißerfolg führen. Wie kann nun die Umdrehung des Rades das unmöglich Scheinende möglich machen? Bevor wir daran gehen, dieses dem Nichtmathematiker zu erklären, wollen wir einige Eigenschaften des Gyroskops an einem künstlichen Apparat von etwas weniger einfachem Bau kennen lernen.

Solch ein Gyroskop zeigt uns die Fig. 8, in welcher *A* eine Metallscheibe mit verdicktem und deshalb recht schwerem Rande ist und *B* ein kreisförmiger Rahmen, an welchem die zugespitzten Enden der Achse durch Schrauben (*C* und *D*), welche am Ende eine Vertiefung besitzen, befestigt sind. Eine Schnur, welche durch ein Loch nahe dem einen Ende der Achse gezogen ist, wird um die Achse gewickelt. Durch Abziehen der Schnur kann das Rad in sehr schnelle Umdrehung versetzt werden.

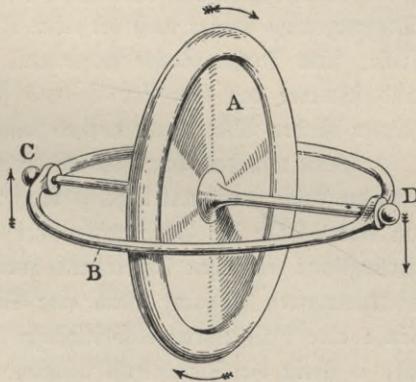


Fig. 8. Künstliches Gyroskop.

Halte das Gyroskop, während es sich rasch dreht, in senkrechter Lage lose an den beiden Schraubenköpfen *C* und *D*. Versuche, das Instrument derart zu neigen, daß der Kopf *C* gehoben, der Kopf *D* gesenkt wird. Das sich drehende Rad wird dieser Drehung einen großen Widerstand entgegensetzen, und es ist sehr wahrscheinlich, daß es der Hand dessen, der zum ersten Male damit experimentiert, entgleitet. Es verhält sich fast, als ob es lebend wäre, und trägt scheinbar eine absichtliche Widerspenstigkeit zur Schau. Es kann leicht gehoben und gesenkt werden, denn sein Gewicht bleibt unverändert; auch kann es seitwärts, vorwärts und rückwärts bewegt werden, ganz wie jeder andere Körper, vorausgesetzt, daß seine Drehungsebene und Drehungsachse immer nach derselben Richtung zeigt. Aber jedem Versuche, seine Drehungsachse zu neigen, widersteht es sich. Je größer und schwerer das Gyroskop ist und je schneller es sich dreht, desto stärker ist der Widerstand, den es leistet.

Wenn nun das Gyroskop sich dreht, die Fläche des Rades vertikal und die Achse horizontal liegt, so kann man es, wie wir gesehen haben, an einem Ende der Achse unterstützen, entweder, wie in unserem ursprünglichen einfachen Experiment durch eine Schnur oder bei einem vollkommeneren Apparat durch eine Säule, welche an ihrem oberen Ende eine schüsselförmige Vertiefung hat. Wenn es in dieser Lage ist, so strebt die Schwerkraft danach, es niederzuziehen. Das könnte in diesem Falle nur dadurch geschehen, daß das nicht unterstützte Ende sich nach unten neigt, so daß die eine Fläche schräg nach oben, die andere schräg nach unten gekehrt sein würde.

Wie wir gesehen haben, ermöglicht die schnelle Umdrehung unserem Rade, diesem Zuge nach unten mit beträchtlicher Kraft zu widerstehen, so daß die erwartete Neigung der Achse nicht zustande kommt. Wie erklärt sich das?

Bevor wir die Frage beantworten, ist aber noch festzustellen, daß die Lage der Achse doch nicht absolut unveränderlich ist. Ist die Bewegung des Rades sehr schnell, so bemerken wir freilich von der Neigung nichts. Sie macht sich aber um so deutlicher bemerkbar, je mehr die Geschwindigkeit abnimmt. Wir haben also, genau genommen, nur das Bestreben beobachtet, die Achse in ihrer ursprünglichen Lage, also horizontal, zu erhalten.

Es ist ein allgemeines Naturgesetz, von dem man bis jetzt keine

Ausnahmen kennt, daß jeder Körper bestrebt ist, in dem Zustande zu verharren, in dem er sich befindet. Man nennt es das Trägheitsgesetz oder das Gesetz vom Beharrungsvermögen. So ist auch ein sich bewegender Körper bestrebt, seine Bewegung immer mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung aufrecht zu erhalten. Die Kraft, mit der er etwaigen Hindernissen widersteht, wächst mit seinem Gewicht und seiner Geschwindigkeit.

In einer sich drehenden Masse z. B. hat jedes Teilchen des Umfanges in jedem Augenblicke die Tendenz, sich in der Richtung einer geraden Linie zu bewegen, welche auf dem Radius seiner kreisförmigen Bahn senkrecht steht, d. h. in der Richtung einer Tangente des Kreises. Wir sehen das an dem Steine in der Schleuder, welcher, nachdem er eine Zeit lang im Kreise bewegt worden ist, nach dem Verlassen der Schleuder nicht seine kreisförmige Bahn weiter verfolgt, sondern denjenigen Teil seiner Bewegung fortsetzt, in dem er sich im Augenblicke des Freiwerdens befand, daß er also geradlinig in der Richtung der Tangente fortfliegt. Das selbe sehen wir an schlammigen Wagenrädern, welche sich schnell drehen. Die Schlammtröpfchen bewegen sich, wenn sie sich vom Rade lösen, wie der Stein, der die Schleuder verläßt, und zeigen deutlich, welches ihre Bewegungsrichtung in dem Augenblicke des Loslöfens war. Diese sogenannte „Trägheit“ der Körper erklärt nun auch das Streben unseres Gyroskops, in seiner einmal angenommenen Lage zu verharren. Betrachten wir aber die Erscheinung noch etwas genauer!

In Fig. 9 soll  $ABC$  ein von der Kante gesehenes Gyroskop darstellen, welches sich so dreht, daß der vordere Teil des Rades sich aufwärts, der hintere sich abwärts bewegt. Der höchste Punkt  $A$  geht also vorwärts, der tiefste Punkt  $C$  rückwärts. Die Teilchen am hinteren Randteil in der Höhe der Achse haben somit das Bestreben, sich senkrecht nach oben in der Richtung  $BM$  zu bewegen. Diese sollen nun genauer betrachtet werden.

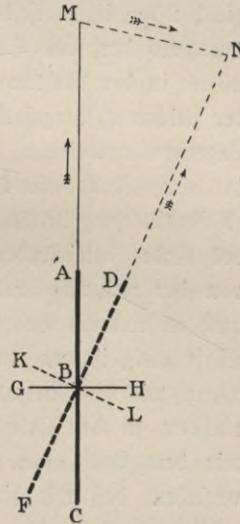


Fig. 9. Warum das Gyroskop einer Veränderung der Achsenneigung widerstrebt.

Man neige das Gyroskop so, daß es in der Ebene  $DBF$  und seine Achse in der Richtung  $KL$  liegt. Die eben genannten Teilchen werden dann bestrebt sein, sich in der Richtung  $BN$  loszulösen. Nehmen wir an, der Rand des Rades bewege sich mit einer Geschwindigkeit von 50 m in der Sekunde. Dann würden, wenn der Rand sich plötzlich in seine kleinsten Teile auflösen würde, diejenigen im Hintergrunde 50 m in einer Sekunde in der Richtung  $BN$  fliegen, während sie vor der Drehung 50 m in der Richtung  $BM$  sich bewegt hätten. Da, wenn  $BM$  eine Strecke von 50 m darstellt,  $MN$  etwa gleich 20 m ist, so ist das Resultat dasselbe, wie wenn sich die Teilchen innerhalb derselben Sekunde 50 m in der Richtung  $BM$  und dann 20 m in der Richtung  $MN$  bewegt hätten. Es ist also, um die in der Zeichnung dargestellte Neigung des Rades gegen seine ursprüngliche Lage hervorzubringen, eine Kraft nötig, welche die betrachteten Teilchen in einer Sekunde um 20 m fortbewegen könnte. Mit anderen Worten: es ist ein ganz beträchtlicher Teil der ursprünglichen, die Umdrehung des Rades bewirkenden Kraft nötig, um die gewünschte Abweichung von der ursprünglichen Lage zu bewirken. Es kann sich ja jeder auch an anderen Beispielen davon überzeugen, daß oft eine bedeutende Kraft nötig ist, um die Bewegungsrichtung eines Körpers zu ändern. Wenn wir die Richtung einer Schar von Kugeln verändern wollen, nachdem sie den Lauf eines Magazingewehrs verlassen haben, indem wir dem Lauf einen Schild schräg entgegenhalten, so ist leicht zu verstehen, daß wir einen kräftigen Druck gegen den Schild ausüben müssen. Nachdem aber das Gyroskop in Umdrehung versetzt ist, verhält sich jedes Teilchen seines Randes wie eine Kugel, die den Lauf verlassen hat. Die Lage der Drehungsebene des Rades zu verändern, ist dann gleichbedeutend mit einer Richtungsänderung der Bewegung dieser Teilchen.

Es ist schon erwähnt, daß, wenn das Gyroskop an den Schraubenköpfen gehalten wird und man es zu neigen versucht, es nicht nur diesem Versuche Widerstand entgegensetzt, sondern daß es sich geradezu zu drehen und zu wenden scheint, um sich aus der Hand des Experimentierenden zu befreien. Ferner wird man bei dem früher geschilderten Versuche, den selbstgefertigten Apparat von einem hochgelegenen Fenster herunterzulassen, ohne Zweifel beobachten, daß neben der durch das Abwickeln der Schnur hervorgerufenen Drehung in senkrechter Ebene, eine Drehung der ganzen Achse in einer horizontalen

Ebene um ihr unterstütztes Ende stattfindet. Diese Bewegung wird der Beobachter anfangs ebenfalls als eine Folge des Abwickelns der Schnur betrachten. Es zeigt sich aber weiter, daß, wenn die Schnur in der entgegengesetzten Richtung aufgewickelt war und folglich die Drehung des Rades entgegengesetzt erfolgt wie vorher, auch die Achse sich nach der andern Seite herumdreht. Bei genauerem Zusehen stellt sich heraus, daß die Drehung der Achse stets in derselben Richtung erfolgt, in der sich die untersten Teilchen des Rades bewegen. — Die gleichen Beobachtungen sind auch an dem künstlichen Apparat (Fig. 8) zu machen.

Wie kommt nun diese auffallende Bewegung zustande? Unsere Fig. 10 soll helfen, das zu erklären.  $AB$  sei das von der Kante gesehene Gyroskoprad. Die Bewegung desselben sei wieder wie in Fig. 9, so daß also ein bei  $A$  befindliches Teilchen sich auf den Beschauer der Figur zu bewegt. Der Knopf  $C$  ruhe in der schon erwähnten Vertiefung eines säulenförmigen Trägers. Nun drücke man den anderen Knopf  $D$  wieder bis  $E$  herab, so daß sich der Punkt  $A$  auf dem Kreisbogen  $AG$  nach  $F$  bewegt und das Rad die Lage der gestrichelten geraden Linie annimmt. So kann das

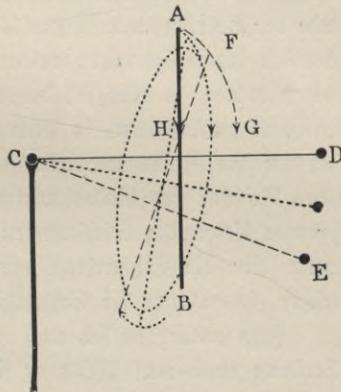


Fig. 10. Sekundäre-Bewegung des Gyroskops.

Resultat nur sein, wenn das Rad ursprünglich in Ruhe ist. Nun bewegt sich aber das bei  $A$  befindliche Teilchen vorwärts und dann vorn abwärts in der Richtung des Pfeiles  $AH$ . Diese Bewegung wird es nicht einfach zugunsten der Bewegung nach  $G$  aufgeben. Das Resultat wird vielmehr sein, daß es einen mittleren Weg einschlägt, etwa in der Richtung der punktierten Linie.

Indem es dieses tut, bewegt es sich rechts von seiner ursprünglichen Richtung abwärts. Das kann es aber nur, indem der Vorderrand sich nach rechts bewegt oder, was dasselbe sagt: der rechte Endpunkt der Achse rückwärtsgeht. So kommt also infolge eines Druckes auf das freie Ende der Achse eine Drehung der Achse um ihr unterstütztes Ende zustande. Da nun aber ein Gyroskop auch stets unter dem Einflusse der Schwerkraft steht und diese somit das freie Ende der Achse

ebenso herabzuziehen sucht, so sieht man jetzt ein, warum ein jedes Gyroskop diese Drehung zu allen Zeiten zeigen muß.

Es erklärt sich ferner aus unserer Betrachtung an der Fig. 10, warum bei entgegengesetzter Drehung des Rades auch die Achse sich in entgegengesetzter Richtung bewegt. Ebenso ist ohne weiteres klar, daß die Richtung der Achsendrehung auch dadurch umgekehrt werden kann, daß man, während das Rad sich dreht, das andere Ende der Achse unterstützt. Die Bewegungsrichtung des Punktes *B* zeigt dann den entgegengesetzten Weg um den neuen Unterstützungspunkt.

Eine sehr bemerkenswerte Erscheinung bei der Drehung der Achse muß hier noch erwähnt werden. Wenn wir nämlich das freie Achsende des einseitig unterstützten Gyroskops mit einem senkrecht gehaltenen Bleistift etwas schneller vorwärts schieben, als es von selbst sich bewegen würde, so hebt sich dieses Ende. Wenn wir es mit Hilfe des Bleistifts zurückhalten, so senkt sich das Ende. Auch hier handelt es sich um das Zusammenwirken der beiden Bewegungsantriebe, die auf jedes Teilchen des Rades wirken. Wenn wir die aus beiden sich ergebende Bewegung beschleunigen, erhalten wir dasselbe Resultat, wie wenn wir die Schwerkraft vermindern; verlangsamen wir aber die erstere, so gewinnt die Schwerkraft scheinbar an Größe.

Jetzt erklärt es sich auch, warum ein Kreisel stets eine aufrechte Stellung annimmt. Wenn er sich ein wenig zur Seite neigt, so zieht die Schwerkraft am freien d. h. am oberen Ende und bewirkt, daß sich dieses freie Ende, also auch der Kreisel, um den Unterstützungspunkt dreht. Indem aber die Spitze sich auf dem Boden reibt und im Bogen vorwärtschiebt, beschleunigt sie die Drehbewegung des anderen Endes der Achse. Wie wir gesehen haben, bewirkt eine Beschleunigung der Drehung, daß das freie (obere) Ende der Achse sich hebt. Der Kreisel strebt deshalb, solange seine Drehung schnell genug ist, die senkrechte Stellung stets wieder zu gewinnen.

### III. Rollende und fliegende Bewegung.

#### 1. Die intelligenten Billardkugeln.

Man ordne 3 Billardkugeln (Fig. 11 *A, B, C*) in einer Reihe längs der Bande eines Billards so an, daß sie sich berühren, und lege eine andere (*D*) in die Verlängerung dieser Reihe, etwa 15 cm von *C* entfernt.

Nun gebe man der Kugel *D* einen leichten Stoß in der Richtung nach *C*, indem man die Kugel bis zur Lage *E* vorwärtschiebt und dann sich selbst überläßt. Wenn alle Bewegung aufgehört hat, wird die Lage der Kugeln so sein, wie sie in Fig. 11 *a, b, c, d* dargestellt ist. Der Ball *D* ist ungefähr in derjenigen Lage (*d*) zur Ruhe gekommen, in welcher er sich befand, als er auf die anderen Bälle stieß. Die Bälle *B* und *C* sind anscheinend genau da geblieben, wo sie waren. Die Kugel *A* aber ist in der Richtung der ursprünglichen Bewegung von *D* fortgerollt und zwar bis *a*. *A* schien genau in dem Augenblick mit der Bewegung zu beginnen, wo *D* auf *C* stieß und zur Ruhe kam. *A* schien ferner mit derjenigen Geschwindigkeit zu beginnen, mit der *D* endigte, so daß *A* (unter Überwindung der Reibung) so weit rollte, wie *D* es getan hätte, wenn nicht die Bewegung von *D* durch die anderen Kugeln unterbrochen worden wäre.

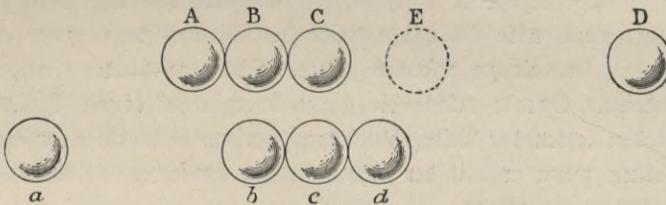


Fig. 11. Übertragung der Bewegung.

Wie kommt es nun, daß nur *A* sich bewegt? Wie kommt es ferner, daß, wie sehr auch die Geschwindigkeit von *D* oder die Zahl der Bälle in der ruhenden Reihe abgeändert wird, die Kugel *A* genau „weiß“, mit welcher Geschwindigkeit sie ihren Lauf zu beginnen und wie weit sie zu laufen hat?

Nehmen wir es einstweilen als nicht zu erklärende Tatsache hin, daß *D* in der Lage *d* plötzlich zur Ruhe kommt. Dann ist klar, daß an Stelle dieser plötzlich aufhörenden Bewegung, weil es sich um bewegliche Körper handelt, die Bewegung einer anderen Kugel treten muß. Tatsächlich sehen wir denn auch, daß, während die Kugel *D* ihre ganze „Bewegungsenergie“ verliert, der Ball *A* in Bewegung gerät. Da nun aber das nicht möglich ist, ohne daß die Kugeln *B* und *C* mitwirken, so erhebt sich die Frage: Wie kommt es, daß *B* und *C* nicht an der Bewegung teilnehmen? Warum wird die Bewegungsenergie nicht gleichmäßig auf *A*, *B*, *C* und *D* verteilt, derart, daß alle

vier Kugeln sich weiter bewegen, [natürlich langsamer und weniger weit, als wenn die ganze Energie sich in  $A$  vereinigte?

Was wir eben kennen gelernt haben, ist aber noch nicht das Überraschendste. Gesezt, es handle sich um 4, 5, 6 oder 7 ruhende Bälle und statt der einzelnen stoßenden Kugel würden 2 oder 3 Kugeln benutzt, die, in einer Reihe liegend und einander berührend, zusammen gegen die ruhenden Kugeln hin in Bewegung gesezt würden. Dann werden die vom Stoß getroffenen Kugeln einen noch weit höheren Grad von „Intelligenz“ bekunden. Sie scheinen stets zu wissen, wie viele Bälle den Stoß hervorgebracht haben, und werden stets genau ebensoviele Bälle ihrer eigenen Reihe in Bewegung sezen.

Wenn 2 oder 3 Kugeln zugleich den Stoß ausführen, so ist bei gleicher Geschwindigkeit wie im ersten Versuch, die Energie des Stoßes auch die zweifache oder dreifache.<sup>1)</sup> Es würde uns also nicht überraschen, wenn alle Bälle der Reihe die Wirkung dieser zwei- oder dreifachen Energie zu erkennen gäben. Oder, gesezt den Fall, aus irgendeinem Grunde müßte die ganze Energie auf einen Ball, und zwar den letzten der Reihe, übertragen werden, so würde es uns nicht auffallen, wenn er mit der doppelten oder dreifachen Geschwindigkeit sich fortbewegen würde.

Daß aber die mittleren Kugeln imstande zu sein scheinen, denen am Ende der Reihe mitzuteilen, daß nur eine den Stoß vollführt hat und nur eine sich in Bewegung zu sezen hat, oder daß zwei Bälle entsandt werden, wenn die Zahl der stoßenden Kugeln 2 betrug, das erscheint in der Tat wie ein Rätsel.

Um uns die Erscheinung zu erklären, wollen wir uns zuerst daran erinnern, daß die Energie von Körpern, die in Bewegung sind, von ihrer Masse und ihrer Geschwindigkeit abhängt und zwar, daß die Energie sich verdoppelt oder verdreifacht, wenn die Masse oder die

1) Wir können uns das klar machen, indem wir uns vorstellen, 3 große Kugeln, deren Gewichte sich wie 1 : 2 : 3 verhalten, rollten der Reihe nach mit gleicher Geschwindigkeit auf uns zu und wir hätten die Aufgabe, sie festzuhalten. Dann werden wir der zweiten und dritten Kugel den zweifachen und dreifachen Widerstand entgegensezen müssen wie der ersten. Das ist ein Zeichen dafür, daß sich auch die Bewegungsenergien der Kugeln wie 1 : 2 : 3, d. h. wie ihre Massen, verhalten.

Geschwindigkeit zwei- oder dreimal so groß wird. In unserem Falle nehmen wir aber an, daß nur die Zahl — also die Masse — der stoßenden Bälle, die unter sich gleich groß sind, verändert wird. Die stoßende Hand möge stets mit derselben Geschwindigkeit bewegt werden. Dasselbe gilt also auch für die stoßenden Kugeln.

Ferner brauchen wir zur Aufklärung unseres Rätsels die Tatsache, daß die aus Elfenbein gearbeiteten Billardkugeln elastisch sind, d. h. daß sie unter der Einwirkung von Druck und Stoß ihre Form ändern (abgeplattet werden), zugleich aber das Bestreben zeigen, die ursprüngliche Kugelgestalt wieder anzunehmen. Darauf beruht ja überhaupt die ganze Verwendung dieser Kugeln.

Trifft nun eine solche Kugel auf eine Reihe anderer Kugeln, so muß die Folge dieses Stoßes sein, daß die gestoßene Kugel eine Zusammendrückung erfährt. Die erste gestoßene Kugel wird, wenn sie sich wieder ausdehnt auf die zweite Kugel der Reihe, diese auf die dritte wirken usw. Es wird gewissermaßen eine Verdichtungswelle (Kompressionswelle) sich von dem Augenblick des Zusammenstoßens an durch die Reihe der Kugeln hindurchbewegen. Die Geschwindigkeit, mit der sich diese Welle bewegt, wird von der Geschwindigkeit des stoßenden Balles, die ja hier in Kompressionswellen umgewandelt wird, abhängen. Von der Größe der stoßenden Masse aber, also von der Zahl der Bälle, ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen unabhängig.

Wie gestaltet sich das Resultat nun am Ende der Reihe? Alle vorhergehenden Kugeln wurden durch die folgenden an der Bewegung vom Orte weg beinahe ganz gehindert, und somit wandelte sich die Bewegungsenergie der stoßenden Masse fast ganz in die Energie der Kompressionswellen um. Anders ist es mit der letzten Kugel. Wenn diese, nachdem sie durch den Druck der vorhergehenden abgeplattet wurde, sich wieder ausdehnt, so findet sie (von der Reibung abgesehen) keinen Widerstand mehr vor. Die Wellenenergie kann sich also wieder in Bewegungsenergie umwandeln, und die letzte Kugel oder mehrere der letzten werden sich mit einer Geschwindigkeit in Bewegung setzen, welche der Geschwindigkeit der Wellenbewegung im Innern der vorhergehenden Kugeln entspricht, der Geschwindigkeit der stoßenden Masse aber gleich ist.

Während die Geschwindigkeit der Kompressionswellen von der Geschwindigkeit der stoßenden Masse abhängt, ändert sich die Größe

der Zusammendrückung, welche die einzelnen Kugeln erfahren, wie die Größe der stoßenden Masse, also die Zahl der stoßenden Kugeln. Die Energie der Kompressionswellen wird aber schließlich wieder in Bewegung umgesetzt und zwar, wie wir sehen, in eine Bewegung von derselben Geschwindigkeit, mit welcher die stoßenden Bälle sich bewegten. Nehmen wir an, daß von der ursprünglichen Bewegungsenergie, während sie als Energie der Kompressionswellen weiter gegeben wird, nichts verloren geht, sondern daß sie wieder ganz in Bewegungsenergie umgewandelt wird, so folgt, daß auch die Masse der die Energie zum Schluß aufnehmenden Bälle gleich der Masse der stoßenden Bälle sein muß. Sind die Bälle gleich groß, so muß die Zahl der stoßenden gleich derjenigen der bewegten sein.

Die Energieübertragung auf die letzten Kugeln kann man sich auf folgende Weise noch genauer vorstellen. Nehmen wir an, die Zahl der stoßenden Bälle sei 2. Da der letzte Ball der Reihe sich mit der Geschwindigkeit der beiden stoßenden Bälle in Bewegung setzt, so nimmt er die Hälfte der Energie mit sich fort, welche von den beiden stoßenden Bällen abgegeben wurde, als sie zur Ruhe kamen. Deshalb hat der vorletzte Ball, indem er den letzten forstieß, nur die Hälfte der ihm durch die mittleren (ruhenden) Kugeln überlieferten Energie abgegeben.

Indem er die andere Hälfte zurückbehielt, hat er genug behalten, um sich selbst mit derselben Geschwindigkeit in Bewegung zu setzen. Da er kein Hindernis in Gestalt eines ruhenden Balles vor sich hat, folgt er deshalb der anderen Kugel. — Der drittletzte Ball aber hat in dem Augenblick, wo die 2 letzten Kugeln sich mit der Geschwindigkeit der stoßenden Kugeln in Bewegung setzen, die ganze ihm überlieferte Energie abgegeben, muß also in Ruhe bleiben. Eine ähnliche Erklärung ergibt sich, wenn die Zahl der stoßenden Bälle mehr als 2 beträgt.

## 2. Bälle um die Ecke zu werfen.

Mit dieser Tätigkeit sind wir durchaus vertraut, wenn die „Ecke“ eine aufrechte ist. Jeder Knabe weiß, daß, wenn ein Schneeball einen Polizisten in der Gegend des untersten Rockknopfes treffen soll — natürlich aus einer Entfernung, welche gestattet, das Experiment gefahrlos zu machen —, man weit höher zielen muß, etwa nach der Spitze seines Helmes. Der Grund liegt in der unvermeidlichen Fallbewegung, die

das Geschloß während seines Fluges ausführt. Flinten und Kanonen müssen ebenfalls auf einen Punkt gerichtet werden, der beträchtlich höher liegt als derjenige, der getroffen werden soll. So kann eine Kugel, welche von  $A$  (Fig. 12) abgefeuert wird, einen Menschen in  $B$ , der von  $A$  aus nicht zu sehen ist, treffen, indem die Kugel über das Dach eines dazwischen liegenden Hauses fliegt. Abgefeuert war sie in der Richtung der punktierten Linie  $AC$ . Da sie aber tatsächlich nach  $B$  gelangt ist, so kann man wohl sagen, sie sei abwärts „um die Ecke“ geflogen. Der Grund für diese Abweichung von der ursprünglichen Bewegungsrichtung liegt darin, daß eine Kraft vorhanden ist, welche das Geschloß dauernd abwärts zieht, nämlich die Schwerkraft, deren Stärke wir durch das Gewicht der Kugel messen können.

Wenn die Schwerkraft horizontal wirken könnte, so könnte ein Geschloß dadurch veranlaßt werden, seitwärts um die Ecke zu fliegen, also so, wie wir den Ausdruck „um die Ecke“ gewöhnlich brauchen. Wenn nun auch die Schwerkraft das nicht kann, so gibt es

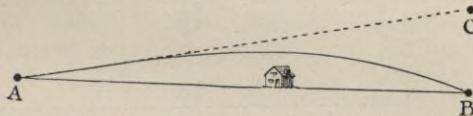


Fig. 12. Ablenkung eines Geschosses von seiner ursprünglichen Bewegungsrichtung.

doch andere Kräfte, welche es vermögen. Der Wind zum Beispiel, wenn er quer zu der Schußrichtung weht, treibt die Kugel von ihrer ursprünglichen Richtung ab. Die Wirkung ist oft so bedeutend, daß ein Schütze beim Zielen genau damit zu rechnen hat.

Das sind nun aber dauernd von außen wirkende Kräfte. Kann vielleicht auch irgendeine vorübergehend auf eine Kugel oder einen Ball wirkende Kraft dem Geschloß das Bestreben erteilen, von der ursprünglichen Richtung abzuweichen? Das ist in der Tat möglich und ist beispielsweise erfüllt beim Cricket-Spiel, Lawn-Tennis und Base-Ball.

Fig 13  $A$  und  $E$  stellen Bälle dar, welche sich in der Richtung des großen Pfeiles, also von links nach rechts bewegen. Die Bälle sind von oben gesehen, d. h. die Ebene des Papiers liege wagerecht. Nun gebe man dem Ball  $A$  in dem Augenblick, wo er geworfen wird, eine Drehung um eine senkrechte Achse, wie das durch die kleinen gekrümmten Pfeile angedeutet wird. Dann verschiebt sich die nach  $D$  zeigende Vorderfläche des Balles in der Richtung des Pfeiles  $B$  und strebt danach, auch die vor dem Ball befindliche Luft in dieser Richtung zu verschieben. Wie aber kommt es, daß der Ball sich in entgegen-

gesetzter Richtung verschiebt? Das erklärt sich durch die „Gleichheit und entgegengesetzte Richtung der Aktion und Reaktion“.

Was darunter zu verstehen ist, werden die folgenden Beispiele erläutern. Wenn man in einem Boot steht und man stößt eine Person, welche auf der Anlegebrücke steht, so bewirkt man dadurch nicht nur eine Bewegung der Person vom Boote fort, sondern auch eine Bewegung des eigenen Körpers (und damit des Bootes) von der Anlegebrücke weg. Dasselbe geschieht, wenn man in einer Schaukel sitzt

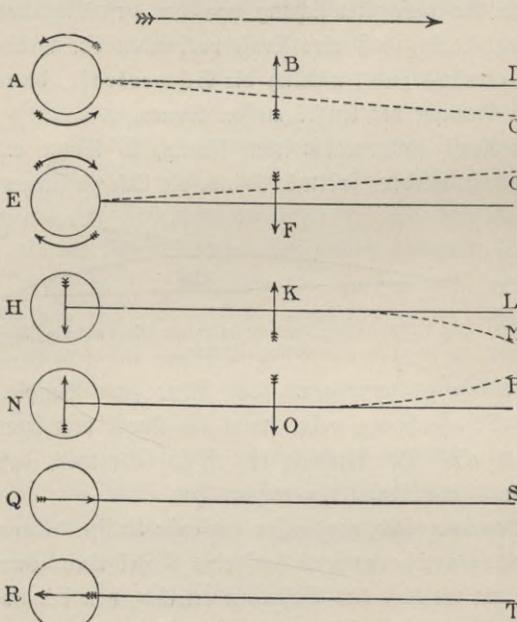


Fig. 13. Ablenkung der Bewegungsrichtung von Kugeln.

und gegen jemand einen Stoß ausführt; man bewegt nicht nur die gestoßene Person, sondern auch sich selbst, und zwar in entgegengesetzter Richtung. Auch das Rudern kann als Beispiel gelten, denn das Boot bewegt sich in einer Richtung, die derjenigen entgegengesetzt ist, in welcher die Ruder das Wasser zu verschieben suchen.

So wird nun auch, wenn die Vorderfläche des Balles die Luft in der Richtung des Pfeiles *B* verschiebt, der Ball selbst einen Antrieb in der entgegengesetzten Richtung erhalten und sich deshalb auf der punktierten Linie nach *C* bewegen, statt geradeaus nach *D* zu fliegen.

Führte der Ball nur eine Drehung am Ort aus, so würde zwar die Verschiebung der Luft durch die an ihr sich reibende Vorderfläche ein Gegengewicht finden in der entgegengesetzten Verschiebung derjenigen Luftmasse welche durch Reibung an der Hinterfläche des Balles bewegt wird. Anders liegt die Sache aber hier. Der Ball bewegt sich von

*A* nach *D*. Er drückt die vor ihm befindliche Luft zusammen, hinter ihm entsteht ein Raum mit verdünnter Luft. Der Widerstand, den die Vorderfläche, indem sie sich an der Luft reibt, erfährt, ist deshalb größer als derjenige an der Hinterfläche. Darin liegt der Grund, weshalb wir den letzteren in unserer Betrachtung der Einfachheit halber vernachlässigen durften.

Wenn man dem Ball die entgegengesetzte Drehung erteilt (wie in *E*), dann bewegt sich seine Vorderfläche in der Richtung des Pfeiles *F* und treibt die Luft in dieser Richtung zur Seite. Folglich wird der Ball nach der entgegengesetzten Richtung gedrängt und fliegt längs der punktierten Linie nach *G*.

Nun gebe man dem Ball in dem Augenblicke, wo er wagerecht geworfen wird, eine Drehung um eine horizontale Achse und zwar so, daß diese Achse mit der Wurfrichtung zusammenfällt. Der Pfeil *H* deutet die Richtung an, in welcher sich die Oberseite des Balles, der Pfeil *K* die Richtung, in der sich die Unterseite des Balles verschiebt.

Anfangs wird diese Drehung den Ball nicht von seinem Fluge *HL* ablenken. Da nämlich die Luft oberhalb und unterhalb des Balles von der gleichen Beschaffenheit ist, so werden sich die Reibungswiderstände an der Oberseite und Unterseite zunächst aufheben. Wenn der Ball sich aber eine Strecke weit bewegt hat und schon eine deutliche Fallbewegung zeigt, dann hat seine Unterseite die Luft verdichtet, während an der Oberseite eine Verdünnung eingetreten ist. Nun ist die Sachlage ähnlich wie bei unserem ersten Experiment. Während der Ball die an ihm sich reibende verdichtete Luft der Unterseite in der Richtung *K* zur Seite schiebt, erfährt er selbst einen Widerstand, der bewirkt, daß er in der Richtung nach *M* abgelenkt wird. In ähnlicher Weise bewirkt eine Drehung in entgegengesetzter Richtung (*N*), daß der Ball nach *P* gelangt.

Während die Drehungsachse des Balles in dem ersten der betrachteten Hauptfälle vertikal stand, in dem zweiten Falle horizontal lag und mit der horizontalen Bewegungsrichtung zusammenfiel, ist nun noch ein dritter Fall denkbar, daß nämlich die horizontal liegende Drehungsachse senkrecht zur Bewegungsrichtung des Balles steht. Die Drehungsebene liegt dann also vertikal und in der Richtung, in der der Ball geschleudert wird.

In der Figur 13 zeigt  $Q$  die obere Fläche des Balles, wie sie sich durch Drehung des Balles in der Richtung des Pfeiles verschiebt. In  $R$  ist die Drehung des Balles die entgegengesetzte. Der Ball  $Q$  bewegt sich nach  $S$ , der Ball  $R$  nach  $T$ . Nun ist klar, daß in dem ersten Falle ( $Q$ ) die Vorderseite des Balles sich abwärts verschiebt und die vor ihr liegende verdichtete Luft nach unten bewegt. Folglich strebt die „Reaktion“, den Ball nach oben zu schieben, das heißt aber: sie hindert ihn, so schnell zu fallen, wie er es ohne Drehbewegung tun würde. Oder — mit anderen Worten —: die Wurfweite des Balles wird vergrößert. — Im zweiten Falle ( $R$ ) ist das Gegenteil der Fall: die vordere Fläche bewegt die Luft nach oben, die Reaktion wirkt auf den Ball nach unten, so daß er schneller fällt, als die Schwerkraft allein ihn fallen lassen würde.

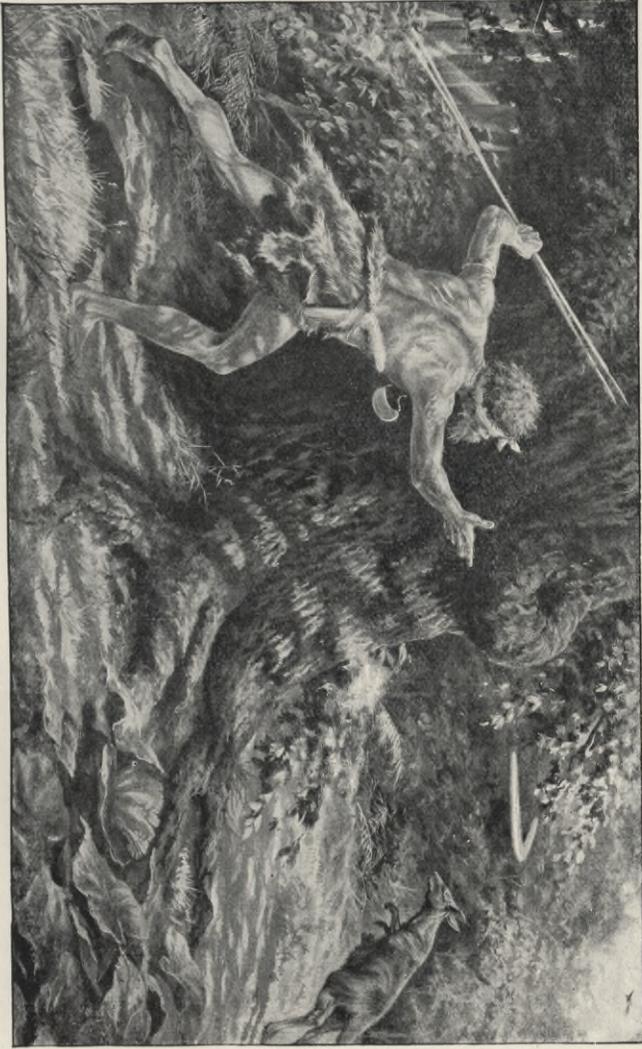
In verschiedenen Ballspielen spielen die Drehungen eine wichtige Rolle, indem sie bewirken, daß der Schläger sich über den voraussichtlichen Flug des Balles täuscht. Die Wirkung wird gewöhnlich dadurch kompliziert, daß zwei der beschriebenen Drehungen zusammenwirken. Beim Cricket und Tennis wird sie noch weiter kompliziert durch den Einfluß der Drehung auf die Richtung im Augenblicke des Abprallens.

Dieser Abschnitt betrifft jedoch nur die Ablenkung, welche durch eine Drehung während des Fluges in der Luft hervorgebracht wird. Diese Wirkung der Drehung spielt eine bedeutende Rolle beim Baseball, wo der Schläger den Ball in seinem ursprünglichen Fluge aufzunehmen hat, also ohne daß der Ball vorher auf den Boden aufschlägt. Einige der geschicktesten Spieler verstehen es die Drehungen  $H$  und  $N$  auszunutzen, indem sie Bälle so werfen, daß sie auf dem größten Teile ihres Weges geradeaus fliegen, zum Schluß aber eine unerwartete Schwenkung machen.

Solche Leute können einen Ball so werfen, daß er in ununterbrochenem Fluge um die Ecke eines Hauses fliegt und so sich den Blicken des Werfenden entzieht.

### 3. Bumarangs.

Unter den verschiedenen Waffen und Erfindungen wilder Völkerstaaten hat keine mehr Interesse erregt als der Bumarang der Eingeborenen Australiens (vgl. Tafel II), und zwar wegen der geradezu



Ein Huftraler, den Bumarang werfend.



wunderbaren Eigenschaften, über welche man hat berichten hören. Man sagt, daß er Kreise, Schleifen, ja sogar die Figur einer 8 in der Luft beschreiben kann, daß er, nachdem er das Wild getroffen hat, zu dem Jäger, der ihn warf, zurückkehrt, daß er um ein Haus fliegen und auf der anderen Seite wieder zurückkommen kann, oder daß er zurück kommt und hinter dem Werfenden niederfällt.

Der Bumarang zeigt ziemlich bedeutende Formverschiedenheiten. Er ist aus einem flachen, dünnen Stück harten Holzes hergestellt, welches mit sanft abgerundeter Spitze und scharfen Kanten endet (Fig. 14). Von der Fläche gesehen, ist er winkelförmig gebogen oder mond-sichelförmig. Die Figur 14 zeigt seine häufigste Gestalt und zwar von oben und von der Seite gesehen. Der Winkel, den die beiden Enden miteinander bilden, ist kein bestimmter, er ist wesentlich mit durch den Verlauf der Holzfasern bestimmt.

Die beiden Schenkel liegen nicht immer genau in derselben Ebene, sondern zeigen eine leichte Drehung, so daß, während die Vorderkante eines Schenkels

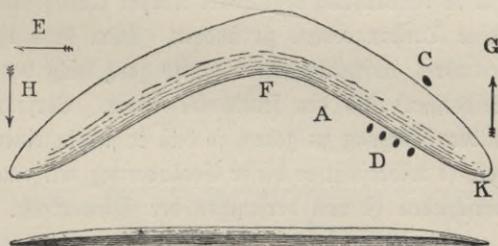


Fig. 14. Gewöhnliche Form des Bumarangs.

leicht aufwärts gerichtet ist, die Hinterkante etwas abwärts zeigt. Die Leistungen dieser Waffe hängen nicht nur von ihrer Form, sondern auch wesentlich von der Art ab, wie sie gebraucht wird. In ihrer Flachheit gleicht sie einem Blatt, einem Stück Papier oder einem Stück Blech, und soweit die Flachheit in Betracht kommt, könnte man erwarten, daß der Bumarang sich wie einer dieser Gegenstände verhält. Wenn wir nun die genannten Gegenstände beobachten, wie sie von einer genügenden Höhe fallen, so sehen wir, daß sie anstatt mit derselben Kante voran stetig und sanft abwärts zu gleiten, unter Ausföhrung zahlreicher verschiedenartiger Bewegungen fallen. Die fallenden Blätter im Herbst föhren oft während ihres ganzen Falles, indem sie sich fortwährend überschlagen, eine rollende Bewegung aus. Andere haben eine Art schwingender Bewegung, indem sie beim Fallen einen Zickzackweg machen. Noch andere drehen sich, indem sie manchmal sich horizontal halten, manchmal aber mit einem Ende tiefer als mit dem anderen, so daß sie einen Regelmantel beschreiben.

Keine dieser Bewegungen ist geeignet, um unsere Waffe einem im voraus bestimmten Ziele zuzuführen, nachdem sie die Hand verlassen hat. Anders wäre es, wenn sie wie ein Vogelflügel eine annähernd horizontale Lage beibehalten würde. Sie könnte dann wie der Vogel mit stetiger Bewegung durch die Luft schweben. Der Widerstand der Luft würde dabei ihren Fall zum Teil wesentlich verlangsamen.

Damit die unregelmäßigen Bewegungen und das Überschlagen vermieden werden und damit die scharfe Kante stets bei der Bewegung vorangeht, muß in dem Augenblick, wo die Waffe geschleudert wird, irgend etwas seitens des Werfenden geschehen. Dieses „Etwas“ besteht darin, daß er den Bumarang sich in einer annähernd horizontalen Ebene, d. h. um eine annähernd vertikale Achse drehen läßt.

Wir haben in dem Abschnitt über das Gyroskop gesehen, daß ein in Umdrehung begriffener Körper kräftig allen Versuchen widersteht, seine Drehungsebene zu ändern. Man kann ihn rückwärts, vorwärts, seitwärts, aufwärts und abwärts ganz leicht bewegen, ohne irgendeinen Widerstand als den seines Gewichtes. Versucht man ihm aber eine andere Neigung zu geben, so daß er sich in einer anderen Ebene drehen soll, so widersteht er dieser Veränderung mit einer Energie, welche ganz verschieden ist von derjenigen der Schwerkraft.

In einer solchen Drehung haben wir also ein Mittel zur Erzeugung einer stetigen Bewegung. Wir können damit allen Bestrebungen nach Abweichung von der vorgeschriebenen Bahn gleich zu Anfang Einhalt tun. So gibt auch der Werfende dem Bumarang das Bestreben mit, sich in einer bestimmten Richtung zu bewegen. Die Art, wie seine etwas unregelmäßigen Kanten die Luft durchschneiden, würde ihn bald veranlassen, unregelmäßige Bewegungen auszuführen, welche, wenn man ihnen gestattete, größer zu werden, zu schwingenden Bewegungen oder zu beständigem Überschlagen ausarten würden, wie wir sie an den fallenden Blättern, Papierstücken usw. sehen. Die dem Wurfgeschosß erteilte Drehung aber beseitigt solche Unregelmäßigkeiten im Augenblick, wo sie entstehen wollen.

Die Art und Weise, wie die Drehung des Bumarang zustande kommt, können wir uns an der Fig. 14 klar machen. Angenommen, das Geschosß werde in der Richtung des Pfeiles *E* geworfen, also von rechts nach links, und sei gerade im Begriff, die unter ihm befindliche Hand zu verlassen. Nun bleiben in dem Augenblicke, wo die Waffe

durch Zurückbiegen des Daumens  $C$  losgelassen wird, die Finger als ein Hindernis in  $D$  und, um an ihnen vorbeizukommen, muß der Bumarang sich in der Richtung der Pfeile  $G$  und  $H$  drehen. Die Drehung wird weiter beschleunigt durch einen Stoß in der Richtung  $G$ .

Damit sind allerdings diejenigen Eigentümlichkeiten des Fluges, welche den Bumarang ganz besonders berühmt gemacht haben, noch nicht erklärt. Da ist zuerst die Tatsache, daß der Bumarang zu dem Werfenden zurückkehren kann. In der Fig. 15 möge  $AB$  den Werfenden vorstellen und die gestrichelte Linie  $AC$  die Wurf- richtung. Wäre nun  $AC$  eine ebene Fläche von poliertem Metall, welche wie ein schräges Dach geneigt ist, und würde der Bumarang an dieser Gleitfläche entlang geworfen, so würde er, nachdem ihn der ursprüngliche Antrieb so hoch wie möglich ge- tragen hätte, einfach um- kehren und wieder zu der Stelle herabgleiten, von der er gekommen ist.

Tatsächlich ist der Bumarang in ähnlicher Weise unterstützt, wenn

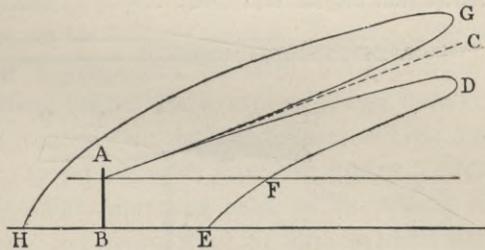


Fig. 15. Fluglinie des Bumarangs.

auch nicht durch eine metallische Ebene. Wenn er so geworfen wird, daß er die eine Fläche nach oben, die andere nach unten kehrt, und die drehende Bewegung ihn in dieser Richtung erhält, so ruht er auf der Luft wie ein Papierdrache oder wie die Flügel eines schwebenden Vogels. Wie diese ist er aber nicht fest unterstützt; die Luft gibt nach, und er bewegt sich langsam abwärts, so daß er, statt die Richtung  $AC$  zu behalten, in welcher er geworfen wurde, der nicht punktierten Linie folgt und bei  $D$ , immer langsamer fallend, umkehrt und auf der Luft fast wie auf einer metallischen Fläche abwärts gleitet, allerdings unter andauerndem Fallen. So erreicht er die Höhe  $F$ , von welcher er abging, fällt aber, indem er seine Bewegung bis zum Boden fortsetzt, fast vor den Füßen des Werfenden nieder.

Man kann ein ähnliches Experiment auch ohne Bumarang ausführen, indem man ein rechteckiges Stück leichter, aber steifer Pappe („Darton“), das man an einer Ecke anfaßt, schräg in die Höhe wirft und dabei für eine schnelle Umdrehung desselben sorgt.

Die Bumarangs sind nun aber, wie schon erwähnt, nicht alle von genau derselben Form. Wenn man sie genau betrachtet, wird man finden, daß bei einigen die scharfe Kante nicht gerade verläuft, wie in Fig. 14, sondern so, daß (Fig. 16) die Kante auf dem Ende *A* nahezu in der Höhe der oberen Fläche, bei *B* nahezu in der Höhe der unteren Fläche liegt. Das Umgekehrte ist der Fall bei den in der Figur unsichtbaren hinteren Kanten. Der Bumarang ähnelt dann einem kleinen Windmühlensrade, wie es in der Fig. 16 dargestellt ist. Dieses Rad hat schräge Flügel. Nehmen wir an, es drehe sich so, daß die linken Flügel sich vorwärts bewegen, so gehen die oberen Kanten *C*, *D*, *E*, *F* voran und schneiden die Luft so, daß sie an ihr hinaufzugleiten streben. Die Drehung wird durch eine Schnur bewirkt, welche um die an dem Rade befestigte Achse gewickelt ist. Wenn die

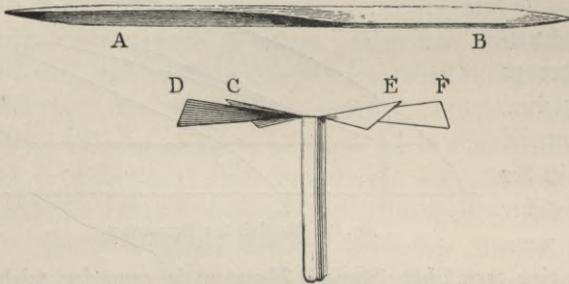


Fig. 16. Zur Erklärung der Schraubenbewegung eines Bumarangs.

Ein Bumarang von der Form der Fig. 16 ist offenbar von ganz ähnlichem Bau wie dieses Rad. Zwar besitzt er nur 2 Flügel, auch sind diese im Vergleich zu ihrer Fläche weit schwerer. Aber bis zu einem gewissen Grade wird er sich ebenso verhalten, wenn er in der gleichen Weise gedreht wird. Wenn der Bumarang der Fig. 16 sich so dreht, daß das Ende *A* auf den Leser zu kommt, so wird jedes Ende aufzusteigen streben und zwar mit einer Kraft, welche proportional ist zu der Kraft, mit welcher die Drehung hervorgerufen wurde.

So kann das Bestreben aufzusteigen das durch die Schwerkraft bewirkte Fallen aufheben. Anstatt, daß in Fig. 15 der Bumarang den Weg *ADFE* macht, kann er in der Wurfrichtung *AC* fliegen und kann in derselben Linie zurückkehren. Wird er aber in eine schnellere Umdrehung versetzt, so wird er sich über diese Linie erheben, etwa den Weg *AGH* zurücklegen und somit hinter dem Werfenden zu Boden fallen.

Der Bumarang kann aber noch mehr überraschende Dinge vollbringen; er kann Kreise, Ellipsen und komplizierte Figuren beschreiben. Um zu verstehen, wie diese Abänderungen zustande kommen, müssen wir uns daran erinnern, daß der Bumarang nicht nur in eine Drehbewegung versetzt wird, sondern zugleich in eine sehr energische Vorwärtsbewegung. Wir wollen annehmen, die letztere Bewegung finde in der Fig. 16 vorwärts (vom Leser weg) statt, d. h. senkrecht zu der Druckseite unseres Buches, die Drehung aber ebenso, wie es vorhin angenommen ist. Das Ende *B* geht also vorwärts durch die Seite hindurch, das Ende *A* kommt auf den Leser zu.

Dann ist klar, daß jedes Ende, wenn es sich zur Rechten befindet, die Luft schneller und kräftiger durchschneiden wird, als wenn es zur Linken liegt. Das rechtsseitige Ende hat ja die Geschwindigkeit der ganzen Waffe, vermehrt um die Geschwindigkeit der Drehung, während das linksseitige Ende die Geschwindigkeit der Waffe, vermindert um die Drehungsgeschwindigkeit, besitzt. Wenn nun die schräge Unterseite des Bumarang auf der rechten Seite so viel kräftiger auf die Luft trifft als auf der linken, so hat das rechte Ende eine stärkere Tendenz zu steigen als das linke. Wir haben nun schon bei Betrachtung der Fig. 10 gesehen, daß, wenn eine äußere Kraft die Drehungsebene eines sich drehenden Körpers (Gyroskops) in einer bestimmten Richtung zu verlegen sucht, diese Änderung nicht so einfach erfolgt, sondern daß dabei gleichsam ein Kompromiß zwischen dem alten und dem neuen erstrebten Zustande entsteht.

In unserem Falle besteht dieses Kompromiß darin, daß nicht einfach das rechte Ende höher steigt als das linke, sondern zugleich die dem Leser abgekehrte Kante sich hebt. Das Ergebnis ist also eine Hebung des rechten Vorder Viertels.

Die Änderung der Drehungsebene hat eine weitere Folge in Gestalt einer Änderung der allgemeinen Flugrichtung. Wenn der Borderrand nämlich höher liegt als der Hinterrand, so bietet die Waffe von jetzt an nicht mehr ihre schneidende Kante der Luft dar. Ihre untere Fläche trifft die Luft schräger als vorher und das Resultat ist, daß sie bestrebt ist, einen Bogen aufwärts und nach links zu beschreiben. Da die Ursachen dauernde sind, so findet eine Häufung ihrer Wirkungen statt, so daß der Bumarang schließlich einen Teil eines Kreises, einen ganzen Kreis oder gar mehr als einen ganzen Kreis beschreibt.

Die Erhebung der einen Seite kann so groß werden, daß die Waffe sich überschlägt, und diese und andere Abänderungen, die durch die Drehung hervorgerufen werden, bringen weitere Komplikationen im Fluge des Bumarang hervor. Es würde aber zu ermüdend werden, wollten wir diese im einzelnen erörtern. Fig. 17 zeigt einige der wirklich ausgeführten Flugbahnen, darunter auch eine merkwürdige Bewegung am Boden entlang, wobei der Bumarang mehrfach vom Boden abprallt. Die aufrechte Strecke stellt den Werfenden vor.

In Städten und Vorstädten, wo wir mehr als anderswo mit der Polizei zu rechnen haben, würde es nicht möglich sein, selbst wenn wir Bumarangs hätten, mit ihnen genügend zu arbeiten, um die Leistungen der australischen Eingeborenen nachzuahmen. Auf dem freien Lande aber würde die Beschäftigung mit ihnen ein unterhaltender Zeitvertreib sein. Wenn ihre Anhänger die Erlaubnis bekämen, diese Beschäftigung gegen alle Automobilisten auszuüben, die

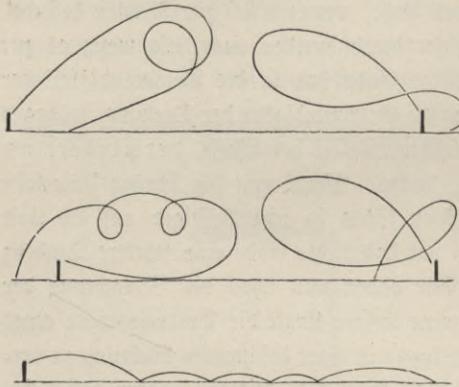


Fig. 17. Flugbahnen des Bumarangs.

sie dabei ertappen würden, wie sie harmlose Touristen mit Staub und Rauch ersticken, so würde dieser Sport sowohl aufregender als auch nützlicher sein als mancher andere. Wie beim Schießen von Tigern in Indien oder von Wölfen in Rußland, so würde ein solcher Bumarang-Sportsmann, indem er sich seinem Vergnügen hingibt, zugleich eine sehr nützliche Sache fördern.

In Ermanglung solcher Gelegenheiten kann aber doch wenigstens etwas getan werden, indem man einen Bumarang aus einer Visitenkarte schneidet. Man kann ihn dann auf die eine Hand legen und mit Daumen und Zeigefinger der anderen Hand fortschnellen, oder man faßt ihn an der einen Spitze und wirft ihn unter Erzeugung einer möglichst schnellen Umdrehung schräg in die Höhe.

Bessere Erfolge erhält man mit einem kleinen, selbstgefertigten Apparat, wie er in Fig. 18 dargestellt ist. Er ist aus einem Brett

von etwa 1 cm Dicke, 25 cm Länge und 12 cm Breite hergestellt. An der einen Seite ist ein Stück herausgesägt, wie es die Figur zeigt. *AB* ist ein Streifen Fischbein oder Stahl. Dieser ist mit Faden oder Draht bei *A* an dem Brett befestigt. Er ist so lang, daß das Ende *B*, welches in der Fig. 18 heruntergebogen dargestellt ist, wenn es losgelassen wird, an der Ecke *C* eben vorbeigeht. Es schlägt dann gegen das eine Ende eines kleinen, aus Karton oder dünnem Blech hergestellten Bumarang und erteilt diesem zugleich eine Vorwärtsbewegung und eine starke Drehung in der Flugebene.

Bei *D* in der Fig. 18 sind 3 kurze Drahtstücke oder kopflose Nägel in die Kante des Brettes so hineingetrieben, daß sie hinter der Mittellinie sich befinden. Sie bilden dann eine passende Unterstüzung für den kleinen Bumarang, bevor er nach verschiedenen Richtungen abgeschossen wird.

Indem man die Größe und das Gewicht des Bumarang, die Stärke und das Gewicht der Feder und den Grad der Drehung der beiden Bumarangschenkel verändert,

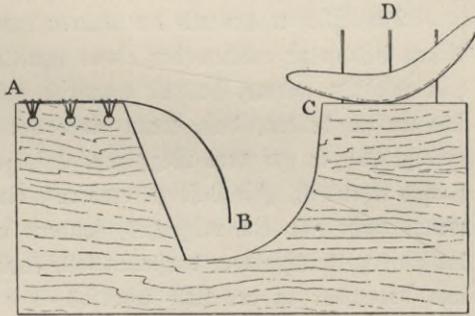


Fig. 18. Bumarang nebst Schleuderapparat für Versuche im Zimmer.

kann man viele der beschriebenen Resultate auf einer Wiese, einem Hofe oder selbst in einem geräumigen Zimmer leicht erlangen.

#### 4. Ballons als Luftschiffe.

Während vieler Jahre haben nun schon zahlreiche Menschen versucht, das Problem der Luftschiffahrt mit Ballon zu lösen. Größtenteils sind sie keine Erfinder im eigentlichen Sinne. Denn sie erfinden meistens keine originellen Anwendungen oder Kombinationen natürlicher Kräfte oder mechanischer Einrichtungen, welche imstande sind, uns ganz neue Möglichkeiten zu eröffnen. Sie benutzen lediglich Erfindungen und Schemata, welche schon hundertmal vorher benutzt worden sind, indem sie die neuesten Fortschritte in der Herstellung leichter, starker Maschinen, Stricke und Seidenstoffe, in der Bereitung der besten Firnisse und noch tausend andere Kleinigkeiten ausnutzen. Manchmal erreichen

sie durch derartige sorgfältige Kombination ein etwas besseres Resultat als ihre Vorgänger, manchmal aber auch nicht.

Montgolfier und die anderen, welche zuerst daran dachten, eine Art Sack mit leichtem Gas zu füllen, der bei genügender Größe einen Menschen tragen könne, sie waren Erfinder. Diejenigen, welche zuerst auf den Gedanken kamen, die Luftballons durch Platten zu ersetzen, welche als Drachenflächen oder Vogelflügel wirkten, waren Erfinder. Diejenigen, welche sich zuerst den Gasbehälter zigarrenförmig dachten, damit er mit geringerem Widerstande die Luft durchseile, auch sie waren Erfinder. Nachdem aber diese grundlegenden Erfindungen gemacht waren, war es keine Erfindung mehr, auf sie die neuesten Verbesserungen der oben genannten Art anzuwenden.

Tatsächlich wollen alle die neueren Luftschiffer etwas Unmögliches. Einen Ballon zu machen, der etwas schneller gehen und etwas sicherer sein soll als andere, das ist natürlich möglich; und viele Menschen scheinen zu denken, daß, wenn einer der sogenannten Erfinder das erreicht hat, er auf dem Wege zum Erfolge ist. Aber das Ziel, das sie sich setzen, ist, „die Luft zu erobern“, eine Einrichtung zu erfinden, welche nicht nur ein mögliches, sondern auch ein praktisches Mittel, die Luft zu durchfahren, darstellen soll, etwas, das annähernd so sicher und brauchbar in der Luft sein soll, wie ein gutes Schiff auf der See. Das durch Ballons zu erreichen ist unmöglich.

Alles, was wir in früheren Abschnitten betrachtet haben, waren wirkliche Erscheinungen, die uns nur durch den Widerspruch, in den sie scheinbar mit dem gesunden Menschenverstande geraten, paradox erscheinen konnten. In diesem Abschnitte haben wir es mit einer paradoxen Idee zu tun.<sup>1)</sup> Es wird von hohem Interesse sein, diese Idee zu prüfen und zu sehen, wie unmöglich die Verwirklichung eines Planes ist, auf den viele Menschen beträchtliche Zeit, viel Geld und viele Geistesarbeit verwendet haben und noch verwenden.

Das Schwimmen in einer Flüssigkeit wie die Luft und auf einer Flüssigkeit wie das Wasser, unterscheidet sich von der Fortbewegung

1) Dieses Urtheil des Dr. W. Hampson ist sehr hart. Es erklärt sich durch die hohen, vielleicht allzu hohen, Anforderungen, die der Verfasser an ein brauchbares Luftschiff stellt. Aber selbst wenn die weitere Entwicklung der Luftschiffahrt ihm dereinst Unrecht geben sollte, ist es doch lehrreich, den pessimistischen Betrachtungen und Berechnungen einmal zu folgen. Der Herausgeber.

auf dem Erdboden nicht nur durch die Art und die Mittel zur Unterstützung des Körpers, sondern auch durch die Tatsache, daß diese Flüssigkeiten oft selbst in heftiger Bewegung sind.

Wenn das der Fall ist, so ist das Schiff der Gnade der tragenden Flüssigkeit ausgeliefert, vorausgesetzt, daß es nicht so schnell durch die Flüssigkeit zu fahren vermag, wie die Flüssigkeit selbst sich möglicherweise bewegen kann. Um aber eine wirklich unabhängige Bewegung zu haben, muß es imstande sein, noch ein gutes Stück mehr zu leisten. Es muß fähig sein, sich durch die Flüssigkeit weit schneller hindurch zu bewegen, als diese Flüssigkeit jemals sich selbst bewegen kann.

Ein Schiff zum Beispiel, welches nur 8 km in der Stunde zurücklegte, würde der Gefahr ausgesetzt sein, von Dzeanströmungen mit 9 km stündlicher Geschwindigkeit auf Klippen oder Sandbänke geworfen zu werden. Und wenn das Wasser eines Flusses 9 km in der Stunde machte, so würde ein Dampfschiff mit nur 8 km Geschwindigkeit den Strom wohl abwärts, aber nicht aufwärts befahren können. Hätte es 9 km größter Geschwindigkeit, so würde es doch bei größter Anstrengung, den Fluß aufwärts zu fahren, gerade vor dem Anlegeplatz stehen bleiben. Um frei aufwärts und abwärts fahren zu können, müßte es ein gutes Stück schneller durch das Wasser fahren können, als das Wasser selbst das Land durchfließt.

Dieselbe Bedingung gilt nun aber für eine Maschine, welche sich fern vom Erdboden durch die Luft bewegen soll. Sie muß nicht nur imstande sein, sich zu erheben und sich so lange wie nötig oben zu erhalten, sondern, um sich nicht dem Untergang auszusetzen, muß sie durch die tragende Flüssigkeit ebenso schnell fahren können, wie diese Flüssigkeit selbst sich fortbewegt, d. h. sie muß so schnell sein, wie jeder noch so schnelle Wind. Und um freie und unabhängige Bewegung nach jeder Richtung und zu jeder Zeit zu haben, muß sie sogar noch wesentlich schneller sein als alle Winde. Selbst wenn wir dem Luftschiffe gestatten wollen, daß es, wie es ja auch Schiffe nach Möglichkeit tun, während eines Orkans im sicheren Hafen bleibt, so muß es doch noch ein gutes Stück schneller sein als starke Winde und selbst Stürme. Wenn es, wie es jetzt der Fall ist, Tage, ja Wochen warten muß, bis der Wind sich gelegt hat und fast Windstille eingetreten ist, so ist die „Eroberung und Besiegung der Luft“ schwerlich erreicht. Ebenso gut könnte eine Maus, die, während die Rabe schlief, sich aus

ihrem Loche herausgewagt hat, sich rühmen, die Raze besiegt zu haben.

Ist es nun irgendwie wahrscheinlich, daß Ballon-Luftschiffe jemals imstande sein werden, schnell genug zu fahren, um nicht nur der Zerstörung durch Winde zu entgehen, sondern sogar ihre festgesetzte Reise trotz der Winde zu vollenden?

Wenn ein Erfolg möglich ist, so sind die Luftschiff-Ingenieure zweifellos auf dem richtigen Wege, indem sie dem Ballon eine langgestreckte Zigarrenform geben, so daß er, wenn er sich in seiner Längsrichtung bewegt, vorn so wenig Luftwiderstand erfährt wie nur möglich. Aber es gibt nach dieser Richtung hin Grenzen, und alles, was mit Vorteil getan werden kann, ist geschehen. Die Kugelgestalt ist diejenige, welche im Vergleich zum Volumen die geringste Oberfläche besitzt und folglich das geringste Gewicht an Baumaterial beansprucht. Sie würde also auch dem Ballon die größte Tragkraft verleihen. Je weiter man sich von dieser Gestalt entfernt, desto größer ist der Verlust an Tragkraft. Die Grenzen für Verbesserungen nach dieser Richtung sind tatsächlich schon erreicht. Ebenso ist man in dem Bestreben, das Gestell, die Stricke, den Gasbehälter möglichst leicht zu machen, schon an der Grenze angelangt, ja, aus Gründen der Sicherheit muß man sagen: die Grenze ist schon überschritten. Obgleich das Gewicht des Motors vielleicht noch herabgesetzt werden kann, so ist doch verhältnismäßig so wenig nach dieser Richtung zu tun übrig, daß das für die Tragkraft nötige Volumen des Ballons nicht wesentlich mehr verringert werden kann.

Nun ist dieses Volumen für Ballons mit ausreichender Tragkraft derart, daß sie niemals schnell genug durch die Luft getrieben werden können, um in starkem Winde sicher zu sein oder gar freie und unabhängige Bewegung zu haben. Bei einem Orkane bewegt sich die Luft mit annähernd 40 m in der Sekunde, und ein Ballon sollte der Sicherheit halber imstande sein, einem Winde von 20 m in der Sekunde zu trotzen, d. h. selbst mit dieser Geschwindigkeit zu fahren. Um Bewegungsfreiheit nach jeder Richtung gegen starke Winde zu haben, sollte er eine Geschwindigkeit besitzen, die derjenigen eines Schnellzuges von 75 bis 90 km in der Stunde gleichkommt.<sup>1)</sup>

1) Im Zusammenhang hiermit ist es von Interesse zu wissen, daß das Luftschiff des Grafen Zeppelin im Oktober 1907 mit gutem Erfolge gegen einen Wind von 6 m Geschwindigkeit in der Sekunde fuhr. Der Herausgeber.

Viele Vögel, beispielsweise Tauben, haben eine solche Geschwindigkeit. Aber sie schweben nicht infolge ihrer Leichtigkeit und ihres großen Rauminhaltes wie ein Ballon. Ein Vogel mit seinem zugespitzten Kopfe und dem allmählich sich verdickenden Körper und den ihre Kante nach vorn richtenden Flügeln, ist wunderbar geeignet, um die Luft in schneller Bewegung zu zerteilen. Wie anders würde es sein, wenn die Vögel sich nicht dadurch in der Luft erhielten, daß sie diese mit den Flügeln schlagen, sondern infolge eines in Anbetracht ihrer Größe genügend kleinen Gewichtes oder einer in Anbetracht ihres Gewichtes genügenden Größe schwebten. Ein kleiner Vogel von 40 g Gewicht müßte dann einen Raum von etwa 30 Kubikdezimetern (Litern) einnehmen. Würden wir diesen Raum zigarrenförmig gestalten, mit einer Länge die 10 mal so groß ist wie der Querdurchmesser, so würde er der Luft noch einen Querschnitt von mehr als 70 Quadratcentimetern entgegenstellen, eine enorm große Fläche für einen kleinen Vogel, um sie schnell durch die Luft zu treiben.

Oder nehmen wir den Fall eines Vogels, der nur eben imstande ist zu fliegen, etwa eine Gans von 4—5 kg Gewicht. Diese müßte einen Raum von 3—4 Kubikmetern einnehmen. In die genannte Zigarrenform gebracht, würde dieser Raum einen Querschnitt von ungefähr  $\frac{1}{2}$  Quadratmeter haben. Man kann sich keine Bewegungseinrichtung vorstellen, die stark genug wäre, um eine solche Fläche mit 75 bis 90 km stündlicher Geschwindigkeit vorwärts zu treiben und die dennoch leicht genug wäre, um zusammen mit den übrigen Konstruktionsteilen unseres hypothetischen Vogels in das Gewicht von 4 bis 5 kg eingerechnet zu werden.

Dazu kommt, daß der Widerstand, den die Luft einem bewegten Körper von so großer Fläche entgegensetzt, so gewaltig ist, daß er einen Gegenstand, der so leicht gebaut sein muß wie ein Luftballon, unbedingt zertrümmern wird. Setzen wir den Fall, unsere hypothetisch vergrößerte Gans hätte einen großen Teil ihres 5 kg-Gewichtes auf die Ausbildung von Muskeln, Sehnen und Knochen verwendet, die stark genug wären, einen so großen Körper mit 80 km stündlicher Geschwindigkeit durch die Luft zu tragen, und sie hätte nur noch einen kleinen Rest ihrer 5 kg übrig zum Aufbau des Gestelles und der Außenwand eines Körpers von 4 Kubikmetern, der stark genug sein soll, um dem furchtbaren Druck standzuhalten, den er erfährt, wenn er mit Schnellzugsgeschwindigkeit

fortgetrieben wird! Das Problem aufstellen heißt zugleich seine Unlösbarkeit erkennen.

Die Widersprüche, welche sich bei der Konstruktion des Ballon-Luftschiffes ergeben, lassen sich kurz folgendermaßen zusammenfassen:

1) Um unabhängig oder doch sicher auch in stark bewegter Luft zu sein, muß es so schnell sein wie ein Schnellzug.

2) Um dem Luftdrucke bei so großer Geschwindigkeit standzuhalten, muß es sehr stark sein und deshalb schwer.

3) Um durch seine eigene Leichtigkeit zu schweben, muß es im Vergleich zu seinem Gewicht sehr groß sein und deshalb schwach.

4) Um sich bei so großem Körper schnell zu bewegen, muß es einen überaus kräftigen und deshalb schweren Bewegungsapparat haben.

Noch kürzer, nämlich in 4 Worten, können wir sagen: es muß schwer und leicht, schwach und stark zugleich sein. Das Problem, die Luft mittels Ballon-Luftschiffs zu erobern, ist also unlösbar. Das gilt aber keineswegs von dem allgemeinen Problem, brauchbare Luftschiffe zu bauen. Nur muß die Aufgabe mit Mitteln in Angriff genommen werden, welche nicht zu unerreichbaren Forderungen führen. Die Natur selbst kann uns vielleicht auf eine mögliche Art der Lösung führen.

Als Beispiele für in der Luft schwebende Körper werden uns die Früchte des Löwenzahns einfallen oder die kleinen Spinnen, welche an einem langen Faden, den sie selbst gesponnen haben und der vom Winde davon geweht wird, hängen. Das sind aber Fälle von lediglich passivem Schweben. Bläst der Wind zur See hin, so werden auch die Passagiere, wenn sie nicht vorher festen Fuß gefaßt haben, dorthin geweht. In ganz ruhiger Luft würden alle diese Dinge senkrecht zu Boden fallen. Sie verdanken ihre Fortbewegung lediglich Luftströmungen, und, wenn diese zufälligerweise zum Teil aufsteigende Ströme sind, so tragen sie sie schneller empor und davon, als ihr sehr geringes Gewicht sie abwärts zieht.

Die aktiven und unabhängigen Luftreisenden der Natur, wie die Vögel, Fledermäuse und Insekten, benutzen alle eines der beiden folgenden Verfahren oder auch beide. Sie schlagen die Luft mit ihren Flügeln, oder sie führen wie die meisten großen Vögel und viele kleine gelegentlich eine Schweb-Bewegung mit ausgebreiteten und bewegungslosen oder nahezu bewegungslosen Flügeln aus, indem sie von einer höheren Lage allmählich herabgleiten.

Einige der Bewegungen der Vögel werden in dem nächsten Abschnitt vollständiger betrachtet werden. Einstweilen wollen wir feststellen, daß die Luftschiff-Ingenieure, welche ihre Unterstützung in der Luft nach der Art der schwebenden Vögel durch Anwendung großer platter Flächen suchen, welche durch die Luft gleiten und auf der Luft ruhen, den großen Rauminhalt des Ballon-Luftschiffes vermeiden. Wenn sie auch mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben, so liegt die Lösung des Problems doch innerhalb des Bereiches der Möglichkeit. Mit solchen Maschinen zu fahren wird wahrscheinlich niemals allzu sicher oder billig sein, aber sie werden sich vermutlich im Dienste des Krieges und der Meteorologie sowie in besonderen Notfällen als sehr nützlich erweisen.

### 5. Der Weg eines Vogels in der Luft.

Die Bewegung eines Vogels durch die Luft oder eines Fisches durch das Wasser ist von jeher ein Gegenstand des Nachdenkens gewesen für alle, die das Bedürfnis haben, das, was sie täglich beobachten, auch zu verstehen. Wie rätselhaft erscheint es doch, daß kleine Fische imstande sind, so schnell und anscheinend ohne große Anstrengung durch ein Medium hindurchzuschleichen, das, wie das Wasser, schnellen Bewegungen einen so großen Widerstand entgegensetzt!

Der Vogelflug kann, wenn auch einzelne Punkte noch der Aufklärung harren, zum größten Teil als erklärt betrachtet werden. Trotzdem zeigt er uns manche Erscheinungen, die genau das Gegenteil von dem sind, was wir erwarten sollten.

Eine solche viel besprochene Erscheinung ist das Schweben großer Vögel, die sich oft stundenlang in der Luft halten, ohne, wie es scheint, Flügelbewegungen auszuführen. Wollen wir das verstehen, so müssen wir uns zunächst sagen, daß ein Vogel mit großer Fläche der ausgebreiteten Flügel langsamer fallen wird als ein Gegenstand von demselben Gewicht und kleinerer Oberfläche. Er verhält sich wie ein Fallschirm. Die unter ihm befindliche Luft, die er verdrängen muß, wird einen um so größeren Widerstand leisten, also eine um so größere „Tragkraft“ entfalten, je größer die Fläche ist. Es ist klar, daß dieselbe Verlangsamung des Fallens auch eintreten muß, wenn ein Vogel, nachdem er sich durch Flügelschläge einen Antrieb gegeben hat, mit ausgebreiteten Flügeln durch die Luft hindurch-

gleitet. Das notwendigerweise stattfindende Sinken wird um so weniger auffallen, je größer die durch die Flügelschläge erzeugte Geschwindigkeit ist.

Das vorhin erwähnte stundenlange Schweben oder Segeln großer Vögel ohne Flügelschlag ist natürlich damit nicht erklärt. Die Beobachtung zeigt, daß diese Bewegung stets eine mehr oder weniger kreisende ist, daß sie nur bei vorhandenem Winde stattfindet und daß der Vogel auf seiner kreisförmigen, elliptischen oder spiralförmigen Bahn die Kraft des Windes als hebende Kraft ausnutzt, indem er seine Flügel in bestimmte schräge Lagen bringt. Eine Erörterung dieser Flugart ohne eine strenge mathematisch-physikalische Untersuchung ist aber unmöglich.

Man will jedoch auch Fälle beobachtet haben, in denen überhaupt kein Sinken und kein Vorwärtsgleiten des Vogels zu sehen war. Bei

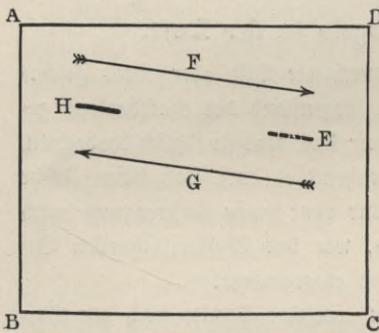


Fig. 19. Zur Erklärung des Schwebens.

solchen Beobachtungen können allerdings leicht Irrtümer unterlaufen. In großen Höhen können Höhenunterschiede und Ortsveränderungen leicht übersehen werden. Nehmen wir aber die Richtigkeit der Beobachtung als erwiesen an, dann ist die folgende Erklärung möglich.

Die Bewegungen der Wolken und Untersuchungen mittels Luftballon und Drachen haben gezeigt, daß in den höheren Luftschichten oft ganz andere Strömungen vorhanden sind als in den unteren uns zugänglichen Schichten. Nehmen wir nun an, in einer höheren Schicht sei ein schräg aufsteigender, von der wagerechten Richtung nur wenig abweichender Luftstrom vorhanden.

In Fig. 19 stellt  $ABCD$  einen Teil jener Luftschicht dar, in welcher der Vogel  $H$  ruhig gleitet.  $E$  sei die Lage, bis zu welcher er sich in einer Sekunde bewegt haben würde, falls die Luft ganz ruhte. Die Bewegungsrichtung ist durch den Pfeil  $F$  veranschaulicht. Wenn die Luft sich in genau entgegengesetzter Richtung ( $G$ ) mit derselben Geschwindigkeit bewegt, so ist es klar, daß die wirkliche Lage des Vogels unverändert bleiben muß.

Eine andere Frage, die bei der Betrachtung des Vogelfluges auftaucht, lautet: Wie ist es möglich, daß ein Vogel sich so schnell vorwärts bewegt, ohne daß er mit den Flügeln rückwärts

gegen die Luft schlägt? Wenn ein Ruderer sein Boot vorwärts treibt, so schlägt er das Ruder rückwärts gegen das Wasser. Ein Raddampfer tut dasselbe mit seinem Schaufelrad und eine Ente oder ein Schwan mit den Füßen. Wenn wir aber einen Vogel, der seine Flügel langsam genug bewegt, etwa eine Krähe oder eine Möwe, sorgfältig beobachten, so entdecken wir nicht die geringste Rückwärts- und Vorwärtsbewegung der Flügel. Das Abwärtschlagen der Flügel erklärt ohne weiteres das Aufsteigen des Tieres. Wie aber kommt dadurch die Vorwärtsbewegung zustande?

In Fig. 20 sind in *A* und *B* die Querschnitte von 2 verschiedenen Lagen eines fliegenden Vogels dargestellt. Die punktierten Flügellinien bedeuten die Hinterränder, die ausgezogenen die Borderränder. In Fig. 20 *A* sieht man die Oberseite der Flügel, in Fig. 20 *B* die Unterseite. In Fig. 20 *A* hat das nahezu beendete Herunterschlagen der Flügel den Körper zum Steigen gebracht. In *B* ist das Hin-

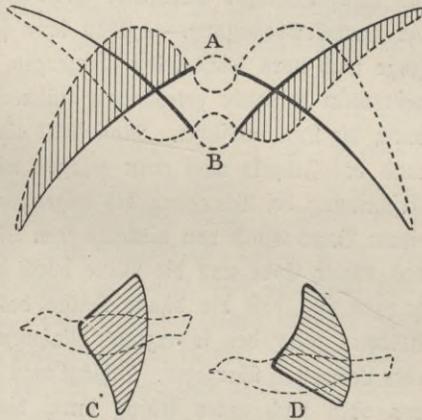


Fig. 20. Flug und Flügelschlag.

auffschlagen nahezu beendet und der weniger gut unterstützte Körper ist etwas gefallen. *C* und *D* sind Ansichten derselben Lagen, aber von der Seite gesehen. In *C* sieht man also die Oberseite der Flügel, in *D* wieder die Unterseite. In Fig. 20 *A* und *C* liegt also der Vorder- rand des Flügels tiefer als der Hinterrand. Wenn der so gestellte Flügel senkrecht abwärts geschlagen wird, so ist die Folge, daß er die Luft nicht nur nach unten, sondern auch nach hinten treibt, daß somit der Flügel und mit ihm der Vogel vorwärts geschoben wird.

In unserer Figur ist die Schräglage des Flügels, die diese Bewegung hervorbringt, im Interesse der Deutlichkeit bedeutend übertrieben. In Wirklichkeit ist sie weit geringer, ja eine ganz schwache Schräglage reicht aus, um die Vorwärtsbewegung hervorzubringen. Es ist auch gar nicht einmal die ganze Flügelfläche, welche an dieser Schräglage teilnimmt, wir haben es genau genommen nur mit einer Form-

veränderung der Spitze und des Hinterrandes des Flügels zu tun. Der Flügel besitzt in seinem Vorderrande als Stütze die Arm- und Fingerknochen. Von hier gehen die Schwungfedern aus, die im wesentlichen die Flugfläche bilden. Der Hinterrand des Flügels ist deshalb viel biegsamer als der Vorderrand. Er kann sich also nach oben biegen, wenn der Flügel mit genügender Geschwindigkeit nach unten gegen die Luft geschlagen wird. Da die Flügelspitze die größte Geschwindigkeit von allen Teilen des Flügels hat, so wird die Aufbiegung des Hinterrandes besonders in der Nähe dieser Spitze erfolgen. Diese keineswegs den ganzen Flügel betreffende Formveränderung ist also die Ursache der Vorwärtsbewegung. — Man kann sich von dem dadurch bewirkten Zuge nach vorn leicht selbst überzeugen, wenn man mit einem in ausgestrecktem Zustande getrockneten Hühnerflügel schnelle Flugbewegungen durch die Luft ausführt. Man fühlt alsdann deutlich wie der Vorderrand des Flügels nach vorn gezogen wird. Noch deutlicher wird die Erscheinung bei Benutzung des folgenden einfachen Flügelmodells. An einem Bambusstab von vielleicht 2 m Länge (Angelrute) verbinde man das dünne Ende und die Mitte durch eine Schnur, die so straff angezogen ist, daß die dünne Hälfte des Stabes deutlich gebogen ist. Alsdann wird der so erzeugte Rahmen mit einem Stück Baumwoll- oder Leinenstoff überzogen. Schlägt man mit diesem künstlichen Flügel von oben nach unten kräftig durch die Luft, so biegt sich der nur durch die Schnur gestützte Hinterrand in die Höhe. Die Wirkung ist so stark, daß es bei einiger Geschwindigkeit überhaupt nicht gelingt, mit diesem Apparat senkrecht abwärts zu schlagen, vorausgesetzt, daß man durch festes Anfassen des Stieles eine Drehung des ganzen Flügels verhindert.

Zum Schluß noch ein paar Worte über das Heben der Flügel! Wenn die Flugmuskeln, welche den Flügel nach unten gezogen haben, erschlaffen, so wird der Luftwiderstand, der die untere Fläche der Flügel trifft, unter schwachem Sinken des Vogelkörpers die Flügel nach oben drücken. Dabei kann der durch Knochen gestützte Vorderrand des Flügels nun vielleicht auch durch die Hebemuskeln des Flügels mit emporgezogen werden. Der Hauptsache nach aber scheint es sich nicht um ein aktives Heben der Flügel zu handeln, der Aufschlag der Flügel scheint vielmehr wesentlich passiv zu erfolgen.

## IV. Flüssigkeiten und Dämpfe.

### 1. Ein Pfund hält einem Zentner das Gleichgewicht.

Wenn Leute, die sich nie mit physikalischen Dingen oder mit praktischer Mechanik befaßt haben, hören, daß eine hydraulische Presse (Wasserpresse) eine Maschine ist, welche einen Menschen befähigt, ein Gewicht von 18 Tonnen (18 000 kg) zu heben, oder daß eine größere Maschine dieser Art, mit mechanischer Kraft betrieben, 2 000 Tonnen zu heben vermag, so muß es ihnen scheinen, als ob hier übernatürliche Kräfte im Spiele seien, um eine so ungeheuer große Kraft aus einer verhältnismäßig kleinen zu schaffen.

Das auffallende Resultat gründet sich auf die Tatsache, daß das Wasser, wie überhaupt alle Flüssigkeiten, einen darauf ausgeübten Druck gleichmäßig nach allen Richtungen fortpflanzt. Anders steht es mit einem Stück Eisen oder einem anderen festen Körper. Es vermag einen von oben kommenden Druck, z. B. die Wirkung seiner eigenen Schwere, nur nach unten, also auf unter ihm befindliche Dinge zu übertragen. Dinge, die sich neben ihm befinden, werden nicht von dem Drucke betroffen. Wird es aber von der Seite gedrückt, so kann es diesen Druck nur auf Gegenstände übertragen, welche sich in der Richtung des Druckes seitlich von ihm befinden.

Elastisches Gummi (Kautschuk, Guttapercha) hat in unvollkommener Weise einige von den Eigenschaften der Flüssigkeiten. Es kann einem Teil des Druckes, von dem es betroffen wird, eine neue Richtung geben. So wird ein nicht hohler Gummiball, der so in einen viereckigen Kasten gelegt ist, daß er die Wände desselben berührt, bei starkem Druck von oben sich verbreitern. Zwar wird auch hier der Boden den stärksten Druck auszuhalten haben, ein Teil des Druckes wird aber auch auf die Seitenwände übertragen.

Die Eigentümlichkeit, die das Gummi infolge seiner Fähigkeit, unter Druck die Form zu verändern, uns hier zeigt, haben alle Flüssigkeiten nun in der Art, daß sie den ganzen Druck nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen. Einige allbekannte Beispiele mögen zuerst die allseitige Ausbreitung des Druckes veranschaulichen. Wie kommt es, daß das Wasser mit solcher Gewalt bestrebt ist, ein Schleusentor zu öffnen oder den Damm, der das Wasser zu einem Teich auf-

gestaut hat, zu durchbrechen? Betrachten wir einen Teil des Wassers in einer gewissen Tiefe innerhalb der Schleuse. Es wird durch sein eigenes Gewicht und durch das Gewicht der darüber lastenden Wassermasse nach unten gedrückt. Diesen Druck überträgt es nicht nur auf das darunter befindliche und somit auf den Boden, sondern auch seitwärts auf die anstoßenden Wassermassen, diese aber drücken endlich auf die Wände des Schleusenraumes und auf das Schleusentor. Dabei wird der Druck auf das Tor in größerer Tiefe größer sein, als näher nach der Oberfläche. — Wie kommt es ferner, daß ein Schiff auf dem Wasser schwimmt? Nun, das Wasser neben dem Schiffe drückt durch sein Gewicht abwärts, dieser Druck wird nicht nur seitwärts

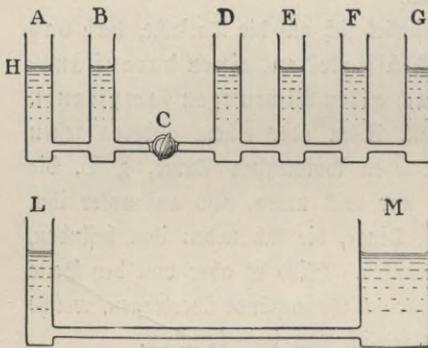


Fig. 21. Zur Erläuterung des Prinzips der hydraulischen Presse.

übertragen, sondern auch nach oben und drückt somit von unten gegen das Schiff.

Um die Wirkung der hydraulischen Presse verstehen zu lernen, wollen wir uns nun einen Apparat, wie er in der Fig. 21 dargestellt ist, denken oder herstellen. A und B sind 2 Zylinder, deren innerer Querschnitt 10 qem betragen möge. D, E, F und G sind 4 ähnliche Zylinder. Alle sechs

sind nahe ihrem Boden durch kleine Röhren verbunden. Bei C befindet sich ein Hahn, der anfangs geschlossen ist. Gießt man nun Wasser in den Zylinder A, so dringt es auch in B ein und steigt hier so hoch, daß beide Oberflächen in derselben horizontalen Ebene liegen. Steht es vorübergehend in einer der Röhren etwas höher, so ist hier sein Gewicht auch etwas größer. Es drückt deshalb stärker auf das Wasser am Boden. Dieser größere Druck wirkt nach der Seite und in der anderen Röhre nach oben und hebt das Wasser in dieser Röhre, bis es ebenso hoch steht wie in der ersten, bis die Wassergewichte sich also das Gleichgewicht halten.

Es ist aber nicht nur der Eigendruck des Wassers, der nach jeder Richtung fortgepflanzt wird. Auf jeder der Wasseroberflächen von 10 qem lastet ein Luftdruck von über 10 kg. Auch dieser Druck

wird fortgepflanzt, und die Druckwirkungen auf die beiden Röhren halten sich gegenseitig das Gleichgewicht. Um zu beweisen, daß das so ist, braucht man nur in jeder der beiden Röhren über dem Wasser einen leicht verschiebbaren, dicht schließenden Kolben anzubringen. Wenn dann der Kolben in *A* etwas gehoben wird, entlastet er das Wasser in *A* von dem Luftdruck. Die Folge davon ist, daß der von dem gleichen Luftdruck belastete, nicht in die Höhe gezogene Kolben in *B*, indem er seinen Druck durch das Wasser nach allen Seiten überträgt, das Wasser in *A* veranlaßt, dem Kolben zu folgen. — Wenn andererseits der Kolben in *A* etwas herabgedrückt wird, so wird auch dieser Überdruck nach allen Seiten fortgepflanzt und hebt den Kolben in *B* mitsamt dem darauf ruhenden Luftdruck von 10 kg.

Nun werde der Hahn *C* geöffnet! Jede der eben geschilderten Einwirkungen auf *A* wird dann genau dasselbe Resultat in den fünf Röhren *B, D, E, F, G* hervorrufen, wie vorher in der einen Röhre *B*. Man gieße Wasser in den Zylinder *A*; seine Oberflächen stellen sich alle in dieselbe horizontale Ebene ein, indem sowohl der Druck der Atmosphäre als auch derjenige des Wassers nach allen Richtungen fortgepflanzt wird und ein vollkommenes Gleichgewicht erzeugt. Man versehe alle Röhren mit Kolben und alle 5 werden auf eine Druckveränderung in der einen Röhre mit einer ebenso großen Veränderung antworten, wie es vorher die eine tat. Wenn wir ein Kilogrammgewicht auf den Kolben in *A* legen, so müssen wir auf alle 5 übrigen Kolben auch ein Kilogrammgewicht legen, um zu bewirken, daß wieder alle Kolben gleich hoch liegen.

Hier finden wir den Schlüssel zum Verständnis der hydraulischen Presse. Jedes Gewicht, das auf die Wasseroberfläche in einer der Röhren drückt, hält offenbar einem gleichen Gewicht in jeder der 5 anderen Röhren das Gleichgewicht. Ein Kilogramm in *A* kann darum 5 Kilogramm, die gleichmäßig über *B, D, E, F, G* verteilt sind, tragen. Ein kleines Übergewicht in *A* aber wird das Gleichgewicht stören und die 5 kg um ein gewisses Stück heben.

Es ist nun klar, daß wir das Verhältnis zwischen dem einen Zylinder und den 5 anderen nicht wesentlich ändern, wenn wir die letzteren alle zu einer einzigen weiteren Röhre mit 50 qcm innerem Querschnitt vereinigen. Diese Anordnung zeigt uns die Fig. 21 in *M*, und tatsächlich ergibt das Experiment, daß, wenn *L* 10 qcm. *M*

50 qem Querschnitt hat, 1 kg in  $L$  5 kg in  $M$  im Gleichgewicht hält und daß ein kleines Übergewicht in  $L$  5 kg in  $M$  zu heben vermag. Hieraus folgt — und das Experiment vermag es zu bestätigen —, daß, wenn der Querschnitt von  $M$  100 mal so groß ist wie der von  $L$ , eine Kraft von 1 kg in  $L$  einer Last von 100 kg in  $M$  das Gleichgewicht halten kann.

Man denke sich nun die Röhre  $L$  durch eine kleine Druckpumpe ersetzt.  $L$  stellt dann in unserer Figur den „Pumpenstiefel“ dar. Der Druck auf den Kolben werde nicht direkt durch die Hand eines Menschen, sondern durch Vermittlung eines Hebels („Pumpenschwengels“) ausgeübt, dessen Kraftarm 6 mal so lang ist, wie der mit dem Pumpenkolben durch eine Stange verbundene Lastarm. Ein Mann kann ohne Schwierigkeit einen Druck von 30 kg auf den Hebel ausüben. Durch die Anwendung des Hebels wird dieser Druck sechsfacht, der Kolben drückt also mit 180 kg auf das Wasser in  $L$ . Ist dann der Querschnitt von  $M$  100 mal so groß wie derjenige von  $L$ , so kann das Wasser in  $M$  ein Gewicht von 18000 kg oder 18 Tonnen heben.

Ein Mann, indem er am Pumpenschwengel arbeitet, hebt 18 Tonnen! Das klingt nach Zauberei, wenn man es zum ersten Male hört. Es sieht aus, wie wenn die Natur betrogen würde. Aber die Natur ist ein sehr sorgfältiger Bankier und hat noch nie bei einem Handel den kürzeren gezogen. Sie bezahlt niemals einen Check, dessen Betrag die deponierten Gelder übersteigt.

Man kann aus keiner Maschine mehr Kraft gewinnen, als in irgendeiner Form ihr zugeführt wurde. In Wirklichkeit kann man nicht einmal ebensoviel wiedergewinnen. Welcherlei Kraft man auch zuführt, die Natur erhebt einen Zoll darauf, indem sie einen Teil davon in Reibung verwandelt, die uns als Kraft verloren geht. Das ist die Provision des Bankiers. So kommt es, daß die Gesamtkraftleistung einer Maschine stets geringer ist, als die zugeführte Kraft betrug.

Wenn deshalb ein Mann, indem er einen Druck von 30 kg ausübt, eine Maschine veranlassen kann, 18 Tonnen zu heben, so können wir sicher sein, daß sich irgendein Ausgleich ausfindig machen läßt, der uns anstatt eines zauberhaft erscheinenden Gewinnes ein Arbeitsgleichgewicht erkennen läßt. Dieser Ausgleich liegt darin, daß der Weg, auf welchem die Kraft ausgeübt wurde, 600 mal so groß

ist wie der Weg, den die Last zurücklegte. Wenn der Arbeiter mit seinem Pumpenschwengel einen Weg von 600 cm zurücklegt, so wird die Last von 18 Tonnen nur 1 cm hoch gehoben. Es sind also 100 solche Pumpenschläge nötig, um die Last um 1 m zu heben. Auch muß der Arbeiter jedes Mal mit einer Kraft drücken, die etwas größer ist als 30 kg, damit er das ersetzt, was durch Reibung verloren geht.

Daß dieser Ausgleich ein notwendiger ist, zeigt leicht ein Blick auf die Figur 21. Wenn ein Kolben in der Röhre *A* das Wasser unter *H* herabdrückt und es so zwingt, in den anderen fünf Röhren in die Höhe zu steigen, so kann, wenn die Röhren gleich weit sind, das Steigen in den 5 Röhren nur den fünften Teil des Sinkens in der ersten Röhre betragen. Sind die 5 Röhren, wie in *M*, zu einer vereinigt, so muß hier dasselbe gelten. Also wird eine Last in *M* um  $\frac{1}{5}$  der Strecke gehoben, um welche der Kolben in *L* sinkt.

## 2. Flüssigkeiten, die nicht fallen; Wasser, das bergan fließt.

Man fülle ein Trinkglas mit Wasser, bis es überläuft, und bedecke es mit einem Stück von dünnem Karton oder steifem Papier. Während man das Papier leicht gegen das Glas drückt, kehre man das Glas um und entferne die Hand vom Papier (Fig. 22 *A*). Dann wird das Papier in seiner Lage bleiben und das Wasser wird nicht ausfließen, obgleich das Papier von unten her nicht mehr festgehalten wird.

Diese auffallende Erscheinung erklärt sich dadurch, daß in Gasen, wie in Flüssigkeiten, die Teilchen leicht verschiebbar sind und daß deshalb auch Gase einen Druck gleichmäßig nach allen Richtungen fortpflanzen. Die Luft überträgt deshalb den Druck, der sich aus ihrem eigenen Gewichte ergibt, nach allen Seiten und drückt so auch von unten gegen das Papier mit einer Kraft von etwa 1 kg auf jeden Quadratcentimeter. Nun wiegt aber, wenn die Höhe des Glases (innen gemessen) 10 cm beträgt, das über jedem Quadratcentimeter Papier stehende Wasser nur 10 g. Die Luft drückt also 100 mal so stark von unten gegen das Papier wie das Wasser von oben. Kein Wunder also, daß das Wasser das Papier nicht fortschieben und deshalb nicht ausfließen kann. Wenn das Wasser zufälligerweise doch ausfließt, so kommt das nur daher, daß das Papier sich seitwärts bewegt oder verbogen hat und deshalb den Luftdruck nicht gleichmäßig übertragen

konnte. Die einzige Aufgabe des Papiers besteht in der gleichmäßigen Verteilung des Druckes.

Ein enges Rohr (Fig. 22 B), das mit Wasser gefüllt ist, wird auch ohne Papier das Wasser nicht ausfließen lassen, wenn das obere Ende etwa durch einen Finger verschlossen wird. Sein Querschnitt ist zu klein, um eine ungleichmäßige Verteilung des Druckes zu gestatten. Es können also keine Luftblasen aufsteigen und der Druck der Atmosphäre hält das Wasser mit Leichtigkeit zurück.

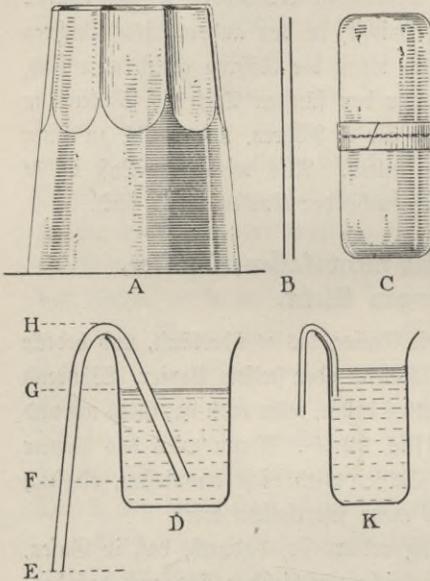


Fig. 22. Wirkungen des Luftdrucks.

Man fülle 2 gleich weite Trinkgläser mit ebenem (am besten mit abgeschliffenem) Rande unter Wasser — etwa in der Badewanne — und setze sie mit ihren Rändern aufeinander, lege um die Ränder einen Papierstreifen und stelle die Gläser nun unter Wasser senkrecht (Fig. 22 C). Nun hebe man sie vorsichtig aus dem Wasser heraus. Wenn man für genau senkrechte Stellung sorgt, so kann man beide Gläser halten, während man nur das obere anfaßt. Das untere Glas nebst dem darin befindlichen Wasser wird durch den von unten wirkenden Luftdruck gehalten. — Für dieses Experiment eignen sich am besten Wassergläser mit senkrechter Seitenwand, weil bei ihnen sich der Papierstreifen besser dem Glase anlegen wird. Die Aufgabe des Papiers besteht natürlich nicht darin, die Gläser durch seine Festigkeit zusammenzuhalten, es dient vielmehr einfach zur gleichmäßigen Verteilung des Luftdruckes und verhindert, daß Luftblasen an einigen Stellen eintreten, während Wasser an anderen ausfließt. Damit das recht klar hervortritt, benutze man aber nicht etwa starkes Papier, sondern im Gegenteil recht schwaches. Dann sind wir sicher, daß wir nicht dem Luftdruck zuschreiben, was eigentlich auf Rechnung der Festigkeit des Papiers kommt.]

Anfänger im Experimentieren seien darauf aufmerksam gemacht, daß die Hauptgefahr des Mißlingens bei einem Experiment nicht dann vorliegt, wenn jemand für sich den Versuch zum ersten Male macht. Im Gegenteil kommt ein Mißerfolg viel häufiger vor, wenn der Experimentator, nachdem er für sich allein erfolgreich war, die Erscheinung gespannten Bewunderern zeigen will. Ein weiser Experimentator wird deshalb die beiden letzten Versuche in und über der Badewanne sowohl zeigen als auch einüben. Dann wird, falls ein Wasserglas oder sein Inhalt es fertig bringt, den atmosphärischen Druck zu überlisten, kein Schaden an Glaswaren, Tischdecken oder Teppichen entstehen.

Von der Röhre *B* war angenommen, sie sei zu eng, um gleichzeitig Wasser hinunterfließen und Luft aufsteigen zu lassen, also vielleicht 5 mm im Durchmesser. Da nun der Luftdruck für 1 qcm etwa 1 kg ist, so würde er auf die Wassersäule in der Röhre ungefähr mit 200 g drücken. Eine Wassersäule von 5 mm Durchmesser aber müßte 10 m hoch sein, um 200 g zu wiegen. Es ist deshalb klar, daß, wenn eine Röhre von dieser Länge mit Wasser gefüllt und ihr oberes Ende geschlossen wäre, der Luftdruck das Wasser in der Röhre zurückhalten würde. Derselbe Druck würde natürlich mit Leichtigkeit das Wasser in Röhren von vielleicht 1 m Länge zurückhalten.

Nehmen wir nun an, eine Röhre von dieser Länge wäre gebogen wie in Fig. 22 *D* und ihre beiden nun nach unten gekehrten Enden wären offen. Dann würde der Luftdruck gegen beide Röhrenmündungen mit gleicher Stärke wirken. Wenn die ganze Röhre mit Wasser gefüllt und die ganzen Höhen der beiden Schenkel von der Biegungsstelle bis zur Öffnung genau gleich wären, d. h. wenn die Öffnungen in derselben Horizontalebene lägen, so würden die Wassergewichte in den beiden Röhrenschenkeln sich auch genau das Gleichgewicht halten und die Röhre würde — obwohl vollkommen offen — gefüllt bleiben. Dazu ist eine so genaue Gleichheit der Längen, der Füllung der offenen Enden, der an den Enden hängenden Flüssigkeit und eine so vollständige Ruhe in der Luft und in der Flüssigkeit erforderlich, daß der Versuch praktisch ebensowenig auszuführen ist, wie sich ein Kreislauf ruhend auf die Spitze stellen läßt. Man kann kleine Ungleichheiten nicht vermeiden, und diese werden in einem so beweglichen Stoff, wie es eine Flüssigkeit ist, das Gleichgewicht stören.

Gehen wir deshalb zu dem Fall über, daß die Öffnung des einen Schenkels deutlich tiefer liegt als die des anderen, wie bei  $E$  und  $F$  in Fig. 22. Das Gefäß  $D$  denke man sich zunächst fortgenommen. In diesem Falle hält sich der Luftdruck, der gegen beide Röhrenenden wirkt, wieder das Gleichgewicht, und dasselbe gilt von dem Wasserdruck zwischen den beiden Ebenen  $H$  und  $F$ , da die dazwischen liegenden Wassersäulen die gleiche Höhe haben. Der Wasserdruck in den Röhren zwischen diesen Ebenen hebt deshalb gleiche Teile des aufwärts gerichteten Luftdruckes auf; das Gleichgewicht bleibt somit ungestört. Der Druck des Wassers zwischen  $E$  und  $F$  in dem linken Schenkel wird jedoch nicht durch einen anderen Wasserdruck aufgehoben, sondern hebt vielmehr einen weiteren Teil des Luftdruckes auf, der in dem linken Schenkel aufwärts wirkt. Da der übrig bleibende Luftdruck deshalb rechts größer ist als links, so wird das Wasser rechts in die Höhe getrieben und fließt links abwärts. Die Kraft, mit der das geschieht, hängt von der Höhe der Wassersäule zwischen  $E$  und  $F$  ab. Sie wächst also in dem Maße, wie die Wassersäule im rechten Schenkel sich durch das Ausfließen verkürzt.

Wenn das kürzere Ende der gefüllten Röhre in ein Gefäß mit Wasser ( $D$ ) gehängt wird, so ist der Unterschied des Wasserdruckes in den beiden Schenkeln größer als vorher, da die Wassersäule im rechten Schenkel nunmehr nur von  $G$  bis  $H$ , im linken Schenkel aber wie bisher von  $E$  bis  $H$  reicht. Die bewegende Kraft wird dann durch die Höhe der Wassersäule zwischen  $E$  und  $G$  gemessen. Sie zeigt den Betrag an, um den der Atmosphärendruck im linken Schenkel mehr vermindert wird als im rechten. Diese treibende Kraft nimmt offenbar ab, wenn die Wasseroberfläche  $G$  im Gefäß  $D$  durch Ausfließen des Wassers sinkt, während sie wachsen würde, wenn wir es nur mit dem Wasser in der Röhre allein zu tun hätten.

Was wir jetzt kennen gelernt haben, ist die wohlbekannte Wirkung des „Hebers“. Das Wasser läuft in ihm buchstäblich bergan, und man kann ihn deshalb benutzen, um ein Gefäß zu entleeren, ohne es zu neigen oder eine Öffnung daran anzubringen. Die gewöhnliche Art, ihn zu füllen, besteht darin daß man, während er in dem Gefäß mit Wasser hängt, bei  $E$  mit dem Munde saugt oder daß man vorher Wasser hineingießt und ihn nun, während ein Ende durch einen Finger verschlossen ist, in das Gefäß hängt.

Es gibt aber noch eine dritte Art, ihn zu füllen. Man kann dazu nämlich die Kapillaranziehung benutzen. Wenn die Röhre *B* in Wasser gestellt wird, so daß das obere Ende über die Wasseroberfläche emporragt, so steht das Wasser innen höher als außen. Das ist die Folge der vereinigten Wirkung der Oberflächenspannung des Wassers und der Anziehung (Adhäsion), welche jede Flüssigkeit durch einen von ihr benetzten festen Körper erfährt. Je enger die Röhre ist, desto höher steigt innen das Wasser. Eine sehr enge Röhre nennt man eine Kapillarröhre oder Kapillare, d. h. ein Haarröhrchen. Daher also der Ausdruck „Kapillaranziehung“! Nimmt man nun eine gebogene Kapillare (in Fig. 22 *K*) und füllt das Gefäß, in welches man sie hineinhängt, hoch genug mit Wasser, so kann die Flüssigkeit die Biegungsstelle durch Kapillaranziehung überwinden und bewegt sich dann auch infolge ihres Gewichtes im äußeren Schenkel abwärts. Sobald sie im äußeren Schenkel das Niveau der Wasseroberfläche des Gefäßes erreicht hat, wirkt der Apparat wie ein gewöhnlicher Heber von sehr enger Höhlung und großer Reibung.

Ein Stück Zeug oder ein Docht kann als eine Vereinigung von sehr feinen Kapillarröhren betrachtet werden, da beide eine große Zahl von sehr nahe beieinander liegenden Oberflächen enthalten. Diese können deshalb, indem sie in der beschriebenen Weise wirken, Öl aufsaugen, um eine Flamme zu nähren. Wenn ein Stück Zeug wie in *K* angebracht wird, indem das eine Ende in Wasser eintaucht, welches ein Gefäß nahezu füllt und das andere Ende außen niederhängt, so kann es als Heber wirken. Wenn ein nahezu mit Wasser angefülltes Gefäß zahlreiche überhängende Blätter enthält, so wirkt auch diese Anordnung wie ein Kapillarheber und erzeugt bald eine beträchtliche Wasserlache auf dem Tische.

In allen diesen Fällen fließt die Flüssigkeit gewissermaßen unter Verleugnung der Schwerkraft bergauf.

### 3. Erhöhung des Gewichts ohne Vermehrung der Masse.

Unter dem Gewicht eines Körpers versteht man gewöhnlich die den Körper nach dem Erdmittelpunkt hin ziehende Kraft. Man bemerkt die Größe dieser „Schwerkraft“, um die Menge des Stoffes — die Masse des Körpers — zu messen. Um eine genaue Messung dieser Art auszuführen, muß man sorgfältig die geographische Breite,

die Höhenlage des Ortes, die Dichtigkeit der Flüssigkeit (z. B. Luft), worin die Wägung stattfindet, usw. berücksichtigen.

Ein anderes Verfahren, die Masse eines Körpers zu bestimmen, besteht darin, daß man die Energie feststellt, mit welcher der bewegte Körper aufschlägt, wenn er festgehalten wird. Hierbei muß man, wenn man genau sein will, die Geschwindigkeit, die beim Aufschlagen entwickelte Wärme, den Widerstand der Flüssigkeit, durch welche hindurch die Bewegung erfolgt, und anderes in Betracht ziehen. Diese Methode der Massenbestimmung beruht auf der Tatsache, daß jeder bewegte Körper bestrebt ist, seine Bewegung in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit beizubehalten, wenn er daran nicht durch den Luftwiderstand, die Schwerkraft oder eine andere Ursache gehindert wird.

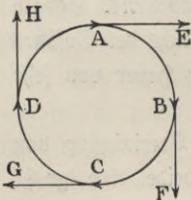
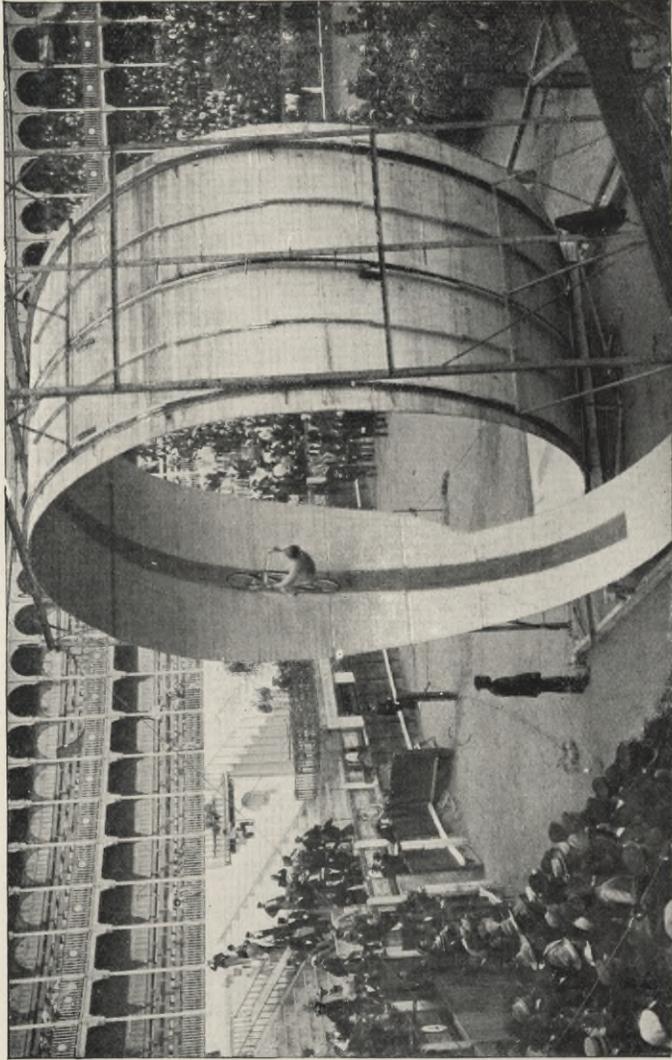


Fig. 23. Eine Wirkung der „Trägheit“.

Wenn die Geschwindigkeit und alle anderen Umstände gleich sind, so ist die Kraft, mit der die Körper sich dem Festgehaltenwerden widersetzen, proportional der Zahl der kleinsten Teilchen, woraus die Körper bestehen, d. h. proportional der Masse. Dieses Bestreben der Körper, jede Veränderung des Zustandes zu verhindern, nennt man die Trägheit der Masse. Wenn sich nun ein Gegenstand im Kreise bewegt, so ist er in jedem Augenblicke bestrebt, sich nicht etwa in der Fortsetzung seiner bisherigen kreisförmigen Bahn zu bewegen, sondern geradeaus, in der Richtung, welche die Mathematiker die Tangente des Punktes nennen, worin er sich gerade befindet.

Ist z. B. ein Körper, der sich im Sinne des Uhrzeigers auf der Kreisbahn  $ABCD$  (Fig. 23) bewegt, in  $A$ , so strebt er, sich in der Richtung  $AE$  weiter zu bewegen. In  $B$  strebt er nach  $F$ , in  $C$  nach  $G$ , in  $D$  nach  $H$ . Das sind bekanntlich die Richtungen, in denen lose Körperchen von einem gedrehten Körper sich ablösen, z. B. die Funken von einem Schleifstein. Wenn nun aber ein Gegenstand von  $A$  nach  $E$  geht, so entfernt er sich vom Mittelpunkt seiner Bahn. Er bedarf deshalb dauernd eines Zuges nach dem Mittelpunkt hin, wenn er in die Kreisbahn gezwungen werden soll. Dieses Bestreben kreisender Körper, sich vom Mittelpunkt fortzubewegen, nennt man gewöhnlich Zentrifugalkraft (= Fliehkraft). Bei gleichbleibender Geschwindigkeit ist diese Kraft um so größer, je kleiner der Kreis ist. Als Beispiel für die manchmal recht bedeutende Größe der Zentrifugalkraft sei





Eine Schleifenbahn.

angeführt, daß Schleifsteine unter Umständen infolge schneller Umdrehung bersten.

Das Vorhandensein der Zentrifugalkraft zeigt sich auch sehr auffallend in dem folgenden Experiment. Man nimmt eine Kanne, eine Flasche oder einen kleinen Eimer, füllt das Gefäß halb mit Wasser und schwingt es höher und höher, bis es schließlich einen vollen Kreis beschreibt. Das kann man ausführen, ohne daß nur ein Tropfen verschüttet wird, weil die Zentrifugalkraft das Wasser gegen den Boden des Gefäßes wirft. Am leichtesten gelingt der Versuch, wenn man eine sehr kleine Kanne oder Flasche nimmt und sie an einer Schnur schwingen läßt.

Statt der Schnur können auch andere Mittel angewandt werden, um den Gegenstand immer in derselben Entfernung vom Mittelpunkt zu halten. Der Gegenstand kann auf Räder gesetzt und gezwungen werden, der Innenseite einer kreisförmigen Bahn zu folgen. Das ist der Fall, wenn ein Zweiradfahrer seine Kunst und mehr noch seinen Mut auf der sogenannten „Schleifenbahn“ beweist (Tafel III). Die notwendige Geschwindigkeit erlangt er, indem er vorher eine steile Ebene hinabfährt, die etwas höher ist als der zu durchzufahrende Kreis. Das genügt, um das Zweirad an einem Gelise entlang zu tragen, das sich an der Innenseite einer kreisförmigen Bahn befindet. Dabei überschreitet der Fahrer den höchsten Punkt der Bahn mit nach unten gekehrtem Kopf und nach oben gewandten Füßen. Er wird nur durch die Zentrifugalkraft gegen seinen umgekehrten Sitz gepreßt und ist vollkommen sicher, solange die Einrichtungen fehlerfrei sind und er selbst Herr seiner Nerven ist.

Wenn diese Vorführung nur die Veranschaulichung einer wissenschaftlichen Wahrheit sein sollte, so würde ihr Zweck ebensogut erreicht, wenn man den lebenden Menschen durch einen Strohhalm ersetzte. Aber die „Zugkraft“ der Veranstaltung würde dadurch wohl geringer werden.

Die Zentrifugalkraft findet aber auch vielfach nützlichere Anwendung, nämlich zur schnelleren Trennung von Dingen, welche sich infolge ihres verschiedenen Gewichtes zwar von selbst trennen, aber doch bedeutend langsamer. So trennt der Chemiker Krystalle und Niederschläge von den Lösungen, in denen sie erzeugt werden; man befreit Wäsche von dem anhaftenden Wasser; man trennt den leichteren Rahm

von dem schwereren, wässerigen Teile der Milch. Der Gewichtsunterschied des Rahms und des wässerigen Teiles der Milch ist nicht sehr groß, das Gewichtsverhältnis mag etwa 9 : 10 sein. Läßt man deshalb Milch einfach stehen, so dauert es viele Stunden, bis das in ihr sehr fein verteilte Fett sich teilweise als Rahm oben angesammelt hat.

Gesetzt, es wären in einer gewissen Menge Milch 9 g Rahm; dann wiegt der von dem Rahm verdrängte wässerige Teil 10 g, der „Auftrieb“, d. h. die Ursache für das Aufsteigen des Rahms beträgt dann 1 g. Wenn wir nun beide Teile 1000 mal so schwer machen könnten, daß folglich der Rahm 9 kg, der verdrängte Milchteil 10 kg

wäge, so wäre der Auftrieb gleich 1 kg.

Das ist es nun, was man praktisch im Zentrifugal-Separator<sup>1)</sup> ausführt. Eine einfache Form desselben, für Laboratoriumszwecke zusammengestellt, zeigt die Figur 24. Ein Rahmen mit 6—10 Armen ist horizontal mit großer Geschwindigkeit durch eine

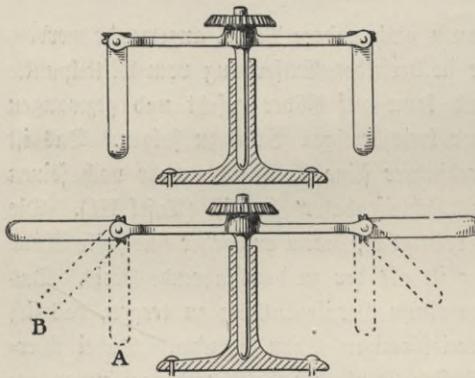


Fig. 24. Zentrifugal-Apparat.

besondere, in der Figur nicht dargestellte Vorrichtung drehbar. Am Ende eines jeden Armes befindet sich ein drehbarer Ring. In diese Ringe werden die Röhren, welche die zu „zentrifugierenden“ Stoffe enthalten, eingesetzt. Um Schwankungen des Apparates zu vermeiden, sollten gleich große Flüssigkeitsgewichte einander gegenüber angebracht werden.

Wenn dieser Apparat gedreht wird, so bewirkt die Zentrifugalkraft, daß sich die Röhren von ihrer ursprünglichen Lage A nach außen bewegen. Wenn sie bis B gekommen sind, so daß sie mit der ursprünglichen Richtung einen Winkel von  $45^\circ$  bilden und sich also in der Mitte zwischen der vertikalen und horizontalen Lage befinden, so ist die vertikal wirkende Schwere gerade durch die horizontal wirkende

1) Separator = Trenner.

Zentrifugalkraft aufgehoben. Jedes Gramm Masse innerhalb der Röhre hat außer seinem Gewicht von 1 g, das es der Schwerkraft verdankt, gewissermaßen noch 1 g „Horizontalgewicht“ — und zwar infolge der Zentrifugalkraft — erlangt.

Nun wächst die Zentrifugalkraft proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit. Wenn die Maschine die Röhren also doppelt so schnell herumbewegt, so erlangt ihr Inhalt die vierfache Zentrifugalkraft, jedes Gramm Masse hat jetzt 4 g „Horizontalgewicht“; bei zehnfacher Geschwindigkeit hat jedes Gramm 100 g „Horizontalgewicht“ und so fort. So wird ein sehr kleiner ursprünglicher Gewichtsunterschied zwischen zwei Dingen in einer solchen Röhre bei genügend schneller Umdrehung des Apparates einen sehr beträchtlichen Unterschied der Zentrifugalgewichte erzeugen, und der schwerere wird sich schnell nach dem äußeren Ende der Röhre, d. h. nach ihrem Boden, begeben.

In Maschinen, die nach diesem Prinzip gebaut sind, die allerdings im einzelnen von unserem Apparat abweichen, werden täglich große Mengen von Milch „zentrifugiert“. Der wässrige Teil der Milch wird dabei in die äußeren Teile des Separators getrieben, während der leichtere Rahm sich nahe der Mitte ansammelt. Ein ähnliches Verfahren wird in großen Wäschereien benutzt, um das Wasser schnell aus nassen Stoffen zu entfernen. In Imkereien schleudert man so den Honig aus den Zellen der Waben heraus, ohne die letzteren zu zerstören, wie es früher geschah, wenn man sie zerschnitt und zerquetschte.

#### 4. Abstoßung und Anziehung, durch dieselbe Ursache erzeugt.

Wenn eine mit einem Dampfkessel verbundene Dampfrohre mit einer sehr engen Öffnung versehen wird, so wird der Dampf in einem feinen Strahle heraustraten. Der zusammengepreßte Dampf tritt in das innere Ende der Öffnung mit einer gewissen Geschwindigkeit (vielleicht 400 m in der Sekunde) ein; während er sich in dem engen Kanal entlang bewegt, dehnt er sich aus. Wenn nun aber 2 Liter eines Stoffes durch eine Öffnung in derselben Zeit hindurchfließen sollen wie 1 Liter, so ist klar, daß jedes Teilchen der 2 Liter sich doppelt so schnell bewegen muß wie jedes Teilchen von dem einen Liter. Da jeder Raumteil Dampf sich, während er durch die Öffnung geht, auf das Doppelte oder ein größeres Vielfaches ausdehnt, indem der hohe

Druck, den der Dampf im Kessel hatte, allmählich auf den Atmosphären-  
druck sinkt, so folgt daraus, daß der Dampf, wenn er die Öffnung  
verläßt, eine Geschwindigkeit von vielleicht 1000 m in der Sekunde  
angenommen hat. Derartig schnell sich bewegender Dampf kann eine  
ganz beträchtliche Arbeit leisten, wie sich das beim Treiben von Turbinen  
durch solche Dampfstrahlen zeigt.

Unsere Abbildung (Fig. 25) zeigt eine andere Art, wie seine  
Arbeitskraft bewiesen werden kann. Das Ende eines Dampfrohres *A*  
ist durch Metall verschlossen und dieses Metall ist bei *B* mit einer feinen  
Öffnung versehen. Wenn der Dampfstrahl dann ein Hindernis trifft, so  
treibt er dieses kräftig vor sich her. Eine leichte Platte zum Beispiel,

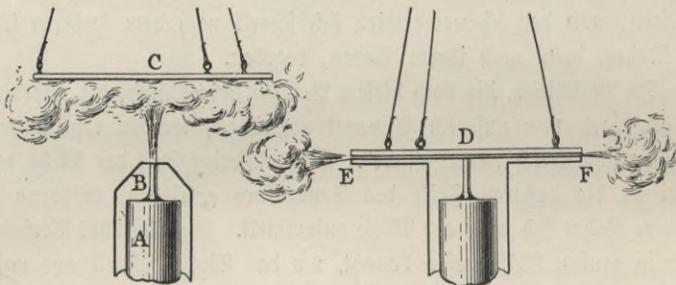


Fig. 25. Anziehung und Abstoßung durch einen Dampfstrahl.

die über dem Strahl bei *C*, also in ziemlich bedeutender Entfernung  
von *B*, aufgehängt ist, wird hochgetrieben und am Herabfallen gehindert.

Nun denke man sich aber den Apparat in der folgenden Weise  
abgeändert. Das Ende der Dampfrohre sei zu einer ebenen Platte *EF*  
erweitert, die in der Mitte durchbohrt ist. Ferner sei die bewegliche  
Platte (*D*) nur in einem ganz geringen Abstände von *EF* aufgehängt.  
Wenn man dann den Dampfstrahl austreten läßt, so zeigt sich, daß  
die obere Platte, anstatt abgestoßen zu werden, nun gewissermaßen  
von der unteren angezogen wird. Es bedarf einer beträchtlichen Kraft,  
um die obere Platte von der unteren zu entfernen.

Wie ist es nun möglich, daß genau derselbe Dampfstrahl zwei  
ganz entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen kann? Zur Erklärung  
ist zunächst zu beachten, daß im ersten Fall der Druck des Dampfes  
beim Hindurchströmen durch den engen Austrittskanal allmählich abnimmt,  
bis er eben außerhalb des Rohres dem Luftdrucke gleich wird. Alle

Wirkungen, die der so ausgedehnte Dampf ausübt, sind auf die große Geschwindigkeit der Dampfteilchen zurückzuführen. Im zweiten Falle liegt die obere Platte so dicht auf der unteren, daß wir annehmen können, in dem Austrittskanal und unmittelbar über diesem herrsche noch der hohe Druck, der im Dampfkessel vorhanden ist. In der nächsten Umgebung des Austrittskanals aber wird sich der Dampf ausdehnen, um den Atmosphärendruck anzunehmen. Während er im ersten Falle sich nach allen Richtungen ausdehnen konnte und so die ursprüngliche Bewegungsrichtung *BC* von der Hauptmasse des Dampfes beibehalten wurde, findet er im zweiten Falle, solange die Platte *D* nicht emporgehoben ist, einen Ausweg nur in den Richtungen parallel zur Platte *EF*. Zwar übt der Dampf auch in diesem Falle, wenn er ausströmt, einen Stoß gegen die obere Platte aus. Er trifft aber direkt nur auf einen sehr kleinen Bezirk der Platte und vermag diese, da er mit der „Trägheit“ der Platte zu rechnen hat, nicht wesentlich zu heben. Diese Wirkung der Trägheit zeigt sich ja auch sehr deutlich, wenn man mit einem Hammer sehr schnell, kurz und kräftig gegen eine offenstehende und leicht drehbare Tür schlägt — man benutze dazu aber zur Vermeidung von Unannehmlichkeiten keine Zimmertür —; dann kann man die Tür leichter zertrümmern, als sie um ein irgendwie beträchtliches Stück aus ihrer Lage entfernen. So wird also auch der Dampf im ersten Augenblicke seines Ausströmens keine bedeutende Verschiebung der oberen Platte bewirken. Im nächsten Moment aber hat er sich seitwärts ausgedehnt und den engen Zwischenraum zwischen beiden Platten fast vollkommen ausgefüllt.

Nun ist aber zu beachten, daß, wenn der Dampf sich vom Mittelpunkte der Scheiben nach dem Rande derselben bewegt, der ihm zur Verfügung stehende Raum sich außerordentlich schnell erweitert. Wir können uns das veranschaulichen, indem wir auf einer der kreisförmigen Platten eine größere Anzahl von konzentrischen Kreisen um den Mittelpunkt der Platte konstruieren und alsdann 2 Radien (Halbmesser), die nur einen kleinen Winkel einschließen, zeichnen. Der von den Radien abgegrenzte Kreisabschnitt erweitert sich vom Mittelpunkt nach außen, wie das die verschieden großen Abschnitte auf den konzentrischen Kreisen veranschaulichen. Ein kleines Dampfquantum, das sich dicht beim Mittelpunkte der Scheiben zwischen den beiden Radien befindet, findet, indem es nach außen fortschreitet, einen fortwährend wachsenden Raum vor

und dehnt sich demgemäß andauernd aus, um den Raum auszufüllen. Die große Geschwindigkeit seiner kleinsten Teilchen leidet dabei natürlich nicht, so daß auch der ausgedehnte Dampf immer noch imstande ist, die Luft aus dem Raume zwischen den Platten fernzuhalten. Wohl aber vermindert sich mit der Ausdehnung des Dampfes sein Druck gegen die Platten. Während die obere Platte in der Mitte noch einen Druck erfährt, der den Atmosphärendruck beträchtlich übersteigt, hat sich der Druck, indem der Dampf nach außen abfließt, bald so weit vermindert, daß er dem Atmosphärendruck gerade gleich ist. Der Ort für diese Druckgleichheit wird, da die Druckverminderung allseitig und gleichmäßig erfolgt, durch einen der konzentrischen Kreise bezeichnet. Jenseits dieses Kreises sinkt der Druck immer mehr unter den Atmosphärendruck, bis er am Rande, wo der Dampf sich mit der Luft mischt, ziemlich plötzlich wieder auf den Atmosphärendruck ansteigt.

Wenn nun der Teil der beweglichen Scheibe, welcher von dem „Unterdruck“ getroffen wird, wesentlich größer ist als der von dem „Überdruck“ getroffene, so muß sich, wie man sieht, die Scheibe, vom äußeren Luftdruck getrieben, zu der feststehenden Scheibe hin bewegen.

So kommt das paradoxe Resultat zustande, daß, wenn sich die Scheiben anfangs in deutlicher Entfernung voneinander befinden, ein starker Druck nötig ist, um sie einander zu nähern, daß man aber, wenn sie von Anfang an aufeinander liegen, kräftig ziehen muß, um sie voneinander loszureißen.

Für diejenigen Leser, denen kein derartiger Dampfstrahl, wie er soeben beschrieben wurde, zur Verfügung steht, sei bemerkt, daß die Erscheinung sich auch mittels eines Luftstromes zeigen läßt. Man verfertige aus dicker Pappe oder dünnem Holze zwei kreisförmige Scheiben von etwa 15 cm Durchmesser. Die eine Scheibe erhält in der Mitte ein kreisförmiges Loch von 4 bis 5 mm Durchmesser. Um durch das Loch einen Luftstrom bequem hindurchblasen zu können, befestigt man eine etwa 5 mm weite Röhre (Glasröhre) senkrecht auf der Mitte der durchbohrten Scheibe. Das gelingt sehr leicht, wenn man einen Kork oder Gummipfropfen mit einer solchen Bohrung versteht, daß die Glasröhre gerade hineinpaßt und wenn man diesen Pfropfen auf der Scheibe mittels Leim, Siegellack oder dergleichen befestigt. Die Scheibe wird nun so an einem passenden Gestell angebracht, daß ihre Fläche senkrecht steht, während die Glasröhre wagerecht liegt. Das

geschieht am besten, indem man den Pfropfen in eine geeignete Klammer einklemmt oder mit Draht an einem senkrechten Stabe festbindet. Die nicht durchbohrte Scheibe hängt man an 2 Fäden auf, die in 3—4 cm Entfernung voneinander am Rande (vielleicht mittels Siegellack) befestigt sind. Die hängende und die fest aufgestellte Scheibe müssen annähernd parallel sein. Zuerst hängt man nun die lose Scheibe  $1\frac{1}{2}$  bis 2 cm von der festen Scheibe entfernt auf. Bläst man kräftig durch die Glasröhre, so wird die lose Scheibe abgestoßen. Nähert man aber die beiden Scheiben einander bis auf 1 cm oder noch weniger, so wird die lose Scheibe deutlich zu der festen hingerissen.

## V. Mißverständliche Anwendungen des Hebelgesetzes.

### 1. Die vermeintlichen Vorteile einer winkelförmigen Fahrradkurbel.

Von allen Teilen des Zweirades hat keiner die Erfinder mehr beschäftigt als die Kurbel und ihre Bewegungen. Endlos viele Erfindungen sind gemacht, um durch Einfügung besonderer Vorrichtungen in die Kurbel dem Fuß eine andere als die einfach kreisförmige Bewegung zu geben. Dabei verfolgte man hauptsächlich zwei Absichten: erstens für den Fuß einen größeren Angriffshebelarm zu schaffen, zweitens die Länge des vom Fuß zurückzulegenden Weges zu verringern. Um letzteres zu erreichen, hat man oft versucht, den aufsteigenden Weg des Pedals der Kurbelachse näher zu bringen als den absteigenden.

Ein Erfinder, dessen Modell der Verfasser dieses Buches auf einer Ausstellung sah, meinte das Problem, dem Fuß einen größeren Hebelarm zu bieten, ohne den vom Fuße zurückzulegenden Weg unnötig zu vergrößern, durch eine Konstruktion gelöst zu haben, die weit einfacher war als alle bisher vorgeschlagenen komplizierten Mechanismen.

Seine Kurbel ist in Fig. 26 dargestellt,  $C$  ist der Ort für die Befestigung des Pedals, die Lage des Triebrades und der Kette ist durch punktierte Linien angedeutet, die Entfernung  $AC$  ist gleich der Länge einer gewöhnlichen geraden Kurbel. Die Überlegung des Erfinders war die folgende. Erstens: Wenn die Länge des Kurbelabschnittes  $AB$  größer als die Länge einer gewöhnlichen Kurbel ( $AC$ ) gemacht wird, so wird durch ein in  $B$  angebrachtes Pedal die drehende

Kraft des Fußes besser ausgenutzt. Dabei müßte aber der Fuß einen ungewöhnlich großen Weg zurücklegen, nämlich einen Kreis vom Radius  $AB$ . Deshalb wird der Abschnitt  $BC$  unter einem spitzen Winkel an  $AB$  angebracht, so daß ein in  $C$  befestigtes Pedal sich in der üblichen Entfernung von der Kurbelachse befindet. Zweitens: Der Winkel  $ABC$  ist so, daß, sobald  $AB$  den wirkungsvollsten Teil seiner Bewegung beginnt,  $BC$  vertikal steht und folglich der abwärtsgerichtete Druck des Fußes (in  $C$ ) unmittelbar und vollständig auf den Punkt  $B$  übertragen wird, wo er den Arm  $AB$  gerade so kräftig dreht, wie wenn sich das Pedal bei  $B$  befände.

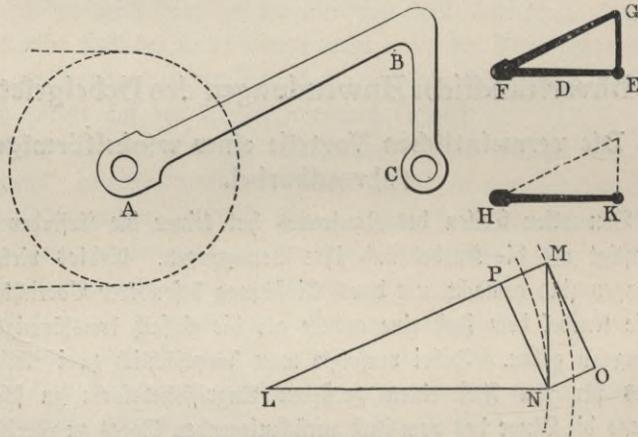


Fig. 26. Die winkelförmige Kurbel.

Für solche, die ein wenig mechanischen Instinkt oder ein wenig praktische Kenntnis mechanischer Einrichtungen besitzen, liegt das Trügerische dieser Behauptungen zu klar zutage, um noch irgendeiner Erklärung zu bedürfen. Den meisten andern wird die folgende Überlegung zeigen, daß die Betrachtungen des Erfinders dem gesunden Menschenverstande widersprechen.

Die Wirkung eines Hebelarms ist bestimmt durch seine Länge, das ist in unserem Falle die Entfernung zwischen der Kurbelachse und dem Pedal. Es macht keinen Unterschied für die Kraftwirkung, welche Form dieser Hebelarm hat, wenigstens so lange, wie er stark genug ist, um seine Starrheit zu bewahren. Er mag ganz gerade sein wie eine gewöhnliche Fahrradkurbel; er mag S-förmig sein, wie oft die Schleifsteinkurbeln an den Karren umherziehender Scheren Schleifer; oder

er mag die Form einer Scheibe haben, wie man das oft an Krähen sieht, die Ladungen an Bord von Schiffen befördern. Die Gestalt ist ohne jede Bedeutung für den Kraftarm des Hebels, der stets gleich der Entfernung des Angriffspunktes der Kraft (Pedal) von der Drehungsachse ist.

Betrachten wir nun die Winkelfurbel unseres Erfinders. Da sie von starrem Metall ist, so wird  $C$  stets in derselben Entfernung von  $A$  bleiben. Wir können deshalb eine starre Metallverbindung  $AC$  anbringen, wie das bei  $D$  angedeutet ist, ohne irgend etwas an der Wirkung zu ändern. Daraus folgt aber weiter, daß wir nun auch die Teile  $AB$  und  $BC$  ( $DF$  und  $GE$ ) entfernen dürfen, so daß nur noch  $EF$  ( $HK$ ) übrig bleibt. Mit anderen Worten, eine gerade Kurbel  $AC$  oder  $HK$  wird genau dieselbe Wirkung haben wie die winkelförmige Kurbel  $ABC$ , vorausgesetzt, daß die Entfernung  $HK$  gleich  $AC$  ist.

Durch den Nachweis, daß  $ABC$  durch  $AC$  ersetzt werden kann, wird nun eigentlich die zweite Behauptung, daß man bei Anwendung der Winkelfurbel die Kraft des Fußes besser ausnützt, mit widerlegt. Dennoch sei auch dieser Punkt noch etwas genauer geprüft. Der Winkel  $LMN$  sei gleich dem Winkel  $ABC$ . Die Kraft greift in  $N$  vertikal an und wird auf  $M$  übertragen durch  $MN$ . Nun sei die Größe dieser Kraft durch die Strecke  $MN$  dargestellt,  $LN$  sei horizontal und der Winkel  $LMN$  deshalb ein rechter Winkel. Der Fehler in der Überlegung unseres Erfinders besteht nun darin, daß er meint, die Richtung  $MN$ , in welcher die Kraft angewandt wird, stimme mit der Bewegungsrichtung überein. Diese wird vielmehr durch die Richtung der Tangente  $MO$  bezeichnet. Deshalb wird auch keineswegs die ganze durch  $MN$  dargestellte Kraft zur Erzeugung der Drehung ausgenutzt.

Um zu finden, wieviel davon ausgenutzt wird, konstruiert man das „Parallelogramm der Kräfte“, indem man durch  $N$  zu  $MO$  und  $PM$  die Parallelen zieht. Dann sieht man, daß die Kraft  $MN$  sich bei  $M$  in zwei Kräfte spaltet, von denen die eine, deren Richtung und Stärke durch  $PM$  bezeichnet wird, unter Ausübung eines Druckes auf die starre Kurbel verloren geht, während die Strecke  $MO$  Richtung und Größe derjenigen Kraft darstellt, welche bei  $M$  zur Drehung der Kurbel Verwendung findet. Da nun  $MO$  kleiner ist als  $MN$ , weil eine Kathete eines rechtwinkligen Dreiecks stets kleiner ist als die Hypotenuse, so sehen wir, daß der Erfinder mit Unrecht annimmt, die Kraft  $MN$  werde voll ausgenutzt.

Denken wir uns die Kraft nicht von  $N$  mittels des Kurbelabschnittes  $MN$  auf  $M$  übertragen, sondern ersetzen wir, wie wir das vorhin schon taten, die Winkelkurbel durch eine gerade Kurbel  $LN$ , an deren Endpunkt  $N$  die Kraft  $MN$  angreift, dann hat diese Kraft nun allerdings die Richtung der Tangente und wird (bei horizontaler Stellung von  $LN$ ) voll ausgenutzt. Sie greift aber nun an einem kürzeren Hebelarm  $LN$  an, und dadurch ist der scheinbare Gewinn wieder aufgehoben. Ob der Druck des Fußes unmittelbar in  $N$  auf die gerade Kurbel  $LN$  oder mittelbar in  $M$  auf  $LM$  angewandt wird, in beiden Fällen übt er genau die gleiche Wirkung aus, ob nun die volle Kraft  $MN$  am kürzeren Hebelarm oder die kleinere am längeren Arm angreift.

Dennoch war der Erfinder, der diese Kurbel ausstellte, in der Lage, Empfehlungen von Leuten abzudrucken, welche die Winkelkurbel benutzt hatten und welche bezeugten, daß sie durch diese Vorrichtung beim Fahren bedeutend an Kraft gewonnen hätten, derart, daß sie in einigen Fällen Steigungen zu überwinden vermochten, welche sie vorher vergeblich zu besiegen suchten. Wie erklärt sich dieser Widerspruch? Teilweise dadurch, daß die Umstände zur Zeit des Versuchs ausnahmsweise günstig waren. Die Maschine war vielleicht neu, nach anderen Richtungen hin vollkommener gebaut. Die Wege können glatter, härter und sauberer als gewöhnlich gewesen sein. Der Wind war vielleicht günstiger, und diese Tatsache wurde nicht genügend beachtet. Oder endlich: der Fahrer war gerade zu dieser Zeit kräftiger als früher.

Bedeutungsvoller aber als alle diese Ursachen ist wahrscheinlich der geistige Zustand des Fahrers und sein Einfluß auf die körperlichen Kräfte. Er hat Interesse an der neuen Erfindung gewonnen. Er hofft, sie möge einen Fortschritt bedeuten. Vielleicht hat er sich schon aus theoretischen Gründen zu ihren Gunsten ausgesprochen, er vertraut darauf, daß sie sich als sehr vorteilhaft erweisen wird, und ist eifrig bemüht, seine Meinung durch einen praktischen Versuch zu rechtfertigen. Hierdurch angefeuert ist er tatsächlich zu entschlosseneren und anhaltenderen Anstrengungen fähig als je zuvor und fährt einen Hügel hinauf, der bis dahin unüberwindlich war.

Der Einfluß des Geistes auf den Körper ist wohlbekannt, und was wir eben kennen gelernt haben, ist nur ein neues Beispiel dafür. Der Fahrer begreift nicht, daß die Ursache seiner erhöhten Kraft

psychologischer und nicht mechanischer Natur ist, und der Erfinder heimt den Gewinn bei dieser Verwechslung ein. Laßt uns ihn nicht darum beneiden! Der Gewinn eines Erfinders ist durchschnittlich gering genug.

## 2. Die immerfort sich drehende Mühle.

Das letzte Kapitel hat ein Beispiel vorgeführt für die Bestrebungen der Erfinder, die menschliche Kraft zu vergrößern, ohne eine äußere Kraftquelle zur Hülfe zu nehmen. Ein anderer beliebter Versuch besteht darin, Kraft hervorzubringen, wo vorher keine war. Die beiden Probleme besagen im Grunde dasselbe, denn 2 Pfund Blei aus einem zu machen, ist gerade so schwer wie 1 Pfund aus nichts.

Aufgaben von dieser Art haben sich nun in der Tat manche Erfinder gestellt, und einer derselben glaubt eine solche Aufgabe durch Konstruktion eines Rades gelöst zu haben, das ohne sichtbare äußere Einwirkung sich fortgesetzt drehen muß, weil die Schwerkraft auf der einen Seite an einem längeren Hebelarme angreift als an der anderen.

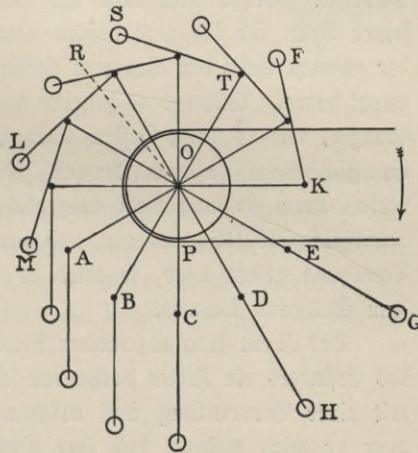


Fig. 27. Ein „Perpetuum mobile“.

Fig. 27 stellt eine solche Anordnung dar, deren Prinzip sich in mehreren anderen Erfindungen wiederholt, für welche (in England) Patente genommen worden sind. Ein Rad hat eine Anzahl von zweigliedrigen Speichen. Das äußere drehbare Glied ( $EG$ ) kann sich aber aus der Richtung des inneren ( $RE$ ) nur nach einer Richtung herausdrehen, wie das bei  $RK$  und  $FK$  zu sehen ist. Am Ende jeder Speiche befindet sich ein Gewicht. Auf der Seite, wo die Speichen aufsteigen (in Fig. 27: links), hängen nun die äußeren Glieder herunter; wenn aber die Arme sich auf der anderen Seite abwärtsbewegen und ein wenig über die Lage  $KF$  hinausgekommen sind, so kippen die Endglieder über ( $RG$ ,  $RH$ ). Auf der rechten Seite greifen somit

die Gewichte an längeren Hebelarmen an (z. B. *RG*) als auf der linken (z. B. *RA*). Die Gewichte haben rechts größere drehende Kraft als auf der linken und bewirken, daß das Rad sich in der Richtung der Pfeile dreht. Ein Teil des Kraftüberschusses wird zwar bei der Überwindung der Reibung verbraucht, der Rest aber kann mittels einer Scheibe *O* und eines Treibriemens abgenommen und für nutzbringende Arbeit verwendet werden.

Das klingt ja alles recht plausibel. Dennoch muß hier ein grober Fehler in der Anwendung des Hebelgesetzes vorliegen. Das läßt sich schon durch eine ganz allgemeine Betrachtung zeigen. Der angebliche Kraftüberschuß der Maschine soll herrühren von der Energie der fallenden Gewichte. Bevor nun aber ein Gewicht von dem höchsten Punkte seiner Bahn sich bis zum tiefsten Punkte bewegen kann, muß es auf der anderen Seite den Weg vom tiefsten Punkt bis zum höchsten zurückgelegt haben. Während es gehoben wird, verbraucht es aber ebensoviel Energie, wie es beim Fallen erzeugt. Es kann also unmöglich ein Energieüberschuß zustande kommen. Nicht einmal der geringste Energieverlust durch Reibung kann ausgeglichen werden. Das Rad kann sich unmöglich selbsttätig bewegen, und wenn es durch eine äußere Kraft in Bewegung gesetzt wird, so wird es bald durch die Reibung wieder zum Stillstand kommen.

Das ist ein ganz allgemeiner Beweis dafür, daß in der Überlegung des Erfinders ein Fehler vorhanden sein muß. Dieser aber wird nicht mit einer Beurteilung aus allgemeinen Gründen zufrieden sein, denn er wird meinen, daß ihre Anwendung durch die Kritik ebenso leicht irrtümlich sein kann wie seine eigenen Einzelbetrachtungen. So werden wir also noch zeigen müssen, in welchen besonderen Punkten der Erfinder die mechanischen Gesetze mißverstanden und falsch angewandt hat.

Erstens liegt eine unrichtige Auffassung der Hebelarmlängen vor. Die Kraft der Gewichte, die vertikal wirkt, greift nur dann unter rechtem Winkel am Hebelarm an, wenn dieser horizontal liegt. Nur dann hat sie die Richtung der Tangente zu der vom Hebelarmende zurückzulegenden Kreisbahn, nur in diesem Falle wird sie also voll ausgenutzt. Wenn die Arme schräg stehen, wie bei *RG*, so können die Gewichte nicht ihre volle Kraft auf die Drehung verwenden. Die Wirkung ist also, mit anderen Worten, dieselbe, wie wenn das betreffende

Gewicht mit voller Kraft, aber an einem kürzeren Hebelarm wirkte. Es läßt sich hier dieselbe Betrachtung mit Hilfe des Parallelogrammes der Kräfte ausführen wie im vorhergehenden Kapitel. Die Länge dieses verkürzten Hebelarmes ist gleich der Länge der Senkrechten, welche man von dem Drehungspunkt des Hebels auf die Krafttrichtung fallen kann.

Zweitens hat der Erfinder übersehen, daß sich infolge der winkligen Form der Arme eine größere Zahl von Gewichten auf der aufsteigenden Seite des Rades (links) befindet als auf der absteigenden (rechts), so daß auch dadurch der Vorteil der verschiedenen Hebelarmlängen wieder aufgehoben wird. Das Gewicht  $S$  z. B., obwohl sein Arm  $RT$  auf der rechten Seite liegt, befindet sich selbst links von der Vertikalen durch  $R$ , und so trägt es dazu bei, die linke Seite am Aufsteigen zu hindern. Links sind in der That 7 Gewichte und rechts nur 4 in Tätigkeit.

So wird der Erfinder nun doch wohl seine Zweifel an der richtigen Anwendung unseres allgemeinen Prinzips aufgeben und uns zugeben müssen, daß Gewichte, während sie auf einer Seite sich abwärts bewegen, nicht mehr Arbeit leisten können, als sie verbraucht haben, indem sie vorher auf der anderen Seite bis zu derselben Höhe gehoben wurden. Mehr von der Maschine zu erwarten, ist gerade so unsinnig, wie zu erwarten, daß eine Flasche mehr Wasser hergibt, als man in sie hineingefüllt hat.

---



Zweiter Teil.

**Paradoxe Erscheinungen  
aus der Lehre von den inneren  
physikalischen Zuständen.**



## I. Gefrieren und Schmelzen.

### 1. Eis zu schmelzen, während es kälter wird.

Schlittschuhläufer wissen, wie schnell Eis schmilzt, wenn der Wind umschlägt und warme Luft über die Eisdecke hinbläst. Reisende in arktischen Gegenden müssen oft ihr Trinkwasser dadurch gewinnen, daß sie Eis in einem Gefäß auf Feuer stellen. Diese Beispiele zeigen, wie Eis durch Wärmezufuhr schmilzt. Es läßt sich aber auch ohne Anwendung von Wärme schmelzen, ja sogar, während seine Temperatur sinkt. Aber wie kann man Eis ohne Wärme schmelzen? Nun, eigentlich wird es auch nicht ohne Wärme geschmolzen, sondern nur ohne Wärmezufuhr von außen. Wärme ist immer nötig zum Schmelzen; aber das Eis selbst soll die Wärme für sein eigenes Schmelzen liefern. Daß es Wärme liefern kann, mag zuerst auch recht paradox erscheinen. Aber obgleich Eis kalt ist, so ist es doch deswegen nicht ohne Wärme. Wenn ich behaupte, daß es kalt ist, so sage ich nur, daß es weniger Wärme besitzt als mein Körper, nicht etwa, daß es überhaupt keine Wärme hat. Alle Dinge, die wir kennen, haben Wärme, wenn auch diejenigen, welche wir kalt oder kühl nennen, weniger Wärme haben als die, welche wir warm oder heiß nennen. Um also Eis kälter zu machen, müssen wir es so einrichten, daß es einen Teil seiner Wärme abgibt. Nun ist Wärme eine Energieform, die sich in viele andere Formen umwandeln läßt. Sie geht in Licht, Elektrizität und Magnetismus über, kann chemische Verbindungen und Zersetzen, Verflüssigung, Verdampfung und mechanische Bewegung hervorrufen. Das letztere sehen wir in unseren Dampfmaschinen, die nichts weiter sind als Vorrichtungen zur Umwandlung von Wärmeenergie in Bewegungsenergie. Einem Dinge Wärme entziehen heißt also: ihm Energie entziehen, d. h. es zu veranlassen, eine Arbeit zu leisten. So sehen wir also das eine wenigstens ein: Wenn Eis ohne Zufuhr äußerer Wärme oder anderer Energie schmilzt, wenn es also sich selbst die dazu nötige

Energie entnimmt, so wird es energieärmer, und dieser Energieverlust kann sich äußern in einem Wärmeverlust, also einer Erniedrigung des mit dem Thermometer gemessenen Wärmegrades oder der Temperatur.

Es fragt sich also nur: Wie bringt man Eis ohne Wärmezufuhr zum Schmelzen? Dazu benutzt man die Tatsache, daß eine gesättigte Salzlösung nicht wie reines Wasser bei  $0^{\circ}\text{C}$ ., sondern erst bei etwa  $-18^{\circ}\text{C}$ . gefriert. Man kann also den Schmelzpunkt des Wassers durch Zusatz von Salz erniedrigen oder, anders ausgedrückt, eine Mischung von Wasser und Salz kann sich oberhalb einer Temperatur von  $-18^{\circ}\text{C}$ . nicht im festen Zustande befinden. Mischen wir also das Wasser im festen Zustande, d. h. Eis von  $0^{\circ}$ , mit Salz, so muß ein Teil dieses Gemisches flüssig werden. Da hierzu aber Energie erforderlich ist, so wird ein Teil der Wärme des Gemisches verbraucht, das noch nicht geschmolzene Eis behält weniger Wärme übrig, es ist kälter geworden.

Wie stark sich ein Gemisch von Eis und Salz abkühlt, ersieht man aus der Bildung einer dicken Schicht von Reif an der Außenseite des Gefäßes, in welchem man die Mischung hergestellt hat. Wie erklärt sich das? Nun, wenn ein Gefäß Eis von  $0^{\circ}\text{C}$ . oder Eiswasser enthält, so sieht man häufig, wie sich an seiner Außenseite Tau bildet. Das ist die Feuchtigkeit der umgebenden Luft. Die Luft wurde von dem kalten Gefäß abgekühlt und setzte dann einen Teil ihrer Feuchtigkeit an dem Behälter ab. Da unser Gemisch von Eis und Salz vielleicht schon eine Temperatur von  $-18^{\circ}\text{C}$ . erreicht hat, so ist es erklärlich, daß sich nun der Wasserdampf der Luft gar nicht erst in flüssigem Zustande, sondern unmittelbar in Gestalt von feinen Eisknadeln, d. h. als Reif, niederschlägt.

Als Fahrenheit zum ersten Male dieses Experiment machte (mit Salmiak statt des Kochsalzes) und entdeckte, welche bedeutende Kälte dadurch entstand, glaubte er zu der tiefsten erreichbaren Temperatur gekommen zu sein. Deshalb ist auch an der Temperaturskala seines Thermometers diese Temperatur als Nullpunkt bezeichnet, während Celsius bekanntlich den Gefrierpunkt (Schmelzpunkt) des Wassers mit der Zahl 0 bezeichnete. Fahrenheit teilte den Zwischenraum zwischen dem Siedepunkt und Gefrierpunkt in 180 gleiche Teile (Grade), Celsius nur in 100. So kommt es, daß der Siedepunkt des Celsius-Thermometers

die Zahl 100, der des Fahrenheitthermometers die Zahl 212 trägt, der Gefrierpunkt des Fahrenheitthermometers aber mit 32 bezeichnet ist.

Heute wissen wir, daß sich Fahrenheit in der Annahme, die tiefste erreichbare Temperatur erzeugt zu haben, täuschte. Denn in der flüssigen Luft haben wir etwa  $-200^{\circ}\text{C.}$  ( $= -344^{\circ}\text{F.}$ ), während flüssiger und fester Wasserstoff noch kälter ist.

Zimmerhin sind  $-18^{\circ}\text{C.}$  ( $= 0^{\circ}\text{F.}$ ) eine recht bedeutende Kälte. Das Bestreuen mit Salz ist deshalb ein sehr unbefriedigendes Mittel, Eis und Schnee von den Straßen zu entfernen. Es bringt ja allerdings das Eis — selbst bei Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C.}$  — zum Schmelzen. Aber dabei verbraucht das Eis so viel von seiner eigenen Wärme, daß es für die Füße der Menschen und Pferde außerordentlich kalt wird.

## 2. Eis zu schmelzen, ohne Wärme zuzuführen oder Kälte zu erzeugen.

Es gibt aber noch eine dritte Möglichkeit, Eis zu schmelzen, nämlich durch Druck. Wenn wir stark genug wären, könnten wir ein Stück Eis mit der Hand zu Wasser zerdrücken. Da wir es nicht sind, müssen wir zu mechanischen Mitteln unsere Zuflucht nehmen.

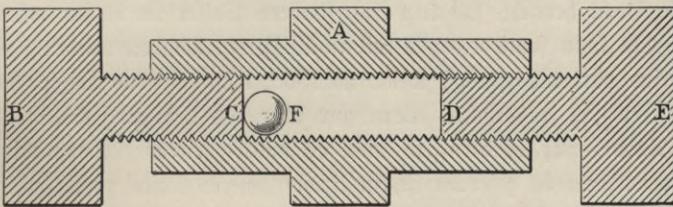


Fig. 28. Schmelzen von Eis durch Druck.

In Fig. 28 ist A ein sehr dickwandiges Metallrohr, das innen mit Schraubenwindungen versehen und durch zwei Schrauben B C und D E verschließbar ist. F ist eine Metallkugel, und der übrige Raum C D ist mit Wasser gefüllt. Der Apparat wird vertikal gestellt, B unten und E nach oben, und zwar in eine Kältemischung aus Eis (Schnee) und Kochsalz. Die Kugel liegt natürlich unten im Wasser bei C. Wenn das Wasser gefroren ist, so befindet sich die Kugel also festgefroren in diesem Teile des Eises, wie man beim Öffnen des Rohres leicht feststellen kann.

Nun setze man die Schraube wieder ein, kehre das Rohr mit dem anderen Ende (*B*) nach oben und drehe mit Hilfe von Hebeln die Schrauben weiter in die Röhre hinein, um so das Eis einem starken Drucke auszusetzen. Während man nun *B* immer nach oben hält, entfernt man die Schraube *E*. Man sieht dann, daß die Kugel sich jetzt bei *D* befindet, daß sie also anscheinend durch das Eis hindurchgewandert ist.

Nun stellt man das Ganze wieder einige Zeit in die Kältemischung, wiederholt alle Operationen, während *E* nach oben gekehrt ist, preßt bei *E* und entfernt dann *B*. Man findet, daß die Kugel nach *C* zurückgekehrt ist.

Diese Wanderungen der Kugel, die anscheinend durch das Eis hindurch erfolgen, erklären sich nun dadurch, daß durch den starken Druck das Eis jedesmal verflüssigt wurde, die Kugel durch das Wasser fiel und, wenn der Druck aufgehoben wurde, das Wasser sich wieder in Eis verwandelte.

Daß dieses der Fall ist, kann man beweisen, indem man aufmerksam horcht, während das Eis unter starkem Drucke steht und das Rohr umgekehrt wird. Man kann dann hören und fühlen, wie die Kugel jedesmal aufschlägt. Daraus geht hervor, daß, während der starke Druck herrscht, sich kein Eis, sondern Wasser im Rohre befindet.

Eis kann somit durch Druck in Wasser verwandelt werden. Das erscheint natürlich genug, wenn man bedenkt, daß das Wasser beim Gefrieren sich ausdehnt. Wenn wir nun das Wasser gewaltsam an der Ausdehnung hindern, so kann es nicht gefrieren. Wenn wir es aber, nachdem es gefroren ist, in einen kleineren Raum zurückzwingen, so muß es den festen Zustand verlassen, der mehr Raum verlangt, und in den flüssigen übergehen, der weniger Raum erfordert.

### 3. Eis zu zerschneiden, ohne die Teile zu trennen.

Dieses Kunststück beruht auf dem im letzten Kapitel erörterten Prinzip, und der Versuch — ein besonders hübscher — erfordert nur wenige und einfache Vorrichtungen. Zuerst bedarf man eines Stückes Eis von solcher Gestalt, daß es sich bequem in einem Halter befestigen läßt. Am geeignetsten ist die Form eines Stabes (Fig. 29 *AB*). Einen solchen Eisstab kann man leicht selbst herstellen. Zu diesem Zwecke nimmt man ein weites Röhrenglas oder irgendeine andere weite Röhre

von vielleicht 15 cm Länge, die an einem Ende durch einen Korkpfropfen verschlossen wird. Dieses Gefäß füllt man nahezu mit Wasser, verschließt es auch am anderen Ende durch einen Pfropfen, mischt 4 kg Schnee (oder erbsen- bis bohnen große Eisstückchen) und 2 kg Kochsalz gut miteinander und legt die Röhre hinein. In weniger als einer halben Stunde wird das Wasser gefroren sein. Nun nimmt man die Röhre heraus, taucht sie einige Sekunden in gewöhnliches kaltes Wasser, um die Oberfläche des Eises, das an der Röhre und dem Pfropfen festgefroren ist, zu schmelzen und stößt dann die Eisstange heraus. Will man sie aus der Glasröhre leicht herausbringen, muß man

den Boden der Röhre zertrümmern, um es der Luft zu ermöglichen, in die Röhre einzudringen, während das Eis herausgleitet. Dann befestigt man den Eisstab horizontal mit einem Ende in einer starken Klemme. Ein rundes Loch von richtiger Größe in einem aufrechtstehenden Brett erfüllt denselben Zweck. Endlich legt man über den Eisblock einen dünnen Draht (Blumendraht) und hängt an ihm ein Gewicht von etwa 5 kg so auf, daß es vom Tische noch etwa 5 cm entfernt ist. Ist der Stab  $2\frac{1}{2}$  cm, der Blumendraht  $\frac{1}{4}$  mm dick,

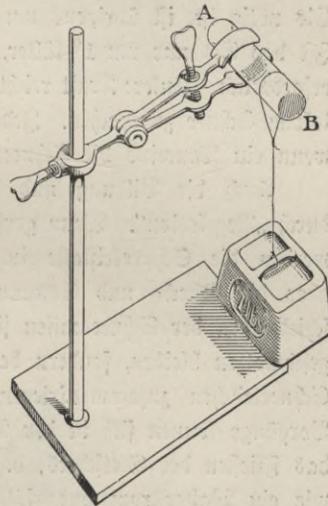


Fig. 29. Die Erscheinung der „Regelation“.

so ist die von dem Draht bedeckte Fläche etwa 10 qmm groß, also  $\frac{1}{10}$  qcm. Der Druck, berechnet auf 1 qcm, beträgt somit nicht weniger als 50 kg.

Wir haben nun gesehen, daß starker Druck genügt, um Eis zu schmelzen. So wird also auch der Druck des Drahtes das unmittelbar darunter befindliche Eis zum Schmelzen bringen. Die Folge davon ist, daß der Draht allmählich immer tiefer in das Eis einschneidet, bis das Gewicht endlich auf den Tisch fällt. Dabei zeigt sich nun aber, daß das Eis nicht etwa in 2 Teile zerschnitten ist, so daß das nicht in der Klammer befestigte herunterfällt, sondern das durch den Draht abgetrennte Stück bleibt mit dem andern im Zusammenhänge.

Wer den Inhalt des letzten Kapitels kennt, findet die Erklärung leicht selbst. Das flüssige Wasser, das durch den Druck des Drahtes

auf das Eis entstanden ist, muß in dem entstehenden Spalt sofort wieder gefrieren, da es ja nun dem Drucke nicht mehr ausgesetzt ist. Man bezeichnet diese Erscheinung als das „Wiedergefrieren“ oder die „Regelation“.

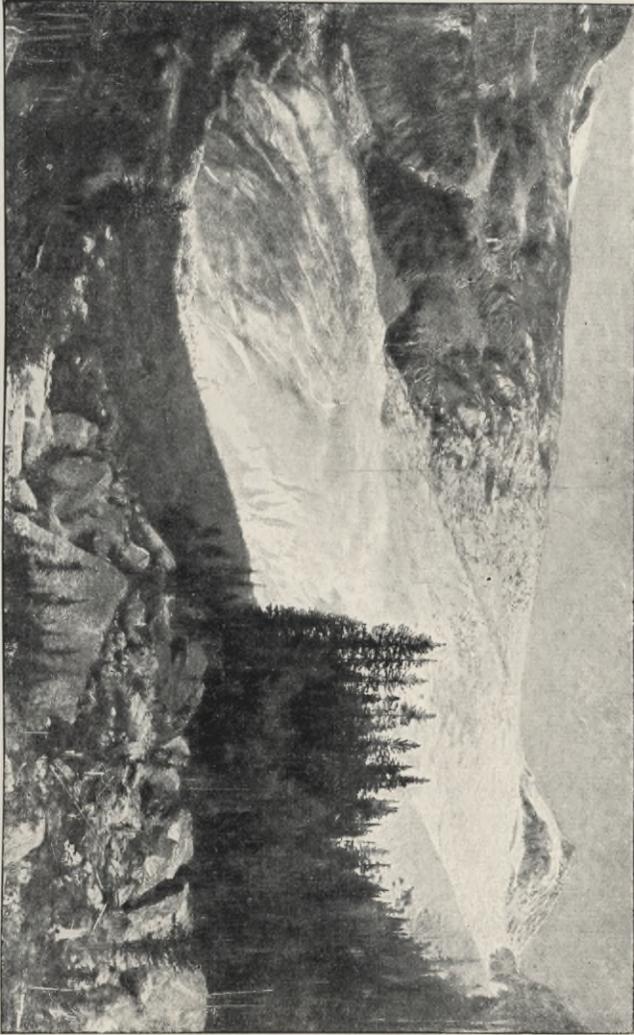
Daselbe findet statt, wenn eine Handvoll Schnee kräftig zusammengepreßt wird. Einige der Schneekristalle schmelzen teilweise durch den Druck. Wird aber der Druck aufgehoben, so findet „Regelation“ statt, und die ganze Masse ist bis zu einem gewissen Grade fest verbunden. Wir erhalten so einen Schneeball. Der Druck, der zum Schmelzen von Eis nötig ist, ist übrigens um so größer, je tiefer die Temperatur ist. Ist das Eis nur um  $1^{\circ}$  kälter, so ist eine ganz enorme Druckerhöhung erforderlich. Unsere Kraft reicht deshalb nicht aus, Schneebälle aus sehr kaltem Schnee zu machen. Jeder weiß auch, daß es am besten gelingt, wenn ein Tauwind die Schneetemperatur wieder auf  $0^{\circ}$  gebracht hat.

Auch die Bildung und das Fließen der Gletscher erklärt sich durch „Regelation“. Wenn große Schneemassen sich aufeinander häufen, werden die Schneekristalle in der Tiefe zum Teil schmelzen. Da aber die Druck- und Spannungsverhältnisse im Schnee durch Verschiebungen der Schneemassen sich ändern, so werden sie nicht dauernd geschmolzen bleiben, sondern bei Verringerung des Druckes werden die Schneeteilchen zusammenfrieren. Durch häufige Wiederholung dieser Vorgänge können sich in der Tiefe kompakte Eismassen bilden. Auch das Fließen des Gletschers, d. h. seine Fähigkeit, das vorhandene Tal wie ein Wasserstrom auszufüllen und dabei sich abwärts zu schieben, kurz: seine Plastizität, beruht auf Regelation. Verengt sich z. B. das Tal, so erfährt der vorher breite Eisstrom eine Stauung. Er steht hier und eine Strecke vorher unter starkem Druck, schmilzt zum Teil, gefriert wieder und paßt sich so fortwährend der Form des Tales an.

So fließt dann ein solcher Gletscher (Tafel IV), ähnlich wie ein Wasserstrom, talabwärts, nur beträchtlich langsamer.

#### 4. Eis, welches in einem Gefäß mit kochendem Wasser nicht schmilzt.

Wenn man ein Reagenzglas, welches Wasser enthält, in die Flamme einer Spirituslampe oder eines Bunsenbrenners hält, so wird das Wasser nach einiger Zeit zum Sieden kommen. Hält man aber das Reagenzglas derart, daß die Flamme, wie in Fig. 30, nur die Mitte



Der große Gletscher an der Kanadischen Pazifikbahn.



des Gefäßes trifft, so wird nur der obere Teil des Wassers erhitzt, der untere Teil des Rohres bleibt so kühl, daß er bequem mit der Hand angefaßt werden kann, während das Wasser oben weiter kocht. Das erklärt sich folgendermaßen. Dort, wo das Wasser von der Flamme erhitzt wird, dehnt es sich aus. Wenn nun aber der Raum, den eine bestimmte Gewichtsmenge Wasser einnimmt, größer wird, so befindet sich in dem ursprünglichen Raume eine kleinere Gewichtsmenge. Wir sagen dann: das Wasser ist leichter geworden. In der oberen Hälfte des Rohres wird nun dieses leichtere Wasser seitwärts und aufwärts gedrängt von dem oben befindlichen schwereren Wasser. Indem dieses sich unter das erhitzte drängt, zwingt es jenes zum Aufsteigen. Solange noch Wärme zugeführt wird, bleibt diese, in unserer Figur durch Pfeile dargestellte Strömung erhalten, bis das Wasser in der oberen Hälfte des Rohres schließlich zum Kochen kommt. Das schwerere, kalte Wasser in der unteren Hälfte des Rohres wird davon aber wenig beeinflusst. Die Erscheinung wird noch auffallender, wenn man ein Stück Eis auf den Boden des Gefäßes legt. Eis ist

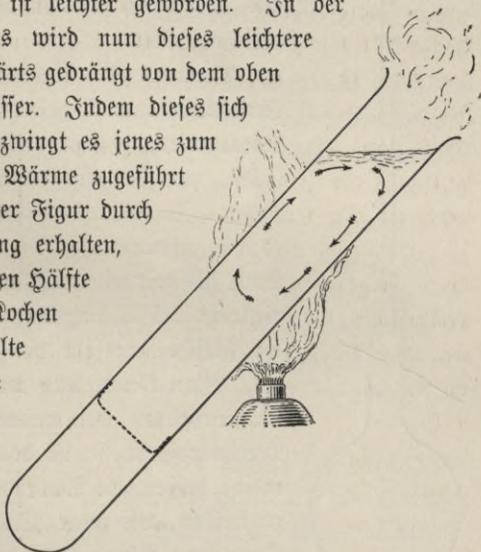


Fig. 30. Eis in einem Gefäße mit kochendem Wasser.

aber leichter als Wasser und strebt deshalb zu schwimmen, ebenso wie das wärmere Wasser ja auch auf dem kälteren „schwimmt“. Deshalb muß man, um das Eis am Steigen zu hindern, eine durchlöchernte Metallscheibe, etwas Draht oder ähnliches, wodurch dem Wasser der Zutritt nicht versperrt wird, über das Eis legen. Dann bleibt das Eis zum größten Teile ungeschmolzen, während das darüber befindliche Wasser heftig kocht.

### 5. Ausdehnung und Zusammenziehung, beides durch dieselbe Ursache hervorgebracht.

In dem letzten Abschnitt ist von der Tatsache gesprochen worden, daß sich Wasser, gleich anderen Dingen, unter dem Einfluß von Wärme ausdehnt. Es ist nur eine andere Ausdrucksweise, wenn man sagt,

daß es sich durch Abkühlung zusammenzieht. Wasser jedoch dehnt sich in einer recht seltsamen Weise aus, durch welche es sich von den meisten übrigen Substanzen (das Eisen ausgenommen) unterscheidet.

Wenn eine mit Wasser gefüllte Flasche mit einem durchbohrten Pfropfen, in den eine lange Glasröhre eingepaßt ist, verschlossen wird, so kann die ganze Einrichtung als Thermometer benutzt werden. Siehe (Fig. 31.) Wenn die Flasche erwärmt wird, dehnt sich das Wasser

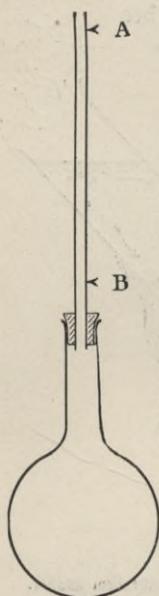


Fig. 31. Apparat zur Untersuchung der Ausdehnung und Zusammenziehung des Wassers.

aus, steigt zum Teil in der Röhre hinauf und fließt schließlich über.

Wenn nun die Flasche in ein Gefäß, welches kleine Eisstückchen enthält, gestellt und bis zum Hals mit Eis bedeckt wird, so wird die Temperatur schnell wieder fallen, und das Wasser wird sich wieder zusammenziehen. Je kälter das Wasser wird, desto mehr zieht es sich zusammen, so daß es, wenn es bei Punkt A stand, als wir mit der Abkühlung der Flasche begannen, vielleicht bei B angekommen ist, wenn das Wasser in der Flasche ungefähr eine Temperatur von  $+4^{\circ}$  C. hat. Man könnte nun meinen, daß es mit der Zusammenziehung bei weiterer Abkühlung so fortgeht. Merkwürdigerweise ist das aber nicht der Fall. Es würde heißen, die Anwendung eines Prinzips zu weit zu treiben, wie jener Mann es tat, dessen Frau am Sonnabend Abend eine neue Art Ofen mitbrachte, von der man ihr versichert hatte, daß sie die Hälfte Kohlen sparen würde. „Daß uns nächste Woche noch einen kaufen“, sagte er, „und wir werden alle sparen.“

Wie es mit den Alltagsangelegenheiten ist, so ist es auch in wissenschaftlichen Dingen: man kann ein Prinzip zu Tode reiten. Man hat schon oft gefunden, daß ein Gesetz oder Prinzip, welches für gewöhnliche Umstände paßt, in besonderen Fällen vieler Abänderungen bedarf, und daß es sogar aufhört zu gelten, wenn der Fall ein außer-gewöhnlicher ist. Das Gefrieren des Wassers ist solch ein außer-gewöhnlicher Fall. Das Gefrieren scheint in einer Bildung von Kristallen zu bestehen, wobei die Moleküle sich in größerer Entfernung voneinander als im flüssigen Zustande anordnen. Jedenfalls braucht das Eis 10% mehr Raum als das Wasser, aus dem es sich bildete.

Es hat ferner den Anschein, als ob bei ungefähr  $4^{\circ}\text{C.}$ , ehe das Wasser kalt genug ist, um tatsächlich zu gefrieren, ein einleitender Prozeß beginnt, der darin besteht, daß die Moleküle bestrebt sind, sich mit einer beständig zunehmenden Kraft in neuen Gruppen, die mehr Platz erfordern, anzuordnen. So dehnt sich das Wasser fortschreitend aus, während es sich von  $4^{\circ}\text{C.}$  bis  $0^{\circ}\text{C.}$  abkühlt, und erfährt bei der letzteren Temperatur eine noch größere Ausdehnung, indem es gefriert. Wir erhalten so das sehr merkwürdige, scheinbar widerspruchsvolle Resultat, daß, wenn das Wasser von  $4^{\circ}\text{C.}$  in der Röhre unserer Flasche bei *B* steht, es keinen Unterschied macht, ob wir das Wasser erwärmen oder abkühlen. In jedem Falle wird es sich ausdehnen und die Wassersäule in der Röhre steigen.

Wenn wir mit  $4^{\circ}\text{C.}$  und bei ganz gefüllter Röhre beginnend, die Flasche einmal bis zum Siedepunkt erwärmen und sie ein andermal abkühlen, bis das ganze Wasser in derselben gefroren ist, und dann in jedem Fall ungefähr die Größe der Ausdehnung messen, indem wir das Wasser, welches an der Spitze der Röhre durch einen Gummischlauch überfließt, auffangen, so werden wir finden, daß bei einer einfachen Abkühlung von  $4^{\circ}$  bis  $0^{\circ}\text{C.}$  und darauffolgendem Gefrieren die Ausdehnung zweimal so groß ist, als wenn wir es von  $4^{\circ}$  bis  $100^{\circ}\text{C.}$ , also um  $96^{\circ}$  erwärmen.

Dieser scheinbare Widerspruch, daß das Wasser sich durch Kälte zusammenzieht und ausdehnt, ist von größter Bedeutung für Menschen und Tiere in der gemäßigten und arktischen Zone. Wenn im Winter die Temperatur des Wassers in Seen und Teichen bis auf  $+4^{\circ}\text{C.}$  heruntergegangen ist, so beschränkt sich das Gefrieren auf eine verhältnismäßig dünne Schicht an der Oberfläche. Hierbei sind ähnliche Strömungen mitbeteiligt, wie diejenigen, welche im letzten Abschnitte beschrieben wurden, nur daß sie diesmal in ganz anderer Weise entstehen.

Dort kamen sie zustande durch Erwärmen des Wassers über der Fläche, welcher die Wärme der Flamme zugeführt wird. Hier kühlt sich das Wasser ab unter der Fläche, auf welche die Kälte wirkt, d. h. an der Oberfläche des Teiches.

Fig. 32 möge einen Durchschnitt durch einen Teich darstellen. Das Wasser an der Oberfläche *A*, welches kalten Winden ausgesetzt ist oder bei klarem Himmel stark Wärme ausstrahlt, wird abgekühlt. Durch Abkühlung zieht es sich zusammen, und es wird schwerer als das übrige, so daß es sinkt und das leichtere, warme Wasser an die Oberfläche drängt.

Das abgekühlte Wasser wird nun leicht erwärmt durch die Berührung mit dem Erdboden am Grunde (*BCD*), während das Wasser an der Oberfläche ebenso kalt oder kälter wird wie das, welches ursprünglich sich dort befand. Es wird folglich auch schwerer und sinkt seinerseits, indem es anderes wieder nach oben treibt. So entstehen Strömungen, welche das Wasser in gleichmäßiger Zirkulation erhalten, bis alles Wasser auf  $4^{\circ}$  C. abgekühlt ist.

Was ereignet sich dann? Das oben befindliche Wasser, welches unter  $4^{\circ}$  abgekühlt wird, hört, wie wir gesehen haben, auf, sich zusammenzuziehen, und beginnt, da es kälter wird, sich wieder auszudehnen. Die Ausdehnung aber macht es leichter. Also wird das unter  $4^{\circ}$  C. abgekühlte Wasser, anstatt irgendeine Neigung zum Sinken zu zeigen,

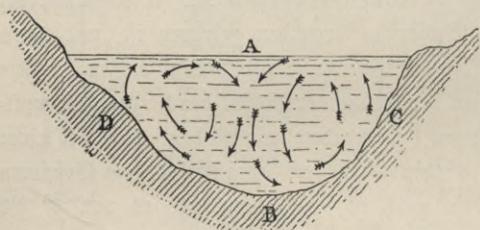


Fig. 32. Strömungen in einem Teich.

auf dem übrigen „schwimmen“. Es bleibt daher dauernd an der Oberfläche, und die vorhin beschriebenen Strömungen haben aufgehört. Die oberste Wasserschicht kühlt sich bald bis auf  $0^{\circ}$  C. ab und gefriert. Unten

aber befindet sich bei genügender Wassertiefe immer noch Wasser von  $+4^{\circ}$  C. Das durch die Ausdehnung beim Gefrieren leichter gewordene Eis bleibt dabei auf die Oberfläche des Wassers beschränkt.

Was würde sich aber ereignen, wenn das Wasser gleich anderen Dingen bei zunehmender Kälte fortfahren würde, sich bis ins Unendliche zusammenzuziehen? Erstens würden die Strömungen nicht gehemmt werden und das Wasser würde auch am Grunde die Gefriertemperatur erreichen. Wenn die Bildung des Eises von noch größerer Zusammenziehung begleitet wäre, so würde zweitens das Eis schwerer als das Wasser werden, und folglich würde es, sobald es sich gebildet hätte, auf den Grund sinken. Das sich später bildende Eis würde seinerseits sinken und sich über dem vorigen aufhäufen, bis das ganze Wasser im Teich ein großer Eisblock geworden wäre.

Es ist leicht zu begreifen, daß dies mit dem gänzlichen Untergang der Fische, denen es jetzt möglich ist, in dem Wasser unterhalb des Eises zu leben, endigen würde. Ferner würde es für Menschen

und Tiere wegen des Wassermangels unmöglich sein, Gegenden, welche einem strengen Winter ausgesetzt sind, zu bewohnen, denn das ganze Wasser würde gefroren sein. Zum Glück aber erhält die Ausdehnung das Wasser in der Tiefe in flüssigem Zustande. So kann man es denn erreichen, indem man in die Eisdecke Löcher bricht.

Die merkwürdige Unregelmäßigkeit in der Ausdehnung des Wassers ist, wie man sieht, eine Sache von größter Bedeutung für das Wohlergehen von Menschen und Tieren.

### 6. Sprengwirkung des gefrierenden Wassers.

Es ist bereits erwähnt worden, daß beim Gefrieren das Wasser sich um 10% seines ursprünglichen Raumes ausdehnt. Diese Ausdehnung findet so gewaltfam statt, daß selbst starke eiserne Gefäße hierdurch gesprengt werden können.

Das läßt sich durch den folgenden Versuch leicht zeigen. Ein starker, kleiner Stahlzylinder (Fig. 33) mit einem Hohlraum *A* und einem

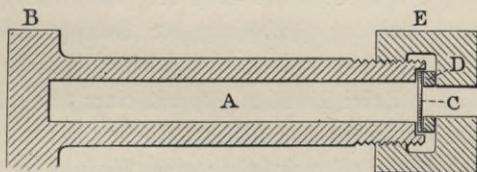


Fig. 33. Apparat zur Demonstration der Sprengkraft des gefrierenden Wassers.

sechseckigen Kopfstück *B* wird ganz mit Wasser angefüllt. Eine kleine Scheibe dünnen Kupferblechs, *C*, wird in eine Vertiefung eingelassen, welche am offenen Ende des Zylinders angebracht ist. Auf der Platte liegt ein starker Metallring, welcher den Druck der sechsseitigen Schraubenmutter *E*, die dem Zylinder aufgeschraubt wird, übermittelt. Die Schraubenmutter ist mit einem Loch versehen, welches ebensovoll ist wie das des Ringes, so daß die Mitte der Außenseite der Kupferplatte durch Ring und Schraubenmutter hindurch sichtbar ist. Durch das Aufschrauben der Schraubenmutter wird die Platte fest gegen den Zylinder gepreßt und der Hohlraum *A* hermetisch verschlossen. Der ganze Apparat wird in eine Kältemischung, wie sie schon beschrieben wurde, gestellt, und zwar so, daß nur das offene Ende oben sichtbar ist.

Der Zylinder mit dem Wasser im Innern ist bald bis auf den Gefrierpunkt und tiefer abgekühlt. Das Wasser ist bestrebt, zu gefrieren, gebraucht aber hierzu mehr Raum. Da nicht mehr Raum vorhanden ist, kann kein Gefrieren stattfinden. Mit der zunehmenden Kälte fahren

nun aber die Moleküle in ihrem Bestreben, sich neu zu ordnen, fort, sie pressen mit fortwährend wachsender Kraft gegen die Wände ihres Gefängnisses, bis sie zuletzt ihre Fesseln an der schwächsten Stelle zerreißen. Das ist aber die dünne Kupferplatte. Wenn sie gesprengt wird, hört man einen lauten Knall, welcher die Kraft zeigt, mit der sie zerrissen wurde.

Da der Hohlraum nun gewaltsam geöffnet worden ist, haben die Moleküle Raum, sich in kristallinischer Form anzuordnen. Plötzlich wird das Wasser in Eis umgewandelt, welches nun den ganzen Hohlraum anfüllt, während die überflüssige Menge (da sein Volumen größer ist als das des ursprünglichen Wassers) durch das Loch in der Kupferplatte gedrängt wird und zwar in Form einer langen, dünnen Eissäule, welche durch die Schraubenmutter herausragt.

Die ausdehnende Kraft des gefrorenen Wassers spielt eine wichtige Rolle bei der Zerstörung der Gebirge. Regen- oder Schneewasser dringt in die Spalten und gefriert, wenn es starker Kälte ausgesetzt wird. Dabei dehnt es sich mit einer Kraft aus, daß die Felsen wie von Tausenden von Keilen zerpalten werden. In kleinerem Maßstabe sind die Wasserrohrbrüche eine Wirkung derselben Kraft. Wenn bei geschlossenen Hähnen eine Wassersäule fest von Röhren eingeschlossen ist, so kann dieselbe nicht gefrieren, wenn die Röhren stark genug sind, um das Wasser an der Ausdehnung zu verhindern. Wenn aber die ausdehnende Kraft stärker wird, so werden sich die Röhren entweder dehnen oder sie müssen springen. Wasser wird erst heraustropfen, wenn Tauwetter eintritt, und so kann erst dann der Bruch entdeckt werden, obgleich er sich schon während des Frostes ereignete.

## II. Dampf und Verdampfung.

### 1. Sprengwirkung des erhitzten Wassers.

Unser letztes Experiment bestand im Abkühlen von Wasser bis zum Gefrieren im Innern eines starken Gefäßes, welches alsdann zersprang. Es erscheint fast widersinnig, daß die entgegengesetzte Bedingung, nämlich das Erhitzen von Wasser, denselben Erfolg haben soll. Dennoch ist die Tatsache nur zu bekannt. Ein Beispiel dafür ist das Plagen von Dampfkesseln.

Wenn wir die sprengende Kraft erhitzten Wassers im Hause zeigen wollen, so muß natürlich Sorge getragen werden, daß kein Schaden angerichtet wird. Zu diesem Zwecke wird es am besten sein, wenn der eine Teil des Gefäßes schwächer ist als der andere, damit wir im voraus wissen, welcher Teil gesprengt wird. Ferner muß das Gefäß so gehalten werden, daß durch die Explosion niemand verletzt werden kann. Zu diesem Zwecke wird der starke, eiserne, durch eine dünne Kupferplatte verschlossene Zylinder, wie er für den letzten Versuch angefertigt wurde, gute Dienste tun. Wenn das Wasser genügend erhitzt ist, wird es den Kupferdeckel zersprengen, gerade so wie es auch das sich bildende Eis tat, und die plötzliche Dampfbildung wird harmlos sein, wenn die Öffnung geschickt gehalten wird.

Wenn jedoch der Hohlraum nur zu drei Vierteln mit Wasser gefüllt wird, so wird die Querwand nicht durch das sich ausdehnende Wasser, sondern durch die ausdehnende Kraft des Dampfes gesprengt. Beide Formen der Explosion können also durch denselben Apparat gezeigt werden. In letzterem Falle verwendet man, um einer guten Explosion sicher zu sein, für den Fall, daß die Erwärmung zu schwach oder die Wassermenge im Hohlraum zu gering sein sollte, statt der Kupferplatte eine Gummimembran. Dadurch wird das Vertrauen eines etwas nervösen Experimentators befestigt, der Knall aber kaum schwächer.

Zur Erklärung der explosiven Wirkung erhitzten Wassers oder Wasserdampfes könnte man sich ja mit der Erfahrung begnügen, daß Temperaturerhöhung Ausdehnung bewirkt. Ein Gefäß von bestimmter Stärke kann eine bestimmte Zeit lang, bis nämlich ein bestimmter Druck im Innern erreicht ist, die Ausdehnung verhindern. Sobald aber dieser Druck überschritten wird, muß das Gefäß gesprengt werden, und die durch die plötzliche Ausdehnung hervorgerufene Lusterschütterung nehmen wir nun als Knall wahr. Wie gesagt, diese Erklärung könnte uns genügen. Wir wollen aber die Gelegenheit benutzen, uns von den Vorgängen in der Flüssigkeit und dem Dampfe und der Ursache der explosiven Wirkung eine genauere Vorstellung zu verschaffen und zwar auf Grund einer Lehre, die heute ganz allgemein von den Physikern angenommen ist. Man denkt sich nämlich die Wärmeenergie, um ihre mechanischen Wirkungen zu verstehen, als eine den kleinsten Stoffteilen innewohnende Bewegungsenergie. Die kleinsten Teile, in die wir Stoffe zerlegen können, ohne ihre chemische Natur

zu verändern, werden Moleküle genannt. So denkt man sich also die Wärmewirkungen eines Körpers entstanden durch Bewegungen — und zwar schwingende Bewegungen — seiner Moleküle.

Die Moleküle denken wir uns wieder aus Atomen zusammengesetzt. Nun tritt aber bei der Entstehung und dem Zerfall von chemischen Verbindungen, also bei der Vereinigung und Trennung der Atome, allgemein gesprochen: bei der Umlagerung der Atome während chemischer Vorgänge, oft Wärme auf, die vorher nicht wahrnehmbar war. Um das zu erklären, müssen wir annehmen, daß nicht nur die ganzen Moleküle Schwingungen ausführen, die wir als Wärme empfinden, sondern daß innerhalb der Moleküle auch die Atome schwingende Bewegung haben, die uns für gewöhnlich nicht wahrnehmbar ist, die aber bei chemischen Vorgängen sich in Molekularbewegung, also Wärme, verwandeln kann. Umgekehrt ist auch der Fall denkbar, daß Molekularbewegung, die von uns als Wärme empfunden wird, sich in Atombewegung verwandelt, die wir nicht mehr wahrnehmen. In der That gibt es genug chemische Vorgänge, bei denen nicht eine Erzeugung von Wärme, sondern vielmehr ein Verbrauch, ein Verschwinden derselben beobachtet wird.

Doch kehren wir von dieser Abschweifung in das Gebiet der Atombewegungen zu den Molekularschwingungen oder Wärmeschwingungen zurück!

Wir müssen uns vorstellen, daß diese Schwingungen außerordentlich energisch sind, um so energischer, je heißer ein Körper ist. In einem weißglühenden Körper denkt man sich die Moleküle mehr als sechsbillionenmal in einer Sekunde schwingend. Wir können annehmen, daß in einem festen Körper die Moleküle so fest verbunden sind und relativ so wenig schwingende Kraft haben, daß ihre gegenseitige Anziehungskraft sie in bestimmter Lage erhält. Dies ist zwar nur im Allgemeinen zutreffend, denn man hat gefunden, daß selbst in festen Körpern die Moleküle etwas Kraft zum Wandern besitzen.

Wenn nun ein fester Körper stärker erwärmt wird, das heißt, wenn seine Moleküle durch den Stoß lebhafter schwingender Moleküle anderer Stoffe, wie zum Beispiel einer Gasflamme, veranlaßt werden, stärker zu schwingen, so versetzen sie sich auch gegenseitig stärkere Stöße und treiben sich so weiter voneinander fort. So erhalten wir die bekannte Erscheinung der Ausdehnung von Gegenständen unter dem Einfluß der Wärme.

Nehmen wir an, ein Stück Wachs werde erwärmt. Das bedeutet, daß seine Moleküle stärker schwingen, einander stärkere Stöße versetzen und sich weiter voneinander entfernen. Es kommt die Zeit, wo ihre Schwingungen so stark und ihre Entfernungen groß genug geworden sind, daß sie fähig sind, ihre gegenseitige Anziehungskraft zu überwinden. Dadurch geraten sie in relativ unabhängige Bewegung. Sie können sich mit geringer Reibung, ja fast reibungslos aneinander vorüberbewegen. Das starre Festhalten an bestimmten Lagen hat aufgehört. Der Stoff ist geschmolzen, er ist eine Flüssigkeit geworden.

Nun denke man sich Wasser in einem geschlossenen Kessel oder Zylinder erhitzt. Die steigende Temperatur bedeutet steigende, lebhaftere Molekularschwingungen, bis die Stöße, die die Moleküle einander erteilen, so stark sind, daß einige von denen, die sich an der Oberfläche der Flüssigkeit befinden, in den Raum oberhalb geschleudert werden, durch den sie mit großer Geschwindigkeit hin- und herspringen, wobei sie gegen die inneren Wände des Zylinders und häufig gegeneinander stoßen. Dann ist die Flüssigkeit in den Zustand des Dampfes, welcher dem des Gases sehr ähnlich ist, übergegangen. Wenn ein Dampfkessel vergrößert werden könnte, bis er den Umfang der Welt erreichte und alle Moleküle in seinem Innern in demselben Verhältnis vergrößert würden, so würden sie gleich Gummibällen frei nach allen Richtungen fliegen, sich häufig aneinander stoßen und an den Innenwänden des Weltkessels, der sie umschließt, abprallen.

Jetzt können wir verstehen, wie ein so leichtes und scheinbar wesenloses Ding, wie es der Dampf ist, einen so starken Druck ausüben kann. Es handelt sich um die Stoßwirkung der leichtbeschwingten Moleküle.

Wenn ein Knabe einen Stein gegen eine offene Tür wirft, so bringt er, abgesehen von dem Schaden, den die Farbe erleidet, keine Wirkung hervor. Aber wenn von tausend Jungen, jeder in der Sekunde einen Stein wirft, und jeder Stein die Tür an der Außenseite trifft, so wird dieser Steinregen einen beständigen Druck auf die Tür ausüben, und dieselbe wird sich schließen.

Es ist dasselbe mit den Molekülen des Wasserdampfes, auch sie üben einen starken Druck auf die Innenseite des Kessels aus. Sie sind an und für sich klein, aber gegen jedes Fleckchen der Kesselwand werden viele Millionen von Schlägen gerichtet. Deshalb ist der Ge-

samtdruck groß. Er wird, wie man weiß, um so größer, je höher die Temperatur, d. h. je schneller die Bewegungen der Moleküle sind. Ist der Kessel geschlossen, hat sich das Dampfrohr verstopft oder versagt das Sicherheitsventil den Dienst, so wird schließlich der Anprall der Moleküle die Wand des Kessels an den schwächsten Stellen zertrümmern. Die Explosion ist geschehen!

## 2. Explosion oder Zusammenbruch?

Ein Lehrer zeigt in einer zum Teil mit Wasser gefüllten Glasflasche, die über einer Flamme erhitzt wird, die Dampfbildung. Jetzt gießt er etwas kaltes Wasser über die verschlossene Flasche und sogleich ertönt ein lauter Puff, und eine Dampf Wolke dringt hervor. Die Flasche ist zersplittert, heißes Wasser und Glascherben fliegen, wer weiß wie weit, in alle Richtungen. Die meisten Zuschauer werden ohne Zögern sagen: Wieder eine schöne Explosion! Dennoch ist die in Frage kommende Erscheinung gar keine Explosion. Untersuchen wir die Sache genauer!

Eine kleine Menge Wasser wird in einer Glasflasche gekocht, so daß der Dampf eine Zeitlang kräftig ausströmt. Wir sahen im letzten Abschnitt, wie die schnelle Bewegung der Dampfmoleküle eine starke Energiequelle darstellt. Der Dampf ist fähig, alle Luft aus der Flasche herauszutreiben, indem er den Luftdruck im Betrage von 1 kg auf den Quadratcentimeter überwindet.

Wenn die Luft ganz herausgetrieben ist, schließt man die Flasche mit einem Gummi- oder einem guten Korkstopfen. Man mache aber nicht den Fehler, dies zu tun, während man die Flasche noch über die Flamme hält, sonst wird noch mehr Dampf hervorgebracht, und es kann sich bald eine wirkliche Explosion in einem sehr unpassenden Augenblick ereignen. Der geeignete Moment, den Flaschenhals zu schließen, ist, gleich nachdem man die Flasche aus der Flamme genommen hat, während die Wärme des Glases noch Dampfbildung verursacht. Ferner muß das Schließen schnell geschehen, ehe infolge der Verdichtung des Dampfes die Luft wieder eintritt. Das Glas wird dem mäßigen Druck des vielleicht noch entstehenden Dampfes sicher standhalten. Ist die Flasche geschlossen, so stelle man sie umgekehrt in ein passendes Gestell (Fig. 34) und warte einige Augenblicke.

Die umgebende Luft, welche im Vergleich mit dem kochenden Wasser kühl ist, verdichtet alsbald einen Teil des Dampfes im Innern zu Wasser und kühlt den Rest des Dampfes ab. Das heißt, wenn wir die Vorstellungen anwenden, die wir im vorhergehenden Kapitel kennen lernten, die Moleküle schießen mit geringerer Geschwindigkeit umher, schlagen weniger kräftig an die Innenseite des Glases und üben folglich einen geringeren Druck auf dasselbe aus. Der Druck außerhalb aber bleibt der nämliche wie vorher, fast 1 kg auf 1 qcm, also viele Hunderte von Kilogrammen auf der ganzen Oberfläche. Endlich kommt ein Augenblick, wo die Flasche dem wachsenden Überdruck nicht mehr standhält und in sich zusammenfällt.

Das laute Geräusch erklärt sich folgendermaßen. Die Luft außerhalb der Flasche drückt mächtig nach innen und stürzt beim Zusammenbruch der Flasche dem Zentrum zu, so daß von allen Seiten Luftmassen heftig aufeinander prallen. Die so entstehende Lusterschütterung aber pflanzt sich in der Umgebung fort und dringt auch in das Ohr jedes Beobachters ein.

Der Grund dafür, daß manchmal das Glas noch eine Strecke weit fliegt, liegt darin, daß einige der Stücke, die mächtig dem Mittelpunkt zugetrieben werden, zufällig mit keinem von entgegengesetzter Seite kommenden Stück zusammentreffen und so weiter über den Mittelpunkt hinaus nach der entgegengesetzten Seite fliegen.

Ist die Flasche aus dünnem Glas und der Boden breit und flach, so fällt sie bei einer unbedeutenden Druckverminderung in ihrem Innern in sich zusammen. Wenn sie jedoch einen wohlgerundeten Boden hat und aus dickem Glas besteht, so ist es nötig, für einen bedeutend größeren Druckunterschied zu sorgen, indem man den Dampf vollständiger verdichtet. Um dies zu erreichen, stellt man die Flasche in einen Halter und übergießt sie mit kaltem Wasser. Manche Flaschen sind natürlich stark genug, um einem vollständig leeren Raum zu widerstehen; in dem Fall ist es nötig, sie mit einem leichten Hammerschlag oder mittelst eines anderen starken Instruments zu zerbrechen.



Fig. 34. Zusammenbruch einer Flasche unter dem Druck der Atmosphäre.

Wir haben auch dann noch das laute Geräusch und umherfliegendes Glas und Wasser, während die Tatsache, daß der Dampf durch kaltes Wasser kondensiert worden ist, beweist, daß das Ergebnis keine eigentliche Explosion sein kann.

### 3. Wasser durch Abkühlung zum Sieden zu bringen.

Der einfache Apparat des letzten Experimentes soll uns dazu dienen, noch einen anderen, sehr paradox erscheinenden Versuch anzustellen. Diesmal soll jedoch die Flasche nicht zusammenbrechen. Sie

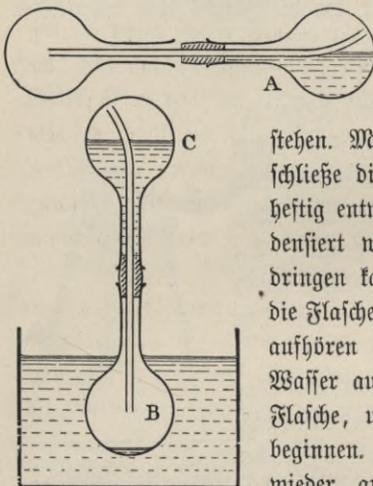


Fig. 35. Wasser, unter vermindertem Druck siedend.

muß also wohl gerundet und von starkem Glase sein. Auch soll das Wasser sie zur Hälfte füllen, anstatt nur einige Zentimeter hoch zu

stehen. Man bringe nun das Wasser zum Sieden, schließe die Flasche, während der Dampf noch heftig entweicht, so daß, wenn der Dampf kondensiert wird, keine Luft in die Flasche eindringen kann. Während der Zeit, in der man die Flasche in den Halter stellt, wird das Wasser aufhören zu sieden. Nun gießt man etwas Wasser auf den mit Dampf erfüllten Teil der Flasche, und sofort wird das Sieden wieder beginnen. Das Sieden wird aufhören, aber wieder anfangen, sobald wir wieder kaltes Wasser über die Flasche gießen. Man kann dies eine Zeitlang fortsetzen, bis das Wasser

zu kühl ist, um überhaupt zu sieden.

Diese paradoxe Erscheinung erklärt sich dadurch, daß die Temperatur, bei welcher Flüssigkeiten sieden, von dem Druck, unter dem sie stehen, abhängt. Zuerst, wenn die Flasche geschlossen wird, ist der Druck im Innern dem der Luft mindestens gleich, denn der Dampf ist fähig gewesen, die Luft hinauszutreiben und auch draußen zu halten. Wenn dem atmosphärischen Drucke entgegen Wassermoleküle in Gestalt von Dampfblasen durch die Wasseroberfläche hindurch in den Raum oberhalb des Wassers gelangen sollen, so müssen sie fortgesetzt Schwingungsenergie von der heißen Flamme erhalten; daher hört das Sieden auf, wenn die offene Flasche aus der Flamme genommen wird. Wenn

aber die Flasche geschlossen und der Dampf dadurch, daß man kaltes Wasser über die Flasche gießt, kondensiert wird, so wird der Druck im Innern sehr vermindert, und diesem verringerten Druck gegenüber ist die Schwingungsenergie der Moleküle im Wasser noch groß genug, um den Übertritt von Molekülen ohne Hilfe fremder Energie zu ermöglichen. Mit anderen Worten: Das Wasser kann nun ohne Flamme sieden. Wir erreichen hier durch Verminderung des auf der Flüssigkeit lastenden Druckes (Abkühlung des Dampfes) dasselbe, was wir gewöhnlich durch Erhöhung der Schwingungsenergie der Wassermoleküle (Erhitzen des Wassers durch eine Flamme) herbeiführen.

Bei dieser Anordnung ist es die Wärmeenergie des Wassers selbst statt jener der Flamme, welche das Sieden besorgt. Wenn aber die Wärmeenergie des Wassers bei dem Übergang aus dem flüssigen in den dampfförmigen Zustand aufgebraucht wird, so wird nach dem Sieden viel weniger Wärme in dem Wasser enthalten sein als vorher. Das ist in der Tat auch der Fall. Wenn das Sieden eine Zeitlang wiederholt wird, so ist das Wasser kühl genug, um ohne die geringste Unannehmlichkeit angefaßt zu werden.

Demgegenüber wird vielleicht mancher einwerfen, daß es kein Wunder sei, wenn das Wasser in der Flasche kalt ist, da man kaltes Wasser in reichlicher Menge über die Außenseite der Flasche gegossen hat! Hierauf wollen wir durch eine neue Versuchsanordnung, welche noch besondere Vorteile bietet, antworten.

Fig. 35 zeigt zwei gleiche Flaschen, welche mittels eines Pfropfens, durch den eine Röhre hindurchgeht, verbunden sind. Das längere Ende der Röhre soll über die Wasseroberfläche hinausragen, entweder wird es gebogen, wie die Figur zeigt, oder man nimmt eine gerade Glas- oder Metallröhre und einen kurzen Gummischlauch. Durch den Gummischlauch zieht man ein Stück gebogenen Drahtes, der ihm die richtige Form verleiht.

Wenn das Wasser gekocht wird, während die Flaschen sich in der Lage *A* befinden, so wird der Dampf die Luft aus beiden Flaschen her austreiben. Man kann darauf die Flaschen miteinander verbinden und sie in die Lage *BC* bringen.

Die Flasche *B* stellt nun einen besseren Kondensator dar als die obere Hälfte der Flasche in Fig. 34, da sie mehr Fläche darbietet und deshalb eine kräftigere Abkühlung ermöglicht. Die Folge davon ist, daß

das Wasser in C schneller zum Sieden kommt. Ferner zeigt die Anordnung die Ursache des Siedens noch deutlicher als die Anordnung der Fig. 34. Erstens findet hier keine direkte Abkühlung des Wassers in C durch übergegossenes Wasser statt. Wenn deshalb jetzt das Wasser in C sich beim Sieden rascher abkühlt, als wenn es nicht siedet, so sieht man, daß der Wärmeverbrauch beim Sieden daran Schuld ist. Zweitens unterliegt jetzt das durch Kondensation in B entstehende Wasser nicht dem Verdacht, durch Vermischung mit dem siedenden Wasser bei der merkwürdigen Abkühlung dieses Wassers mitgeholfen zu haben.

**4. Wie man mit wenig Wasser einen Gegenstand stärker kühlen kann als mit viel Wasser.**

Wenn man den Mann aus dem Volk fragen würde, welcher Gegenstand kälter wird, der, welcher ganz in kaltes Wasser getaucht wird, oder derjenige, welcher nur mit kaltem Wasser angefeuchtet wird, so würde er sich wahrscheinlich für den ersteren entscheiden. Er würde im Unrecht sein, wie er es schon oft vorher gewesen ist.

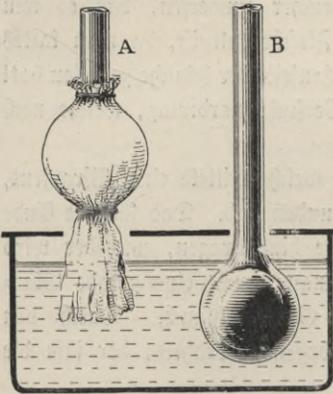


Fig. 36. Prinzip des Psychrometers.

Prüfen wir die Sache wieder durch ein Experiment! Fig. 36 zeigt uns den unteren Teil zweier Thermometer. Das eine hat seine Kugel im Wasser, die Kugel des anderen befindet sich dicht über dem Wasser, aber sie wird durch etwas Baumwollstoff, Wollstoff usw., welchen man oben und unten um die Kugel herumbindet und welcher in das Wasser eintaucht, feucht gehalten. Dann zeigt immer das Thermometer A eine tiefere Temperatur an.

Diese Tatsache beruht auf dem Gesetze, welches wir im vorigen Abschnitt kennen gelernt haben, daß nämlich Wärme-Energie erforderlich ist, um Wasser in Dampf zu verwandeln. Deshalb muß das Wasser, welches die zur Verdunstung eines Teiles seiner selbst nötige Wärme liefert, abgekühlt werden.

Bei gleichbleibender Lufttemperatur hat das Wasser im Wasser-

behälter unserer Abbildung die Lufttemperatur, und diese Temperatur wird vom Thermometer *B*, dessen Kugel vom Wasser bedeckt wird, angezeigt.

Die Kugel des Thermometers *A* ist aber von wasserauffaugendem Material umhüllt. Dieses bietet bei seiner Porosität der Luft eine sehr große Oberfläche und damit gute Gelegenheit zum Verdunsten des Wassers. In trockener Luft verdunstet deshalb ein großer Teil des Wassers aus der feuchten Bedeckung der Kugel. Zu dieser Verdunstung ist Wärme erforderlich, welche von dem Wasser selbst während des Verdunstens geliefert wird, gerade so, wie es beim letzten Experiment war, wo Wasser ohne eine Flamme kochte. Ist nun dadurch die Wasserschicht in der porösen Bedeckung der Kugel bedeutend abgekühlt, so entzieht dieses Wasser dem Glase des Thermometers und dieses wieder dem Quecksilber Wärme. Dadurch zieht sich das Quecksilber auf einen kleineren Raum zusammen, d. h. die Quecksilbersäule des Thermometers sinkt.

Wenn die Luft schon mit Wasserdampf gesättigt ist, oder wie man gewöhnlich sagt, ganz feucht ist, so erfolgt das Trocknen der Kugelumhüllung langsamer, weniger Wärme wird verbraucht, das Wasser wird weniger abgekühlt, und das Quecksilber steht im Thermometer *A* nicht viel niedriger als im Thermometer *B*.

Wie man sieht, läßt sich der Unterschied zwischen den Temperaturen der beiden Thermometer benutzen, um den Wasserdampfgehalt der Luft zu erkennen. Ist der Unterschied größer, so ist die Luft trockener, ist der Unterschied geringer, so ist die Luft feuchter.

Eine solche Anordnung von zwei Thermometern zum Zwecke des Messens der Luftfeuchtigkeit wird Feuchtigkeitsmesser oder Hygrometer (auch wohl Psychrometer) genannt und wird in Stationen zur Beobachtung des Wetters (meteorologischen Stationen) allgemein angewandt.

Die Kugel *B* solcher Hygrometer befindet sich jedoch nicht im Wasser, sondern ist von Luft umgeben. Infolgedessen erhält man die Lufttemperatur schneller als bei unserer Versuchsanordnung.

Daß wir die eine Kugel in das Wasser tauchten, geschah ja nur, um zu veranschaulichen, daß ein Ding, welches in kaltes Wasser gestellt wird, weniger gekühlt wird als eins, das vom Wasser lediglich benetzt wird.

### III. Wärmeleitung.

#### 1. Ein Gefäß, welches zu heiß ist, um Wasser darin zu kochen.

Wenn ein Kochtopf, in dem Wasser kocht, geleert wird und einige frische Tropfen kalten Wassers hineingetan werden, so trocknet die Wärme des Topfes das Wasser schnell auf, das heißt, sie verwandelt es in Dampf. Wenn aber der Topf ohne Wasser auf dem Feuer gelassen wird, bis er viel heißer geworden ist, als er vorher mit dem kochenden Wasser war, bis er tatsächlich rotglühend geworden ist, und nun einige Tropfen kalten Wassers hineingegossen werden, so sind

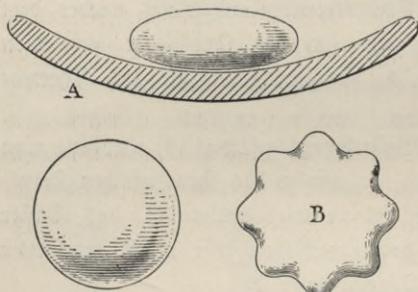


Fig. 37. Der Sphäroidalzustand des Wassers.

wir geneigt, zu erwarten, daß sie um so schneller unter Aufzischen verdampfen. Wir werden sehen, daß dieser Schluß wieder einmal übereilt wäre.

Hierbei wird es aber gut sein, der Einwendungen zu gedenken, die von den Küchenautoritäten bei dem Vorhaben, einen Kochtopf rotglühend zu

machen, erhoben werden können, Einwendungen, welche wahrscheinlich von einer höheren Instanz als berechtigt anerkannt werden würden. Wir wollen also unser Experiment lieber gleich mit einem besonders zu diesem Zwecke hergestellten Apparat ausführen. Als Gefäß für das Experiment kann eine kleine, vertiefte Platte dienen von einem Durchschnitte, wie ihn Fig. 37 A zeigt. Dieselbe sollte aus einem die Wärme gut leitenden Metall, etwa Kupfer, hergestellt und von glatter, glänzender Oberfläche sein; sonst könnte nämlich das Wasser das Gegenteil von dem, was wir prophezeiten, tun, und wir müßten den Zuschauern erst wieder erklären, warum das Wasser sich anders verhielt, als es sollte.

Die Kupferschüssel, welche auf einem passenden Gestelle ruht, wird erhitzt, bis sie rotglühend ist, alsdann lasse man einige wenige Tropfen kalten Wassers vorsichtig hineintröpfeln. Anstatt plötzlich in Dampf aufzugehen, wird das Wasser in Gestalt einer abgeplatteten Kugel, eines „Sphäroids“ auf der Schüssel bleiben. Man nennt diesen

Zustand den „sphäroidalen Zustand“. Manchmal ist die Kugel ganz rund, manchmal von der in *B* dargestellten ausgezackten Form, manchmal wechselt ihre Form, und manchmal dreht sie sich langsam herum.

Warum verwandelt sich nun das Wasser, obgleich es der außerordentlich heißen Schüssel so nahe und vielleicht von der Flamme eines großen Bunsenbrenners umgeben ist, nicht sofort in Dampf, sondern bleibt unter Umständen minutenlang in der Schüssel, bis es endlich langsam aufgetrocknet ist?

Offenbar ist die Schüssel zu heiß, um das Wasser zum Sieden zu bringen. Sie ist so heiß, daß, ehe das Wasser sie ganz berühren kann, die Wärme der Schüssel etwas von dem Wasser zum Verdampfen bringt. Also befindet sich eine dünne Dampfschicht zwischen Wasser und Schüssel. Die beiden kommen wegen des dazwischen befindlichen Dampfkissens, auf dem das Wasser ruht, nie in wirkliche Berührung miteinander.

Nun sind aber Gase und Dämpfe sehr schlechte Wärmeleiter. Deshalb kann die Wärme der Schüssel, wie groß dieselbe auch sei, nicht schnell genug durch das schlecht leitende Kissen hindurchgelangen und das Wasser zum Sieden bringen, daher verdampft auch das Wasser nur langsam.

Da das Wasser nicht mit dem Kupfer in Berührung kommen kann, so kann auch zwischen ihm und dem Kupfer keine Adhäsion auftreten, wie es sonst der Fall ist, wenn Dinge vom Wasser benetzt werden. Seine Gestalt wird daher nur bestimmt durch seine Oberflächenspannung und sein Gewicht.

Auch kleine Mengen von Quecksilber nehmen ja auf Gegenständen, die es nicht benetzt, annähernd Kugelform an. Ebenso nehmen sehr kleine Tropfen Wasser eine nahezu kugelige Form an, während etwas größere Mengen durch ihr Gewicht zur sphäroidalen Form abgeplattet werden.

Ein sehr einfacher und gut wirkender Apparat zur Veranschaulichung des sphäroidalen Zustandes ist übrigens eine eben geklopfte und durch einen abgerundeten Hammer leicht konkav gebogene Kupfermünze, welche man auf ein Stück Eisen legt, das man in der Rotglut erhält. Auch eine sehr heiße Herdplatte, auf die man einige Tropfen Wasser schüttet, eignet sich zur Beobachtung dieser unscheinbaren und doch so lehrreichen Erscheinung.

## 2. Wer taucht die Hand in geschmolzenes Blei?

Es wird von glaubwürdiger Seite behauptet, daß der jetzige König von England vor langer Zeit, auf einer seiner Reisen durch die englischen Industriestädte, den Mut hatte, seine Hand in ein Gefäß, in dem sich geschmolzenes Blei befand, zu tauchen. Ob dieses nun wahr oder nicht wahr ist, das Experiment ist eins, das gemacht werden kann und auch nicht selten gemacht worden ist, und zwar ohne Verletzung der eingetauchten Hand.

Wasser siedet bei  $100^{\circ} \text{C}$ , und wenn die Hand auch nur für den kürzesten Moment hineingetaucht werden würde, so würden schreckliche Schmerzen und die ernstesten Verletzungen die Folge sein. Die Temperatur, bei der Blei schmilzt, liegt um  $233$  Grad höher. Wie ist es möglich, daß Berührung mit demselben weniger gefährlich sein kann?

Die Erklärung ist jener, die im letzten Abschnitt von dem sphäroidalen Zustande des Wassers gegeben wurde, sehr ähnlich. Durch die Wärme des Bleies verdampft die Feuchtigkeit in der Haut, verwandelt die Feuchtigkeit sozusagen in einen Dampfhandschuh, welcher ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, so daß die Wärme des Bleies der Haut nur sehr langsam zugeführt werden kann. Die Haut selbst besteht außen aus einer unempfindlichen Schicht, so daß sie für kurze Zeit, ehe die Wärme zu den tiefer liegenden Nerven geleitet ist, außerordentlich hohe Temperaturen ohne Schmerz zu ertragen vermag. Wenn nun die Hand, ehe die Wärme Zeit hat, durch den Dampfhandschuh und die äußerste Hautschicht zu gelangen, wieder herausgezogen wird, so werden sich keine unliebsamen Folgen bemerkbar machen.

Zu bemerken ist noch, daß die Hände für dieses Experiment feucht sein müssen. Sie müssen daher von allen fettigen Bestandteilen durch Waschen mit Seife sorgfältig befreit werden, damit das Wasser nachher sie gut anfeuchten und ihnen überall anhaften kann.

Es ist vielleicht nicht nötig, noch eine weitere Warnung hinzuzufügen, nämlich die, daß man die Hand auch nicht zu lange im geschmolzenen Blei lassen darf. Es genügt für die Wärme natürlich eine sehr geringe Spanne Zeit, um den schützenden Dampf zu durchdringen und mit ihren zerstörenden Wirkungen zu beginnen.

## 3. Das Gehen auf rotglühenden Steinen.

Unsere Fig. 38 stellt eine Zeremonie dar, welche in verschiedenen Erdteilen ihresgleichen hat, welche aber besonders auf den Inseln



Fig. 38. Der Priester Papa Ita (Tahiti) im Begriff, seinen Feuertanz auszuführen.

des südlichen Stillen Ozeans angetroffen wird. Jrgend jemand von dem Rufe eines Halbheiligen, halb Arzt, halb Priester, sucht seinen Ruf zu festigen oder demselben noch etwas hinzuzufügen als Inhaber übernatürlicher Kräfte, indem er zeigt, was er alles kann.

Eine flache Grube wird gegraben, Steine und Holz werden gesammelt, und das Holz wird einige Stunden vor der Handlung angezündet. Einige der Steine werden rotglühend. Diese werden herausgesucht und mit grünen Zweigen bedeckt, welche beim Verkohlen starken Rauch verursachen. Nach einer beträchtlichen Zeit nähert sich der Wundermann barfuß an der Spitze einer Prozession, bestehend aus einer Anzahl seiner Schüler, welche, unter dem Schutze seiner Zauberkunst, sich befähigt glauben, seinem Beispiel folgen zu können. Bei den Steinen angelangt, beginnt er über sie wegzuschreiten, indem er das erste Mal seinen Weg in bedächtiger Weise, mit augenscheinlicher Vorsicht aufsucht. Seine Schüler folgen mit größerer Hast. Die Rückreise wird mit mehr Vertrauen und Überlegung gemacht. Zuletzt hüpfst ein großer Teil der

Zuschauer, welche nicht professionierte Wunderheilige sind oder solche werden wollen, auf den Steinen in unregelmäßiger Weise hin und her, meistens aber in nicht zu großer Entfernung vom gewöhnlichen Erdboden.

Wenn ein Fremder zum ersten Male diese Handlung sieht, so ist er außerordentlich überrascht. Er fühlt auf jeden Fall, daß er einer Sache beigewohnt hat, die des Nachforschens wert ist.

Durch die Beobachtung von Leuten, die nicht nur eines angenehmen Schauspielers wegen hingegangen sind, sondern welche die feste Absicht hatten, der Wahrheit auf den Grund zu kommen, sind die folgenden Tatsachen bekannt geworden. Die ganze Zeremonie wird hübsch theatralisch aufgezogen, in der Absicht, Erstaunen zu erregen. Der Umfang des Feuers und die Zeitdauer, während welcher es brennt, bringt den Eindruck einer fürchterlichen Hitze hervor. Die Vorstellung wird durch das Umkehren der heißen Steine, den Anblick der rotglühenden darunter und den Rauch der versengten Zweige, welche in die Zwischenräume der heißeren Steine gesteckt worden sind, begünstigt.

Während dieser Zeit haben die oberen Steine viel Zeit zum Abkühlen. Die Zauberer gehen über den rotglühenden Steinen, wohl verstanden, nicht auf denselben, sondern auf jenen über ihnen, welche eben nicht rotglühend sind. Da ist kein unnützes Verweilen, kein Zögern in ihren Bewegungen, sie verweilen nicht in einer Stellung. Zivilisierte Zuschauer, welche gleich darauf über dieselben Steine gehen, bemerken, daß das Leder ihrer Stiefel nicht versengt ist. Eingeborene, welche nicht zu den Zauberern gehören, stoßen dieselben Steine mit ihren bloßen Füßen herum.

Wir wissen ferner, wie wir im letzten Abschnitt gelernt haben, daß eine feuchte Haut sehr große Hitze während kurzer Zeit ohne Verletzung ertragen kann. Während der eine Fuß sich auf einem heißen Steine befindet, erfährt der andere, durch Verdampfung seiner Feuchtigkeit, Abkühlung. Die Hitze, welche tiefer in die Haut eindringt, mag auch wohl, wenn sich der Gang seinem Ende nähert, allmählich unerträglich werden. Der Fuß kann auch gelegentlich auf einen Stein geraten, welcher tatsächlich zu heiß ist; er wird aber sofort wieder zurückgezogen werden, und jener Stein wird auf dem Rückwege vermieden werden; der Schmerz kann aber verheimlicht werden. Die Handlungen der Derwische und anderer Fanatiker zeigen, daß, wenn

es sich um Betrug oder um Glaubenssachen handelt, Schmerzen heldenmütig ertragen werden können.

Fassen wir nun unser Urtheil zusammen und bedenken wir hauptsächlich die Tatsache, daß die Hitze der Steine auch Leder nicht sofort zu zerstören vermag, so kommen wir zu dem Schluß, daß, trotzdem auffallende Tatsachen hier zusammentreffen, sich nichts zuträgt, was den bekannten Naturgesetzen widerspricht.

## IV. Merkwürdige Dampfströme.

### 1. Wer bewegt die Hand durch einen heißen Dampfstrahl?

Die Hand kann ohne Schaden schnell, aber ohne daß besondere Hast nötig ist, durch einen kleinen Strom heißen Dampfes, nahe der Ausströmungsöffnung geführt werden. Dieser Dampf ist ebenso heiß wie siedendes Wasser, ebenso heiß wie der die Haut verbrühende Dampf eines Teekessels. Und warum verbrüht dieser Dampf nicht?

Zunächst ist zu beachten, daß es sich um wirklichen, gasähnlichen Dampf handelt, nicht um teilweise kondensierten Dampf, wie in dem sichtbaren Nebel des Teekessels. Der letztere besteht aus kleinen Tröpfchen flüssigen Wassers, welches der Hand anhaftet, sich an derselben ansammelt, sie benetzt und auf die Hand in Folge seiner hohen spezifischen Wärme gewaltige Wärmemengen überträgt.

Einige Dampfessel sind an der Seite mit einem Loch versehen, in welches eine Glasscheibe eingepaßt ist, um dem Beobachter das Innere zu zeigen. Oberhalb des Wassers sieht man nichts. Daraus geht hervor, daß sich hier wahrer, gasähnlicher Dampf befindet, der nicht zum Teil zu Wassertröpfchen kondensiert ist, denn diese würden sichtbar sein.

Dieser wirkliche Dampf hat wie auch die Gase selbst bei hoher Temperatur eine sehr geringe spezifische Wärme; also kann die dünne Dampfschicht, mit welcher der Finger kurze Zeit in Berührung kommt, keine große Wärmemenge an die Haut abgeben. Zweitens hat dieser wahre Dampf wie die Gase nur ein sehr geringes Wärmeleitungsvermögen, so daß die Dampfschicht, die der Hand am nächsten ist, auch die Wärme der angrenzenden Schichten nicht auf die Haut übertragen kann.

Fügen wir nun noch die Tatsache hinzu, daß die Wärme auch noch erst die äußere unempfindliche Hautschicht durchdringen muß, ehe sie empfunden wird, so sehen wir, wie es möglich ist, die Haut für kurze Zeit der Dampfhitze auszusetzen. Aber das Kunststück darf nicht zu sehr in die Länge gezogen werden. Wenn der Experimentator zu waghalsig ist, wird er sich eben die Finger verbrennen.

## 2. Wie der Schwächere den Stärkeren besiegt.

Der Dampf injektor zur Versorgung des Kessels mit frischem Wasser war seinerzeit eine der überraschendsten Erfindungen des Ingenieurwesens. Wenige Leute, wenn sie eben nicht Ingenieure sind, wissen, was ein Dampf injektor ist und wozu er dient, und doch ist es sehr lehrreich, ihn zu betrachten.

Man stelle sich zunächst folgendes vor: Von einem Dampfkessel führt eine Dampf röhre zu der Maschine und versorgt sie mit Dampf. Von der Dampf röhre zweigt sich eine andere ab, welche dem (nachher zu beschreibenden) Injektor Dampf zuführt. Im Injektor trifft der Dampfstrom mit einem Wasserstrom zusammen, der aus einer anderen Röhre kommt, und preßt diesen durch eine dritte Röhre in den Kessel. Kurz: der Dampf, der aus dem Kessel kommt und von dort seinen Druck erhält, überwindet den Druck des Dampfes, der sich noch im Kessel befindet und tritt, frisches Wasser mit sich führend, wieder in denselben ein.

Das scheint ganz unmöglich zu sein: Aber es ist in Wirklichkeit noch viel wunderbarer, denn es handelt sich um Dampf, der schon seinen Weg durch die Maschine gemacht, dort seine Arbeit getan hat und wieder auf den atmosphärischen Druck herabgesetzt ist. Er überwindet den Dampfdruck von — sage und schreibe! — vier Atmosphären und nimmt gar noch Wasser mit sich, welches er überdies vorher noch auf ein höheres Niveau gehoben hat.

Dieses widerspruchsvoll erscheinende Verhalten erklärt sich durch die plötzliche Kondensation des Dampfes, der dabei seine ganze Energie in einem sehr kleinen Raum konzentriert.

Nehmen wir an, ein Dampfstrahl von vielleicht 400 m Geschwindigkeit wird in einen Raum gelassen, in dem der Druck nur halb so groß ist wie im ersten. Während er sich dort ausdehnt, wird die Geschwindigkeit seiner Teilchen noch größer, und entsprechend ihrer

großen Geschwindigkeit besitzen sie auch eine bedeutende Bewegungsenergie. Nun nimmt Dampf bei gewöhnlichem Luftdruck einen etwa 1700 mal so großen Raum ein wie das Wasser, aus dem er entstanden ist. Wenn er sich kondensiert, so geht er also auf den 1700sten Teil des Raumes, den er als Dampf einnahm, zurück. Das heißt, daß ein plötzlich kondensierter Dampfstrom seinen Durchmesser auf weniger als  $\frac{1}{40}$  des ursprünglichen herabsetzt. Die ganze Bewegungsenergie des Dampfstromes ist also jetzt in einem dünnen Wasserstrahl konzentriert. In dem Raume, den der Wasserstrahl einnimmt, ist jetzt ungefähr 1700 mal so viel Energie aufgespeichert als vorher. Bleibt auch der praktisch erreichbare Wert hinter diesem theoretischen Werte etwas zurück, so ist doch der Energiezuwachs ausreichend, um es dem Wasserstrahl zu ermöglichen, den Dampfdruck im Kessel zu überwinden und wieder in den Dampfessel einzutreten, indem er das Wasser mit sich führt, durch welches er kondensiert wurde.

In unserer Fig. 39 sind einige Einzelheiten, welche in der Praxis nötig sind, fortgelassen, um das Hauptsächliche deutlicher hervortreten zu lassen; andere sind in ihren Verhältnissen übertrieben. Durch *A* tritt der Dampf, nachdem er im Zylinder Arbeit geleistet hat, in den Injektor ein. Ein kleiner Dampfstrahl strömt deshalb mit äußerster Geschwindigkeit nach oben. Die Röhre *B* führt kaltes Wasser zu und leitet es in eine ringförmige Kammer *C*, welche einen ringförmigen Strahl kalten Wassers liefert, der den Dampfstrahl umgibt. In Berührung damit wird der Dampf plötzlich zu Wasser kondensiert und bildet den schon beschriebenen feinen Strom von schnell bewegtem Wasser. Dieser Strahl hat Energie genug, um sich und das kalte Wasser, welches sich mit ihm mischt, in den Raum *D* zu befördern, welcher mit dem Kessel in Verbindung steht. Während der Strom in den weiteren Teil dieses Raumes eintritt, vermindert er allmählich seine Geschwindigkeit und erhöht seinen Druck, bis er endlich fähig ist, den Dampfdruck des Kessels zu überwinden.

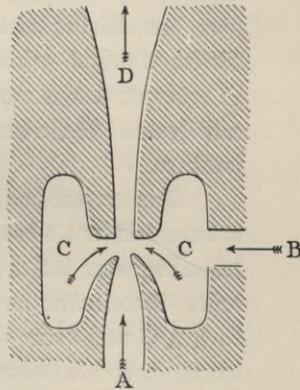


Fig. 39. Zur Erläuterung des Dampfinjektors.

## V. Leicht verdunstende Flüssigkeiten.

### 1. Wie kann man eine Flüssigkeit durch Sieden zum Gefrieren bringen?

In einem der vorhergehenden Abschnitte haben wir gesehen, daß die zur Verdampfung erforderliche Wärmemenge so groß ist, daß heißes Wasser, welches bei niedrigem Druck ohne Feuer oder Flamme siedend erhalten wird, indem es einen Teil seiner eignen Wärme beim Sieden aufbraucht, sehr bald auf eine mäßige Temperatur abgekühlt wird. Wir brauchen diesen Vorgang nur weiter fortzusetzen und den Druck über dem Wasser niedrig genug zu erhalten, so wird das siedende Wasser schließlich gefrieren müssen. Um aber einen so niedrigen Druck zu erlangen, müßte man eine sehr gute Luftpumpe anwenden und den entstehenden Wasserdampf durch starke Schwefelsäure fortgesetzt absorbieren.

Man erreicht das Gefrieren des Wassers leichter durch Anwendung anderer, leichter als das Wasser verdampfender Flüssigkeiten wie Schwefelkohlenstoff oder Äther. Schwefelkohlenstoff ist jedoch ein Stoff, gegen dessen Anwesenheit im Hause Einwendungen gemacht werden können, da sein Geruch derart ist, daß der Duft der Motorwagen, im Vergleich damit, noch den würzigen Lüften ähnelt, die über die Insel Ceylon dahinwehen. Deshalb wollen wir Äther wählen, obgleich auch der Duft des Äthers dem Hause nichts weniger als willkommen sein wird, und im ganzen wird es wohl am besten sein, für dieses Experiment einen Nachmittag zu wählen, an dem die Eltern oder andere Respektspersonen von Besorgungen außerhalb in Anspruch genommen sind.

Am besten wird das Ganze eingerichtet, wie Fig. 40 es zeigt. In einem Stück Holz wird eine Höhlung oder Vertiefung gemacht, die man mit wenigen Tropfen Wasser anfüllt. In das Wasser stellt man einen Fingerhut, der fast ganz mit Äther angefüllt ist. Mit einer geringen Menge Äther, vielleicht für 10 Pfennige, kann man den Versuch mehrere Male wiederholen. Dann nimmt man ein Gummigebläse, wie es an Zerstäubern für Flüssigkeiten Verwendung findet, und bringt an dem Ende des Schlauches ein Glasrohr oder ein anderes Endchen Rohr mit ganz feiner Öffnung an. Wenn der Experimentator jung und von starker Lungenkraft ist, kann der Blase-

balg auch fortgelassen werden. Um den Äther, auf den geblasen wird, am Überfließen ins Wasser zu verhindern, wird man gut tun, den Rand des Fingerhutes zu verbreitern, indem man den Fingerhut etwa in ein dünnes Brett mit kreisförmigem Loch einsetzt. Statt dessen kann man aber auch Vorsicht und Geduld beim Blasen anwenden. — Der Dampf des Äthers ist sehr leicht entzündbar; deshalb komme man nicht mit einem brennenden Licht oder einer Lampe in seine Nähe.

Der Luftstrom bringt nun den Äther sehr schnell zum Verdunsten. Das hier angewandte Prinzip benutzen auch Wäscherinnen, wenn sie ihre Wäsche gern an einem windigen Tage aufhängen. Dadurch, daß der Luftzug die mit Dampf gesättigte Luftschicht, die also keinen Dampf mehr aufzunehmen vermag, fortwährend von der Wäsche fortbläst und trocknere Luft herbeiführt, gibt er dem Wasser in der Wäsche bessere Gelegenheit, zu verdunsten.

Der künstlich erzeugte, auf den Äther gerichtete Luftstrom hat die gleiche Wirkung, er beschleunigt die Verdunstung des Äthers. Die dabei verbrauchte, vom Äther selbst gelieferte Wärmemenge ist so groß, daß, ehe der Fingerhut leer ist, der Äther kalt genug geworden ist, um das Wasser gefrieren zu lassen. Schließlich ist der Fingerhut am Brett festgefroren. So wird zwar nicht durch eigentliches Sieden, aber doch durch eine dem Sieden vergleichbare beschleunigte Dampfbildung Gefrieren hervorgerufen.

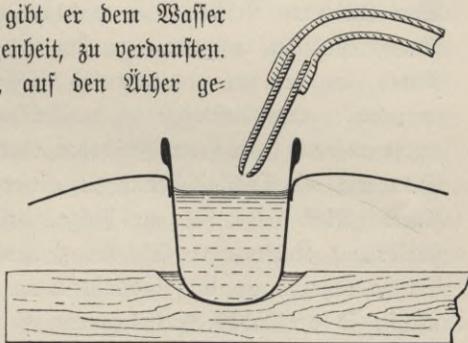


Fig. 40. Gefrieren von Wasser infolge Verdunstung von Äther.

Es wurde schon gesagt, daß der Versuch, Wasser durch Sieden unter niedrigem Druck zum Gefrieren zu bringen, eine ungemein leistungsfähige Luftpumpe und schnelle Absorption des entstehenden Wasserdampfes durch starke Schwefelsäure erfordern würde.

Es gibt nun aber eine andere Flüssigkeit, die verhältnismäßig leicht dadurch, daß man einen Teil derselben verdunsten läßt (ein eigentliches Sieden tritt auch hier nicht ein), in den festen Zustand überzuführen ist. Das ist die flüssige Kohlensäure. Die Kohlensäure ist in Gasform allgemein bekannt. Es ist der Stoff, der aus

vielen Getränken, wie Selterswasser, Bier, Schaumwein u. a., beim Öffnen der Flaschen zc. entweicht und das Schäumen derselben hervorruft. Die Kohlensäure läßt sich durch einen Druck von 60 Atmosphären schon bei gewöhnlicher Temperatur verflüssigen. Sie kommt in flüssigem Zustande hauptsächlich in großen Stahlflaschen in den Handel. Öffnet man den Verschluß einer solchen Flasche, während die Flasche steht, so entweicht ein starker Strom gasförmiger Kohlensäure, die sich aus der flüssigen Kohlensäure infolge der Druckverringerung beim Öffnen gebildet hat. Der Druck dieser immer noch sehr stark verdichteten gasförmigen Kohlensäure ist es, der in den sogenannten Bierdruckapparaten zur Verdrängung des Bieres aus den Fässern verwendet wird. Da die Füllung einer solchen Flasche keinen sehr großen Wert hat (etwa 2 Mark), so wird der eine oder andere Leser dieses Buches vielleicht imstande sein, sich eine Kohlensäureflasche von einer Firma, die sich mit dem Vertrieb flüssiger Kohlensäure befaßt, oder auch von einem Gastwirte zu verschaffen.<sup>1)</sup> Diese Kohlensäureflasche legt man nun so auf den Fußboden oder einen starken Tisch, daß das Ende mit der Ausflußöffnung sich tiefer befindet als das geschlossene Ende. Diese Lage hat zur Folge, daß die im Innern befindliche gasförmige Kohlensäure sich am geschlossenen Ende ansammelt, die flüssige dagegen an der Ausflußöffnung. Öffnet man nun den Verschluß, so preßt das stark komprimierte Gas die Flüssigkeit heraus. Merkwürdigerweise bemerkt man aber gar keinen Flüssigkeitsstrahl, sondern man sieht einen weißen schweren Nebel austreten, der sich vielleicht z. T. am Tische oder Fußboden in Gestalt eines weißen Beschlages, also in festem Zustande, absetzt. Daraus geht hervor, daß dieser Nebel aus kleinen festen Teilchen, d. h. aus fester Kohlensäure besteht. Um die feste Kohlensäure in größerer Menge zu erhalten, legt man ein größeres Stück von dickem Flanell oder dergleichen in Beutelform zusammen und bindet diesen Beutel an dem Ausflußrohr in der Weise fest, daß der Kohlensäurenebel in den Beutel einströmen muß. Öffnet man dann den Verschluß genügend weit, so füllt sich der Beutel mit einer schneeähnlichen Masse von fester Kohlensäure.

Wie erklärt sich nun das alles? Sehr einfach! Die flüssige Kohlensäure bleibt bei gewöhnlicher Temperatur nur unter sehr hohem

1) Den Hauptwert hat die Flasche, die man sich aber nicht anzuschaffen braucht.

Drucke flüchtig. Wird dieser Druck beim Öffnen der Flasche verringert, so geht sie mehr oder weniger schnell in Gasform über. Dieses Gas ist farblos, wie wir wissen, und deshalb unsichtbar. Die zur Verdampfung nötige Wärme aber wird im wesentlichen der Kohlensäure selbst, sowohl der zurückgebliebenen flüssigen als auch der entweichenden Kohlensäure entzogen. So kommt es, daß ein Teil der Kohlensäure die Flasche in Gestalt von feinen festen Teilchen verläßt, die sich in dem Beutel unter Umständen zu größeren Massen vereinigen, während die gasförmige Kohlensäure durch den Beutel hindurch filtriert. So sehen wir in der That, daß die schnelle Verdampfung eines Teiles einer Flüssigkeit imstande ist, den Rest zum Gefrieren zu bringen.

Die feste Kohlensäure hat natürlich eine sehr niedrige Temperatur, vielleicht  $-60^{\circ}\text{C}$ . Man hüte sich, sie fest mit den Fingern anzufassen, da durch die starke Abkühlung der Hand leicht ähnliche Erscheinungen hervorgerufen werden wie durch starke Erhitzung („Verbrennen“). Hat man etwas Quecksilber zur Verfügung, etwa aus einem zufällig zerbrochenen Thermometer, so kann man den bedeutenden Kältegrad durch Gefrierenlassen des Quecksilbers veranschaulichen. Zu diesem Zwecke füllt man etwas von dem Kohlensäureschnee mittels eines Holz- oder Hornlöffels in eine kleine Holzschüssel und preßt ihn kräftig zusammen, indem man in der Mitte für eine kleine Vertiefung sorgt. Gießt man in diese Vertiefung das Quecksilber, so wird man nach einigen Minuten die Genugthuung haben, einen kleinen Block festen Quecksilbers mit Hülfe des Löffels herausheben zu können. Man lasse das Metall nun aber nicht frei auf dem Tische liegen, denn, sobald es eine Temperatur von  $-39^{\circ}\text{C}$  angenommen hat, schmilzt es wieder. Es würde bei geringer Erschütterung oder schwacher Neigung der Tischfläche in Gestalt von mehr oder weniger kugelförmigen Massen davon rollen und nicht leicht wieder einzufangen sein, da es oft in Spalten von Fußböden *z.* eindringen wird. Da der Dampf des Quecksilbers sehr giftig ist, muß man aber vermeiden, diese Flüssigkeit — selbst wenn es nur kleine Tropfen sind — längere Zeit offen im Zimmer zu lassen. Nebenbei sei noch bemerkt, daß man natürlich Quecksilberthermometer nicht mehr zum Messen von Temperaturen unter  $39^{\circ}\text{C}$  verwenden kann. Es kommen dann Thermometer zur Anwendung, die eine Flüssigkeit von noch tiefer liegendem Gefrierpunkt, *z.* B. Alkohol (Weingeist), enthalten.

Noch eine Beobachtung sei erwähnt. Läßt man den Kohlenäure-schnee einige Zeit liegen, so bemerkt man, daß er immer weniger wird, ohne zu schmelzen. Da er sich nämlich unter dem gewöhnlichen Luftdruck befindet, geht er unter Überspringung des flüssigen Zustandes aus dem festen Zustand unmittelbar in den gasförmigen über und entschwindet so dem Auge. Geradeso sieht man auch gewöhnlichen Schnee oder ein Stück Eis, das bei Frostwetter im Freien auf einer Wage liegt, allmählich durch Verdunstung leichter werden. Sollte der Kohlenäureschnee oder ein Gegenstand, der mit diesem in Berührung ist, sich dennoch mit geringen Mengen einer Flüssigkeit bedecken, so glaube man nicht, daß es flüssige Kohlenäure sei. Das ist lediglich Wasser, welches sich durch Kondensation des Wasserdampfes der Luft an den sehr kalten Gegenständen abgeschieden hat.

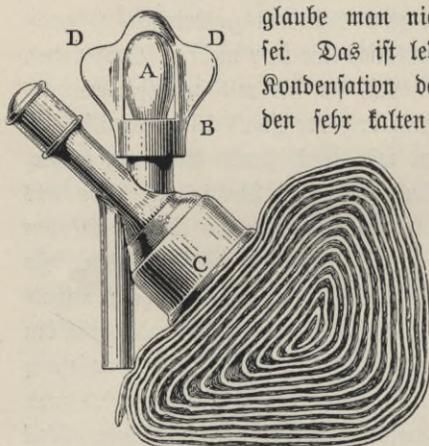


Fig. 41. Vorrichtung zum Gefrierenlassen von Kohlenäure.

Für den Fall, daß es sich nur darum handelt, ein wenig feste Kohlenäure herzustellen, ohne weitere Versuche damit auszuführen, sei noch eine andere Gelegenheit erwähnt, sich flüssige Kohlenäure zu beschaffen. Eine Londoner Firma<sup>1)</sup> bringt Siphons, ähnlich unseren Siphons für Selterswasser, in den Handel, die dazu dienen sollen, im Privathaushalt kohlenäurehaltige Getränke (Limnaden) mit Hilfe von flüssiger Kohlenäure herzustellen, die zu diesem Zweck in kleinen Stahlkapseln käuflich ist. Da diese Siphons nebst den Kohlenäurekapseln („Sparklets“) auch in Deutschland käuflich sind<sup>2)</sup>, so sind vielleicht einige Leser in der Lage, den Apparat für einen Versuch zu verwenden. Die Siphons besitzen ein Kopfstück (Fig. 41), das dem Kopfstück der Selterswasser-Siphons sehr ähnlich ist. Das Stück C wird auf das Glasgefäß aufgeschraubt. Es trägt in vollständigem Zustande noch ein

1) Aerators Limited. Upper Edmonton. London, N.

2) Die Firma Franz Ehrenberg, Hamburg, liefert 1 Siphon für 4,50 M., die Kohlenäurekapseln für 1,50 M. das Duzend. Diese Angabe sei hier ausnahmsweise gemacht, weil es sich um einen sehr wenig bekannten Artikel handelt.

Glasrohr, das hier für Versuchszwecke entfernt ist. Die Stahlkapseln sind annähernd birnförmig gestaltet. In unserer Figur liegt eine Stahlkapsel (*A*) bereits in ihrem Halter *BD*, der bei *B* mit Schraubengewinde, bei *DD* mit zwei Flügeln zum bequemen Festschrauben versehen ist. Schraubt man *BD* fest, so wird dabei die Stahlkapsel gegen einen Dorn gedrückt. Dieser durchbohrt die Kapsel, und da er selbst eine Höhlung besitzt, läßt er die gasförmig werdende Kohlensäure in den Siphon eintreten, wo sie nun zur Herstellung des Getränks dient. Schraubt man aber, wie das die Fig. 41 zeigt, das Kopfstück ab und behandelt es darauf ebenso, indem man *A* senkrecht stellt, so tritt die Kohlensäure bei *C* zum Teil als Gas, zum Teil als ein Nebel aus. Dadurch, daß man, während die Kapsel geöffnet wird, *C* gegen eine Rolle von Flanell oder einen anderen ähnlichen Stoff drückt, kann man eine ähnliche, aber kleinere Ansammlung von fester Kohlensäure erhalten wie bei Benutzung der großen Stahlflaschen.

Über die Stahlkapseln sei noch bemerkt, daß sie, wenn sie stark erwärmt werden, heftig explodieren, weil dann der Druck der eingeschlossenen Kohlensäure zu stark wird. Bei gewöhnlicher Temperatur sind sie jedoch harmlos. Auch das Öffnen kann gefährlich werden, wenn es in anderer Weise erfolgt als mit dem Dorn des Siphonkopfstückes.

## 2. Kann Eis Wärme liefern?

Verschiedene Flüssigkeiten sieden auch bei verschiedener Temperatur. Schwefelsäure oder Quecksilber müssen viel stärker erwärmt werden, um zum Sieden zu kommen, als Wasser. Alkohol, Äther und Chloroform andrerseits sieden bei tieferen Temperaturen als Wasser; und das Wasser selbst wird bei einer viel niedrigeren Temperatur sieden, wenn weniger Druck auf ihm lastet. Man kann dies beobachten, wenn man einen hohen Berg hinaufsteigt. Oben ist die Luft viel dünner, ihr Druck also auch viel geringer, und das Wasser siedet unter Umständen bei einer so niedrigen Temperatur, daß es nicht genügend erwärmt werden kann, um Kartoffeln darin gar zu kochen. Flüssiges Schwefeldioxyd siedet sogar unterhalb des Wassergefrierpunktes, nämlich bei  $-8^{\circ}\text{C}$ ., flüssiges Ammoniak bei  $-34^{\circ}\text{C}$ ., flüssiges Stickstoffoxydul bei  $-87^{\circ}\text{C}$ .. Einen noch niedrigeren Siedepunkt hat die flüssige Luft, nämlich nahezu  $-200^{\circ}\text{C}$ .

Nun ist Wärme doch immer die Grundbedingung zum Sieden. Selbst bei dieser niedrigen Temperatur ist also noch Wärme vorhanden. Zunächst ist vielleicht mancher geneigt zu sagen, daß das Wasser unterhalb seines Gefrierpunktes keine Wärme mehr enthält. Aber könnten wir dann nicht ebensogut sagen, daß unter der Temperatur, bei welcher geschmolzenes Wachs oder Eisen wieder fest wird, keine Wärme mehr vorhanden ist?

Wir nennen das Eis zwar „kalt“ und nicht „warm“. Damit meinen wir doch aber nur, daß es weniger Wärme hat als unser Körper oder die meisten uns umgebenden Gegenstände. Im Vergleich zu manchen Dingen enthält es sogar eine bedeutende Wärmemenge. Der Unterschied in der Wärmemenge von Eis und flüssiger Luft ist zum Beispiel ebensogroß wie derjenige von rotglühendem Eisen und Wasser.

Folglich kann Eis flüssige Luft in denselben sphäroidalen Zustand versetzen, wie rotglühendes Metall das Wasser. Ehe es nicht einen großen Teil seiner Wärme verloren hat und der Temperatur der flüssigen Luft näher gekommen ist, ist das Eis zu warm, um die Luft zum Sieden zu bringen!

Zuerst schafft die außerordentliche Wärme des Eises (außerordentlich im Vergleich zu der außerordentlichen Kälte der flüssigen Luft) ein Rissen verdampfter Luft zwischen sich selbst und der Flüssigkeit, das für die Wärme des Eises schwer durchdringlich ist. Hat aber das Eis seine Wärme langsam abgegeben, hat sich seine Temperatur der der Flüssigkeit genähert, so verschwindet das Dampfriß. Die flüssige Luft und das Eis berühren sich also, und die Luft kommt zum Sieden. Das Eis ist also schließlich kalt genug geworden, um die flüssige Luft zum Sieden zu bringen!

Nachdem das Sieden einige Zeit gewährt hat, und das Eis mehr und mehr von seiner Wärme abgegeben hat, wird es endlich ebenso kalt wie die flüssige Luft selbst. Nun kann keine Wärme mehr vom Eis zur Luft übergehen und das Sieden hört auf.

Das Experiment kann auf zwei verschiedene Weisen ausgeführt werden. Man lasse ein Stück Eis in flüssige Luft fallen. Während der ersten wenigen Minuten ist das Eis zu warm, um die Flüssigkeit berühren zu können, und daher findet nur Verdampfung statt. Bald hat sich aber seine Oberfläche genügend abgekühlt, und die Luft beginnt zu sieden.

Man kann auch anders verfahren. Man schneide in die eine Seite eines Eisblockes ein Loch und lasse flüssige Luft in dasselbe hineinfließen. Man wird dieselbe Reihe von Erscheinungen zu verzeichnen haben, wie wenn man Wasser auf eine rotglühende Herdplatte schüttet.

Die letzte Methode bietet sogar noch Gelegenheit zu einer hübschen, wirkungsvollen Vorführung. Da der Stickstoff zuerst verdampft, kann man den übrig gebliebenen Sauerstoff benutzen, um ein Stück Holz darin zu verbrennen. Das helle Licht, welches durch das Eis leuchtet, sieht in einem verdunkelten Zimmer ganz wunderhübsch aus.

## VI. Angeblich immerwährende Bewegung.

### 1. flüssige Luft und immerwährende Bewegung.

Wer von immerwährender Bewegung oder von einem „Perpetuum mobile“ (d. h. einer sich immerfort bewegenden Maschine) redet, spricht damit eigentlich den Gedanken aus, Kraft aus nichts zu erhalten oder aus einer Maschine mehr Kraft zu gewinnen, als man in irgendeiner Form hineingetan hat. Das ist immer eine Lieblingsidee derjenigen gewesen, die sich gerne in wissenschaftliche Dinge mischen, ohne genug Kenntnisse erworben zu haben, um die Gesetze, welche ihren Gegenstand beherrschen, begreifen zu können.

Vor einigen Jahren, als die Sensation, welche durch die Wunder der flüssigen Luft hervorgebracht war, etwas abflaute, brachte die Ankündigung eines amerikanischen Experimentators, welcher einen großen Luftverflüssigungsapparat nach dem System des Verfassers dieses Buches gebaut hatte, neues Leben in die Sache.

Es war ihm gelungen, indem er mit 3 Litern flüssiger Luft einen dampfmaschinenähnlichen Motor betrieb, 10 Liter neuer flüssiger Luft zu erzeugen. Er behauptete, daß 7 von diesen 10 Litern in einer anderen Kraftmaschine gebraucht werden könnten, um äußere nützliche Arbeit zu verrichten, während die 3 übrigbleibenden gebraucht werden könnten, um abermals 10 Liter flüssiger Luft hervorzubringen, und so immer weiter bis ins Unendliche.

Hatte er also 3 Liter, so konnte er 3 immer zum Betrieb seiner Maschine behalten und dennoch ebensooft 7 andere zum Arbeiten in Werkstätten liefern.

Es ist ganz klar, daß, was für 3 Liter und 7 Liter gilt, auch für 30 und 70, 3000 und 7000 usw. paßt. Es ist ebenso klar, daß, wenn diese 7 Liter nicht zu Arbeitszwecken verbraucht werden, das zweite Mal 23, das dritte Mal 76 Liter erzeugt werden können usw. Da war der flüssigen Luft und ihrer Kraft buchstäblich keine Grenze zu ziehen, ohne auch nur eine Handvoll Kohlen oder anderen Feuerungsmaterials hinzuzufügen, schien sie zu wachsen gleich einem winzigen Samenkorn, aus dem eine große Pflanze wird.

Eine so wunderbar wirkende Erfindung müßte überall die größten Umwälzungen hervorrufen. Mit Kohlen, Öl oder Gas betriebene Maschinen würden in den Werkstätten und auf den Eisenbahnen aller fünf Erdteile unnötig. Schiffe, von flüssiger Luft getrieben, würden den Atlantischen Ocean in drei Tagen durchkreuzen, ohne auch nur eine Tonne Feuerungsmaterial mitzuschleppen. Luftschiffe würden mit Leichtigkeit die größten Höhen erreichen können, und wenn wir mit Unterseebooten die Tiefen des Ozeans durchpflügen wollten, so würde uns die flüssige Luft nicht nur mit der nötigen Bewegungsenergie, sondern auch mit frischer Atemluft versorgen. Es hieße Golen nach Athen tragen, wenn man das Unmögliche von allem diesem beweisen wollte. Obgleich wenig zu wenigem getan viel gibt, kann ein einziges „wenig“ niemals „viel“ geben. Viele kleine Bäche machen gewiß zuletzt einen Strom, aber durch keinerlei Beschwörung kann ein Bächlein sich in einen Strom verwandeln.

Es hat nie eine gründliche Untersuchung der angeblichen Erfolge dieses Experimentators stattgefunden, aber der einzige Schluß, welcher aus den uns überlieferten Berichten gezogen werden könnte, ist, daß wenn er 10 Liter bei mäßigem Druck produzierte, er zu erwähnen vergaß, daß er mit einer Maschine arbeitete, welche schon durch die Kraft, welche zum Hervorbringen der ersten 3 nötig war, gut abgekühlt worden war; er erntete gleichsam die Kälte, die durch frühere Operationen erzeugt wurde, aber indem er dies tat, erwärmte er die Maschine allmählich, und sie wurde unfähig, das Vorhergehende zu wiederholen.

Wir können uns das Prinzip jenes Verfahrens noch an einem einfacheren Beispiele klar machen. Wenn ein Dampfkessel leer gekocht und stark erhitzt worden ist und man nun einige Liter Wasser hineingießt, so wird durch die Wärme des Metalls ein vielleicht sehr be-

deutender Dampfdruck hervorgerufen, gleichzeitig wird dieser Vorgang ihn aber auch abkühlen und ihn für eine Wiederholung der Operation unbrauchbar machen.

## 2. Eine „unerschöpfliche“ Wärmequelle.

Wenn ein Krug warmen Wassers auf den Tisch gestellt wird, so wird, wie wir alle wissen, das Wasser kühl und recht bald kalt. Eine Wärmflasche verliert fortgesetzt Wärme, bis sie gewechselt werden muß. Im allgemeinen teilt ein Körper, der wärmer ist als die ihn umgebenden Gegenstände, denselben von seinem Überschusse mit, bis alle die Durchschnittstemperatur haben.

Nachdem das Eis, wie es unser Experiment im vorletzten Abschnitt gezeigt hat, die flüssige Luft während einiger Zeit im Sieden erhalten hat, sinkt seine Temperatur auf die der Flüssigkeit selbst, der es seinen ganzen Wärmeüberschuß mitgeteilt hat. Die Folge davon ist, daß es das Sieden nicht mehr unterhalten kann.

Nun hat aber kürzlich eine Entdeckung Aufsehen erregt, die allen bisherigen Erfahrungen zu widersprechen scheint. Wenn man nämlich Radium in flüssige Luft bringt, wie das der verstorbene Professor Curie getan hat, so verhält es sich zunächst wie Eis, es verursacht starkes Sieden. Plötzlich wird das Sieden dann viel schwächer, so daß man den Eindruck hat, als ob es aufhören werde. In Wirklichkeit hört es aber nicht auf. Selbst nach 24 Stunden ist es noch in gleicher Stärke wahrnehmbar. Wenn die verdampfte flüssige Luft immer wieder durch frische ersetzt wird, so wird man finden, daß am Ende eines Monats, eines Jahres, anscheinend sogar dauernd das Sieden unverändert bleibt. Das Radium kühlt also, wie es scheint, nie auf die Temperatur der flüssigen Luft ab, es scheint eine unerschöpfliche Wärmequelle zu sein.

Diese Sache würde verständlich gewesen sein, wenn irgendein chemischer oder physikalischer Vorgang, durch den die beständige Wärme-Produktion erklärt werden könnte, sich nachweisen ließe. Trotzdem man das Radium lange Zeit beobachtet hat, ist es unmöglich gewesen, mit Hilfe der genauesten Waagen auch nur die geringste Gewichtsveränderung festzustellen. Dieses Verhalten erscheint wie ein Wunder, eine Aufhebung des Gesetzes von der Unveränderlichkeit der Energiemenge. Es sieht aus, als ob das Perpetuum mobile nun doch verwirklicht werden solle.

Nicht lange, nachdem die Erscheinungen der „Radioaktivität“ alle Welt in Erstaunen gesetzt hatten, fanden die Professoren Rutherford und Soddy von der Mc Gill-Universität, Montreal, eine Erklärung, welche nun allgemein angenommen ist und welche das Verhalten des Radiums dem Gesetz der Erhaltung der Energie unterwirft. Mit dieser Erklärung werden wir uns in einem späteren Abschnitt beschäftigen. Daher mögen hier einige Andeutungen genügen. Man nimmt an, daß die Atome wieder aus kleineren Teilen oder Korpuskeln bestehen, welche im Innern der Atome mit ganz außergewöhnlicher Energie schwingen. Ein kleiner Teil der Atome aller Stoffe zerfällt fortgesetzt in Korpuskeln. Radium unterscheidet sich nur dadurch von anderen Stoffen, daß diese Erscheinung bei ihm viel auffallender ist. Die Korpuskeln und Gruppen von Korpuskeln verlassen die Substanz mit einer Geschwindigkeit, welche der großen Energie entspricht, mit der sie innerhalb der Atome vibrieren, einer Geschwindigkeit von Tausenden von Kilometern in der Sekunde. Indem sie aufeinander stoßen, bringen sie eine Wärmemenge hervor, die im Vergleich zu der verloren gehenden Stoffmenge enorm groß ist. Auf Grund dieser Annahme ist die Wärme, die vom Radium ausgeht, das natürliche Ergebnis eines Prozesses, der mit dem Gesetz von der Erhaltung des Stoffes und der Energie durchaus nicht mehr im Widerspruch steht. Die Substanzverminderung geht so langsam vor sich, daß sie während der kurzen Zeit, in der das Radium bisher beobachtet wurde, unmerklich geblieben ist. Die „Aktivität“ des Radiums ist deshalb bemerkenswert, weil die Energie, die den Korpuskularschwingungen von verhältnismäßig wenigen Atomen innewohnt, ganz außergewöhnlich groß sein muß.

### 3. Eine nie stillstehende Uhr.

Die „Radiumuhr“, wie sie etwas phantastisch genannt wird, ist eine Erfindung von R. J. Strutt. Sie ist ein weiteres Beispiel für ein angebliches „Perpetuum mobile“. Fig. 42 zeigt eine Skizze derselben in halber natürlicher Größe. Sie besteht aus einem Elektroskop, welches an dem unteren Ende einer kleinen Glasröhre aufgehängt ist; die letztere enthält eine Spur Radium. Das Rohr wird in einem größeren luftleeren Glasgefäße befestigt.

Zu den „Emanationen“ des Radiums, d. h. den infolge des Atomzerfalls vom Radium strahlenartig nach allen Richtungen ausgehenden feinen Stoffmengen, gehören die „Alphastrahlen“. Diese sind unfähig,

die innere Glaswand zu durchdringen, und zwar, wie man annimmt, weil sie aus verhältnismäßig großen Gruppen von davonsfliegenden Korpuskeln bestehen. Ferner gehen vom Radium die „Betastrahlen“ aus, deren Stoffteilchen, wie man annimmt, nur  $\frac{1}{2000}$  der Teilchen der Alphastrahlen wiegen und zehnmal so schnell sich bewegen wie diese. Die Betastrahlen finden ihren Weg durch die Glaswände und verlassen die Radiumröhre. Ihre Teilchen sind nun mit negativer Elektrizität geladen, welche sie mit sich fortnehmen, die der Alphastrahlen sind positiv geladen. Die Folge von allem ist, daß in der Radiumröhre eine Anhäufung positiver Elektrizität stattfindet, welche durch elektrische Verteilung eine Anhäufung positiver Elektrizität in den Blättern des Elektroskops verursacht.

Sind so beide Blätter mit derselben Elektrizität geladen, so beginnen sie, sich voneinander zu entfernen, wie gleiche magnetische Pole es auch tun. Indem die Ladung zunimmt, nimmt auch die gegenseitige Entfernung zu, bis die Blätter die beiden Metallplatten, die an den Seiten der Röhre angebracht sind, berühren. Diese Platten, welche durch das Glas hindurch metallische Verbindung mit der Erde haben, entladen die Blättchen und lassen sie wieder zusammenfallen.

Aber das Radium ruht nicht, eine frische Ladung positiver Elektrizität ist bald wieder aufgespeichert, und die Trennung der Blätter wiederholt sich, ebenso wie auch das Wiederzusammenfallen.

Dieser Vorgang kann allem Anschein nach sich unendlich oft wiederholen, nicht nur Monate, sondern jahre- und jahrhunderte lang.

Und dabei wird keine neue Triebkraft von außen geliefert, um die Bewegung aufrecht zu erhalten. Keine Kohle wird verbrannt, keine Dynamomaschine getrieben, keine Reibung verursacht, keine mechanische Bewegung dem Apparat mitgeteilt. Hier scheinen wir also ein Perpetuum mobile gefunden zu haben.

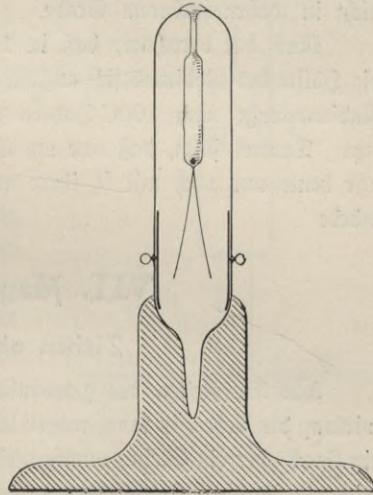


Fig. 42. Die Radiumuhr.

Die Vorrichtung wird eine „Uhr“ genannt, weil die Bewegung der Blättchen in so regelmäßigen Zwischenräumen stattfindet wie der Pendelschlag einer Uhr und weil man in der Tat eine Art Uhr in dieser Weise herstellen könnte.

Was nun aber die immerwährende Bewegung anbetrifft, so verhält es sich doch wohl anders. Die Theorie nimmt, wie schon erwähnt, an, daß fortwährend Atome zerfallen und verschwinden; durch diesen Verlust verringert sich die Masse des Radiums, wenn auch zunächst nicht in wahrnehmbarem Grade.

Man hat berechnet, daß in 1000 Jahren auf diese Weise etwa die Hälfte des Radiums sich auflöst, so daß die Wirkung einer gewissen Radiummenge nach 1000 Jahren nur halb so groß sein würde wie jetzt. Daraus folgt, daß eine um Christi Geburt konstruierte Radiumuhr heute nur noch mit  $\frac{1}{4}$  ihrer ursprünglichen Geschwindigkeit gehen würde.

## VII. Magnetismus.

### Ziehen ohne Tau.

Alle Tätigkeiten des gewöhnlichen Lebens, bei denen von Fernwirkung die Rede sein kann, tragen den Charakter der Abstoßung. Wenn ein Stock oder ein Stein geworfen, ein Pfeil oder eine Kugel abgeschossen wird, so ist die erste Wirkung auf den getroffenen Gegenstand, daß er zurückgestoßen wird. Wir können die Erscheinung als ein „indirektes Stoßen“ oder als ein „Stoßen auf Entfernung“ bezeichnen. Jeder versteht den Vorgang ohne Weiteres. Sogar einige Tiere, nämlich die Affen, erlernen das Werfen und zeigen „Verständnis“ für seine Wirkungen.

Anders steht es mit der entgegengesetzten Erscheinung, der „Anziehung auf Entfernung“. Diese liegt jenseits der Erfahrung aller Geschöpfe mit Ausnahme der gebildeten Leute. Um Früchte von einem Baume zu erlangen, bedienen wir uns eines Stockes, der mit einem Haken versehen ist. Zum Landen benutzen wir einen Bootshaken, um das Boot zu ziehen ein Tau. Zum Aufwinden der Kohlen nehmen wir ein Seil und zum Herausziehen eines Eimers aus dem Brunnen eine Kette oder ein Tau. In allen diesen Fällen kann man nicht von einem „Ziehen auf Entfernung“ reden, denn die Entfernung ist durch irgendeine Verbindung überbrückt worden.

Daher ist des Kindes Erstaunen ohne Grenzen, wenn es zum ersten Mal eine magnetische Ente sieht, die ohne Verbindung, nur durch Annäherung eines Magneten gezogen wird. Es ist um eine Erfahrung ganz neuer Art reicher geworden.

Im späteren Leben gewöhnen wir uns mehr an den Gedanken des „Ziehens auf Entfernung“. In gewissem Sinne kann man schon das „Aufsaugen“ von Wasser durch eine Pumpe hierher rechnen. Je weiter sich unsere Kenntnisse mehren, desto mehr Beispiele werden uns geläufig. Alle Körper der uns bekannten Welt scheinen gegenseitig eine Anziehung aufeinander auszuüben. Wir sehen, wie der Stein zur Erde fällt, wie der Mond in gesetzmäßigem Abstände von ihr gehalten wird, statt sich geradlinig von der Erde fortzubewegen. Überall im Weltraum machen wir entsprechende Wahrnehmungen, kurz, wir erkennen das Newtonsche Gesetz von der allgemeinen Massenanziehung oder Gravitation. Schließlich lernen wir, Schiffe mittels Herzschacher Wellen der Küste zuzusteuern, ohne daß sie irgendeine sichtbare Stoffverbindung mit derselben haben.

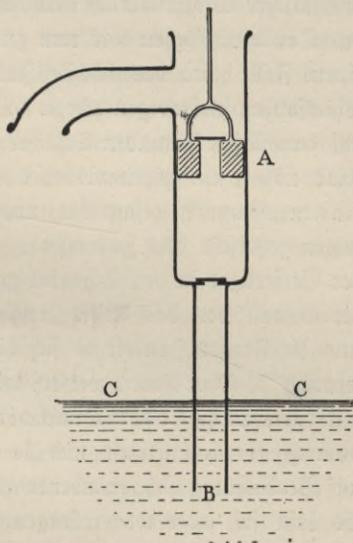


Fig. 43. Saugpumpe.

Was man bei der Pumpe (Fig. 43) „Saugen“ nennt, ist bekanntlich durchaus keine geheimnisvolle Kraft, durch welche der Kolben A das Wasser von B in die Höhe zieht. Der Kolben hebt lediglich die Luft, welche sonst mit einem Gewicht von 1 kg auf je einen Quadratcentimeter der Wasseroberfläche lasten würde. Auf das übrige Wasser bei C fährt die Luft fort, jenen Druck auszuüben, und da das Wasser flüssig ist, pflanzt es den Druck gleichmäßig nach allen Richtungen, auch nach oben hin, fort. Das Wasser bei B wird daher durch diesen Druck nach oben getrieben, nachdem der Gegenruck durch den Kolben hinweggeräumt ist. Das Wasser steigt also bei B durch einen Druck, den es von unten her erfährt, und nicht durch ein Ziehen von oben.

Hier haben wir also den Fall, wo ein Vorgang, der uns als Ziehen, Saugen oder Anziehung erscheint, in Wirklichkeit sich durch indirektes Stoßen erklärt.

Alle sogenannten Saugvorrichtungen wie zum Beispiel das Saugleder, jenes bekannte Knabenspielzeug, die Fußballen der Fliege, das Aufziehen des Rauches durch ein Pfeifenrohr, das Schlürfen von Getränken mittels Strohhalmen erklären sich, wenn man sie genauer prüft, in ähnlicher Weise, nämlich durch einseitige Aufhebung oder Verringerung des Druckes. Gehen wir nun zu einem schwierigeren Falle über, zu einem Falle, der das höchste Interesse und Erstaunen der kindlichen Philosophen zu erregen pflegt. Da schwimmen auf dem Wasser einer auf dem Tische stehenden Schüssel ein paar Enten und Schwäne. Das Kind nähert ein geheimnisvolles Stück Stahl, für das man ihm den Namen „Magnet“ gesagt hat, und — siehe da! — Schwan und Ente folgen gehorsam dem Zauberstabe. Ein Stückchen Eisendraht, das ihnen der Verfertiger in den Schnabel gesteckt hat, bringt sie für immer unter die Gewalt des das Eisen „anziehenden“ Magneten. Da erhebt sich nun die Frage: Handelt es sich hier wirklich um ein „Ziehen auf Entfernung“? Oder haben wir es, wie bei der Saugpumpe, in Wirklichkeit mit einer Stoß- oder Druckwirkung zu tun, welche gleichsam aus dem Hinterhalt wirkt und so die Körper einander nähert? Eine auf Beobachtung sich gründende Antwort läßt sich hierauf nicht geben. Es läßt sich aber weiter fragen: Welche Annahme ist die wahrscheinlichere und von welchen der beiden Möglichkeiten können wir uns ein mechanisches Bild machen?

Nun gibt es mehrere Erscheinungsgruppen, die uns beim Suchen nach mechanischen Vorstellungen alle in dieselbe Richtung weisen. Erstens gehört hierher das mechanische „Saugen“, von dem wir schon wissen, daß es sich bei genauerer Prüfung als die Folge eines Stoßens oder Drückens, nämlich des Luftdruckes, erweist. Zweitens führen auch die Vorstellungen, die man sich von der Natur des Schalles, der Wärme, des Lichtes und der Elektrizität macht, zu der Annahme, daß das Ziehen durch Stoßen zu erklären sei. So wird der Schall nachweislich von schwingenden Körpern mittels Stoßwirkung auf andere Körper, mit denen sie in Verbindung stehen, übermittelt. Die Wärme haben wir uns schon in früheren Abschnitten als einen Schwingungszustand der Moleküle gedacht, der wieder durch Schwingung und Stoß auf andere Körper

übertragbar ist. Auch das Licht denkt man sich durch wellenförmige Schwingungen (und zwar eines sehr feinen, alle Körper durchdringenden Stoffes, des Weltäthers) erzeugt und fortgepflanzt. An das Licht schließt sich die Elektrizität, deren Erscheinungen vielfache Analogien mit den anderen Erscheinungsgruppen aufweisen. Wir wissen ferner, daß in einem Elektromagneten die magnetische Energie von den elektrischen Strömen stammt, welche in einem Draht um den Eisenkern kreisen. Die magnetische Energie stammt also offenbar von der Energie der elektrischen Schwingungen in dem Drahte her. Da der Draht den Magneten nicht berührt, müssen wir annehmen, daß die Schwingungen von dem Draht auf das Eisen durch Vermittelung eines dazwischen befindlichen Etwas (vielleicht des Äthers) übertragen werden. Höchst wahrscheinlich erfolgt aber die Umwandlung von einem Stück weichen Eisens in einen Magneten durch das Auftreten einer besonderen Art von Schwingungen in den kleinsten Eisenteilchen. Überall liegt, wie man sieht, die Vorstellung des Schwingens und Stoßens zugrunde.

Nun kommt hinzu, daß es wohl möglich ist, sich einen Mechanismus vorzustellen, der mit Hilfe von Schwingungen und Stößen entfernter Gegenstände einander nähern kann, während es nicht gelingt, sich ein wirkliches Ziehen auf Entfernung durch mechanische Vorgänge erzeugt zu denken. Eine Annahme muß ja allerdings nicht notwendigerweise wahr sein, weil wir sie begreifen können, oder unrichtig, weil wir sie nicht begreifen. Wenn aber von zwei entgegengesetzten Erklärungen einer Erscheinung die eine mit den allmählich entwickelten Grundsätzen der Wissenschaft übereinstimmt, während die andere ihnen widerspricht, so kann wohl die erste Erklärung beanspruchen, vorgezogen zu werden. Das trifft, wie wir sahen, für die Erklärung der magnetischen Anziehung durch Stoßwirkung zu.

Daß aber wirklich Mechanismen erdonnen werden können, die das durch Stoß leisten, was uns als Zug erscheint, soll durch das folgende Beispiel gezeigt werden. Nehmen wir an, *A* und *B* (Fig. 44) seien zwei Stoffteilchen und die übrigen Abschnitte des Ringes Teilchen des sie umgebenden Mediums, also etwa des Äthers. Eine Seitenansicht der Ätherteilchen in vergrößertem Maßstabe ist im Innern des Ringes dargestellt. *C* und *D* sind Teile, die ähnlich wie die Schenkel eines Zentrifugalregulators miteinander verbunden sind. Wenn sich das Ätherteilchen um seine horizontal liegende Achse dreht, so versuchen sich

die Massen bei *C* und *D* infolge der Zentrifugalkraft zur Seite zu bewegen. Dabei drücken sie die Spiralfeder in der Mitte zusammen. Das Bestreben der Massen *C* und *D*, sich nach außen zu bewegen, und die Spannkraft der Feder halten einander stets das Gleichgewicht. Je nach der Umdrehungsgeschwindigkeit nähern sich *E* und *F* einander oder sie entfernen sich voneinander. Bei *E* und *F* finden sich Verbindungs-

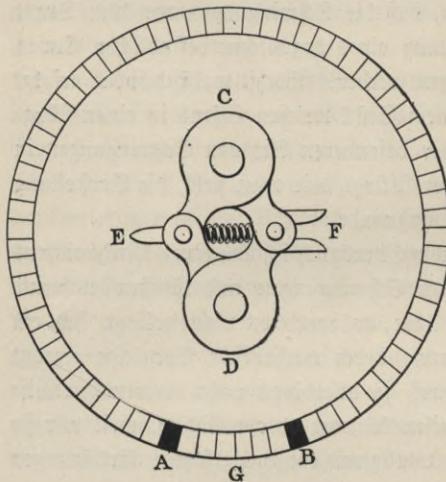


Fig. 44. Zur Erklärung der Anziehung durch Abstoßung.

einander durch Stoß zu bewegen, bleibt ihnen jedoch. Schließlich müssen wir uns die Teilchen in eine kreisförmige Röhre eingeschlossen denken, in welcher sie sich reibungslos bewegen können. Nun lassen wir das Stoffteilchen *A* eine besondere Art von Bewegung ausführen, durch welche es die Umdrehungen der Mediumteilchen zwischen *A* und *B* beschleunigen kann, während es die Umdrehungen der übrigen Teilchen verlangsamt. Die beschleunigte Umdrehung der ersten Teilchen bewirkt eine Verkürzung der Achse *EF*. Die Teilchen stoßen also nicht mehr so hart aneinander. Da sich die Teilchen in dem größeren Teile des Ringes langsam drehen, verlängert sich hier die Achse *EF*, und die Teilchen drängen sich dichter aneinander. Die Ätherteilchen in dem größeren Ringabschnitt drücken jetzt stärker gegen die Stoffteilchen *A* und *B* als die Ätherteilchen zwischen *A* und *B*. Deshalb müssen sich *A* und *B* einander nähern. Wie man sieht, sind sie nicht gezogen, sondern von den Mediumteilchen durch Stoß einander genähert worden. Was in Wirklichkeit Stoßwirkung ist, wird aber wenn wir den Mechanismus nicht kennen, wie Anziehung aussehen.

Es braucht wohl kaum noch besonders betont zu werden, daß das Vorhergehende durchaus nicht eine Vermutung bezüglich der wirklichen Verbindungsart von Materie und Äther oder bezüglich der Art, wie Elektrizität und Magnetismus wirken, darstellt. Die Verhältnisse werden in Wirklichkeit außerordentlich viel komplizierter sein. Jedes Stoffatom ist anzusehen als eine Gruppe von Korpuskeln (vgl. S. 116). Diese führen Bewegungen aus, die an Kompliziertheit vielleicht mit denen des Sonnensystems vergleichbar sind. Der Bau der Ätherteilchen ist möglicherweise einfacher, aber doch weit davon entfernt, wirklich einfach zu sein. Ferner beschränken sich die Richtungen, in denen die Teilchen aufeinander wirken, natürlich nicht auf einen Ring oder auf eine Anzahl von Ringen, sondern strahlen nach allen Seiten aus. Der Zweck unseres Beispiels war ja auch nur, zu zeigen, daß es möglich ist, mechanische Vorrichtungen zu ersinnen, deren Wirkung wie Anziehung erscheint und doch nichts weiter als Stoß ist.

Ist es nun gleicherweise möglich, Apparate zu erdenken, in welchen Körper, die nicht fest miteinander verbunden sind, mittels mechanischer Kräfte wirklich einander anziehen? Die Antwort muß lauten: nein! Die einzigen Mittel, zu ziehen, die wir uns denken können, sind Draht, Seil, Haken, Kette usw. Damit würden wir aber die feste Verbindung in unsere Betrachtung einführen, die wir gerade von vornherein ausschließen müssen. Deshalb kann die magnetische Anziehung, wenn sie anschaulich gemacht werden soll, nur als die Folge von Stoßwirkungen aufgefaßt werden, welche außerhalb der einander genäherten Körper gleichsam einen Kreis bilden, wie es die Figur 44 sehr schematisch darstellt.

Es bleiben uns noch die Tatsachen der allgemeinen Massenanziehung oder Gravitation zu betrachten übrig. Jeder Körper des Universums verhält sich bekanntlich so, als ob er jeden anderen anzieht, wie weit dieser auch entfernt sein mag; wo deshalb nicht andere Einflüsse die Wirkung aufheben, da sehen wir schließlich die Körper sich miteinander vereinigen. Das nächstliegende Beispiel dafür ist das Fallen der Körper zur Erde hin. Läßt sich nun auch diese Gravitation als die Folge von Stoßwirkungen auffassen?

Von den Theorien über die Massenanziehung ist die einzige, welche in sich und mit den Tatsachen harmoniert, die von Le Sage. Sie nimmt an, daß der Raum, außer von Stoffteilchen noch von kleinen, sehr schnell

sich bewegenden Teilchen (Ätherteilchen) erfüllt ist, die sich ähnlich wie Gasmoleküle nach allen Richtungen bewegen und häufig miteinander und mit anderen Körpern zusammenstoßen. Sie stoßen also jeden Gegenstand nach jeder Richtung, und im allgemeinen werden ihre Wirkungen sich gegenseitig aufheben. Wenn aber 2 Körper einander nahe sind, so werden sie sich gegenseitig Schutz gewähren vor vielen von den Stößen, von denen sie sonst getroffen wären. Während sie bei unveränderter Zahl von Stößen mit gerade so großer Energie voneinander fort wie zueinander hingetrieben würden, überwiegt jetzt die „Annäherungsenergie“. Sie werden somit zueinander hingetrieben. Wir aber sagen: „Sie ziehen sich gegenseitig an.“ Es läßt sich durch eine mathematische Betrachtung auch leicht zeigen, daß die Kraft, mit der sie einander zugetrieben werden, umgekehrt proportional dem Quadrat der Entfernung ist. Es ergibt sich aus dieser Vorstellung ohne weiteres das bekannte Gravitationsgesetz.

Die Theorie hat gewisse Schwächen, und der Verfasser der englischen Ausgabe dieses Buches hat in seinem Buch über das Radium Verbesserungen vorgeschlagen, welche diese Teile der Theorie verstärken und sie in Übereinstimmung mit den neueren Vorstellungen von dem Bau der Materie bringen sollen. Das aber kann unbedingt behauptet werden, daß die Theorie von Le Sage die einzige verständliche und brauchbare Erklärung der Gravitation ist.

So ist denn wieder einmal das, was wir Anziehung nennen, nicht als eine besondere Kraft, sondern nur als ein besonderer Fall indirekter Stoßwirkung aufgefaßt. Es ist wahrscheinlich, daß man dasselbe Prinzip auch bei der Kohäsion, also der Anziehung der kleinsten Teilchen, wenn sie in außerordentlich inniger Berührung sind, anwenden kann und daß sich so die Festigkeit des Eisens und die Haltbarkeit des Seidenfadens erklären läßt.

Es ist deshalb Grund zu der Annahme vorhanden, daß Anziehungen aller Art, von der universellen Newtonschen Gravitation bis zu den Ausprägungen der Kohäsion, des Magnetismus und der chemischen Anziehung, sich als indirekte Stoßwirkung auffassen lassen. Die Anziehung im gewöhnlichen Sinne würde dann gar nicht als eine besondere Energieform existieren; sie wäre lediglich ein besonderer Fall der Stoßenergie.

Dritter Teil.

Chemische Paradoxe.



# I. Merkwürdige chemische Vereinigungen.

## 1. Das Feuer als Wasserquelle.

Wir sind gewohnt, die Wärme, ganz besonders aber die Flamme, mit dem Begriff vollständiger Trockenheit zu verbinden; tatsächlich aber führt eine Flamme der Luft beständig Feuchtigkeit zu. Ein Experiment wird uns davon überzeugen.

*ABC* (Fig. 45) ist eine dünnwandige Kupferröhre, die mit Eisstücken und Wasser gefüllt ist. Die äußere Röhre besteht aus irgendeinem beliebigen Material und läßt einen Hohlraum zwischen sich und der inneren Röhre frei. Falls *DE* auch aus Kupfer ist, kann man den oberen Rand 2—3 cm weit einschneiden und die Enden nach innen biegen, damit sie den oberen Rand der inneren Röhre stützen helfen; man darf aber nicht versäumen, für freien Austritt der Verbrennungsgase der Flamme (*B*) des Bunsenbrenners oder der Spirituslampe zu sorgen. Wird der Apparat nun über eine solche Flamme gehalten, so wird sich sehr bald an der Außenseite der inneren Röhre eine tauähnliche Flüssigkeit zeigen. Die Tröpfchen vergrößern sich schnell zu großen Tropfen, welche an der Röhre hinunterlaufen und bei *B* herunterfallen, entweder in die Flamme, von der sie vernichtet werden, oder in irgendeinen Behälter, welcher sie auffängt und sammelt.

Die Einrichtungen für diesen Zweck können auch anders sein, wenn sie nur dahin zielen, den in der Flamme entstehenden Wasserdampf durch Abkühlung zu kondensieren. Die innere Röhre kann zum Beispiel aus einem Stück Bleirohr, das man an einem Ende zusammengelöpft hat,

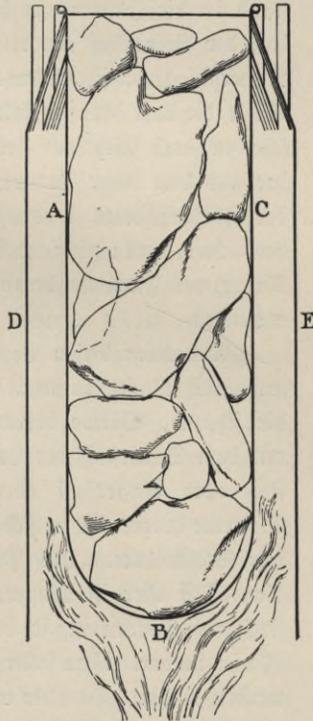


Fig. 45. Entstehung von Wasser in einer Flamme.

oder einem großen Reagenzglas bestehen. Die äußere Röhre dagegen, die dazu dient, die Verbrennungsgase aufzufangen und an der inneren Röhre entlangzuführen, ist nicht unumgänglich notwendig. Die Tatsache kann auch schon durch jeden kalten Gegenstand (eine Messerklinge oder ein Glas), wenn man ihn für einen Augenblick über eine Flamme hält, gezeigt werden; es wird sich gleich ein Niederschlag von Feuchtigkeit auf der Oberfläche bemerkbar machen. Bei einer gewöhnlichen Gas-, Kerzen- oder Petroleumflamme muß man sich aber hüten, den Gegenstand in die Flamme zu halten. Die Abkühlung bewirkt es nämlich, daß der Brennstoff nur unvollkommen verbrennt, und die Folge ist ein Niederschlag von schwarzem Kohlenstoff, den man dann als Ruß bezeichnet. Wenn die Luft draußen kalt ist, so bildet sich bekanntlich an den Fensterscheiben auch leicht ein Feuchtigkeitsbeschlag, „Fensterchweiß“ genannt, der aus dem Atem stammt, dessen Wasserdampf sich an der Innenseite der Fensterscheiben kondensiert hat. Das gleiche Resultat kann man beobachten, wenn niemand im Zimmer atmet, wenn aber eine genügende Anzahl von Flammen brennt, die ihre Verbrennungsprodukte ins Zimmer entfenden.

Aus allen diesen Beobachtungen geht hervor, daß in der Flamme tatsächlich Wasser entsteht. Wie erklärt sich das? — Verbrennung ist die schnelle, Wärme hervorbringende Vereinigung verschiedener Stoffe mit dem Sauerstoff der Luft. Fast alle Brennstoffe enthalten Kohlenstoff oder Wasserstoff oder beides. Oft kommen auch noch andere Elemente hinzu. Wenn sich Kohlenstoff mit Sauerstoff verbindet, erhalten wir Kohlenäure. Das Produkt der Vereinigung von Wasserstoff und Sauerstoff aber ist Wasser, und da Wasserstoff fast immer in Brennstoffen vorhanden ist, so bringen unsere Flammen auch wirklich immer Wasser hervor. Man sollte meinen, daß diese Tatsache häufiger beobachtet werden müßte. Da aber warme Luft und warme Gase größere Mengen von unsichtbarem Wasserdampf aufnehmen können, so kommt es, daß das Wasser, obgleich es stets in der Flamme entsteht, nicht leicht gesehen wird.

## 2. Das Wasser als Wärmequelle.

Daß das Wasser, welches man für gewöhnlich zum Löschen des Feuers braucht, auch in der Lage sein soll, solches zu verursachen und zu unterhalten, das klingt wirklich sehr widersinnig. Dennoch ist es in gewissem Sinne wahr.

Das Wasser besteht aus zwei Raumteilen Wasserstoffgas und einem Raumteil Sauerstoff. Sauerstoff ist ein Grundstoff, der sich leicht mit Natrium und Kalium verbindet, so leicht, daß, wenn eins von beiden auf Wasser geworfen wird, der Sauerstoff sich von dem Wasserstoff, mit dem er im Wasser verbunden ist, losreißt und der Wasserstoff frei wird.

Wir wissen, daß zwei Körper, die heftig aufeinander treffen, als Resultat des Stoßes Wärme entwickeln. Wenn man z. B. ein kleines Stück Eisen zwischen Hammer und Amboss bringt, so kann dasselbe durch die Schläge des ersteren rotglühend gemacht werden.

In ähnlicher Weise entwickelt sich nun in der Regel Wärme, wenn Atome von Elementen, die das Bestreben haben, sich miteinander zu vereinigen, aufeinander treffen und eine chemische Verbindung bilden.

In unserem Beispiel vereinigt sich der Sauerstoff so heftig und unter Entfaltung so großer Wärme mit dem Natrium und Kalium, daß der entweichende Wasserstoff (beim Kalium immer, beim Natrium oft) zu brennen anfängt. Durch die Einwirkung von Wasser auf diese Metalle entsteht also in der Tat Wärme, ja sogar eine Flamme.

Alkohol, der, wie man weiß, noch in anderem Sinne eine außerordentlich große Wärmequelle birgt, wird durch hinzugegossenes Wasser keineswegs immer abgekühlt. Tut man zu einem Teil reinen Alkohols einen Teil Wasser, das weder wärmer noch kälter als der Alkohol ist, und vermischt die beiden Stoffe miteinander, so erhält man eine deutliche Temperaturerhöhung.

Die Erscheinung wird noch viel deutlicher bei der Vermischung von Wasser mit Schwefelsäure, oder der Auflösung von Ätkali oder Ätznatron in Wasser. Die hierdurch erzeugte Wärmemenge ist so groß, daß ein Glasgefäß dabei zerspringen kann. Die durch diese Vorgänge gewonnenen Flüssigkeiten sind dermaßen äzend, daß man ganz außerordentlich vorsichtig sein und darauf bedacht sein muß, das Experiment an einem dafür passenden Plage auszuführen. Falls man auf starke Schwefelsäure einen Tropfen oder eine kleine Menge Wasser gießt, wird das Wasser so plötzlich und heftig erwärmt, daß durch die schnelle Verdampfung eine Art Explosion hervorgerufen werden kann, durch die möglicherweise etwas von der äzenden Flüssigkeit herausgeschleudert wird. Es ist daher notwendig, die Mischung so herzustellen, daß man die Schwefelsäure langsam und vorsichtig in das Wasser gießt, nicht umgekehrt.

Ziemlich häufig hat man Gelegenheit, sich davon zu überzeugen, daß gebrannter Kalk, sobald man zu demselben Wasser fügt, Wärme hervorbringt. Oft sieht man — bei Neubauten — das Wasser geradezu ins Kochen geraten. Diese Methode wird übrigens neuerdings an Orten, wo es an Feuerungsmaterial fehlt, zum Wärmen von Nahrungsmitteln angewandt. Die Speise wird in ein Zinngefäß A (Fig. 46)

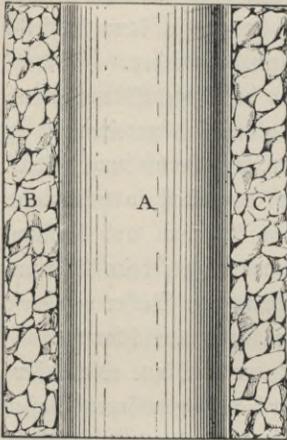


Fig. 46. Vorrichtung zum Wärmen von Speisen durch Kalk und Wasser.

getan. Dieses ist von einem anderen Behälter, der gebrannten Kalk enthält und luftdicht verschließbar ist, umgeben.

Wird nun warme Nahrung gewünscht, so öffnet man das äußere Gefäß und gießt Wasser über den Kalk. Die beiden Stoffe erzeugen bei ihrer Vereinigung Wärme genug, um den Inhalt des inneren Gefäßes auf eine ziemlich hohe Temperatur zu bringen.

Eine noch merkwürdigere Wirkung jedoch erhält man, wenn man über Baryt Wasser gießt. Der Baryt ist ein Stoff von ähnlicher Beschaffenheit wie der Kalk. Wenn ein nicht leicht springendes Glasgefäß mit Barytstückchen, welche ganz frei

von Feuchtigkeit sind, angefüllt und dann Wasser in die Zwischenräume gegossen wird, so wird die Wärme, die sich bei der Vereinigung bildet, das Wasser bald zum Sieden bringen; es dauert nicht lange, so sieht man durch das Glas hindurch, daß einige der Barytstücke rotglühend sind. Eine so bedeutende Wärmemenge kann also durch die Anwendung von kaltem Wasser hervorgerufen werden.

In ähnlicher Weise sieht man übrigens oft auch jugendliche Enthusiasten in helles Feuer geraten, wenn sie einen ihrer Lieblingspläne durch einen kalten Wasserstrahl vernichtet sahen.

### 3. Stoffe, die gleich zusammengesetzt und doch ungleich sind.

Leute, die keine Kenntnisse aus der Chemie haben, sind höchst erstaunt, wenn sie erfahren, daß ein und dasselbe Element ganz verschiedene Gestalten annehmen kann.

Obgleich wir uns sehr bald daran gewöhnen, erscheint es uns doch anfangs schon seltsam genug, wenn wir finden, daß ein Element, wenn es sich mit einem anderen verbindet, seine Beschaffenheit gänzlich verändert. Der Sauerstoff, den wir als Gas aus der Luft einatmen, bildet in Verbindung mit einem anderen Gase, dem Wasserstoff, eine Flüssigkeit, die wir als Wasser trinken, und in Verbindung mit dem festen Silicium (Kieselstoff) den festen Quarz, den Feuerstein oder den Sand.

Ein Element kann aber auch sein Aussehen und Verhalten ändern, ohne daß es sich mit einem anderen Elemente vereinigt. So ist es z. B. beim Sauerstoff. Die Chemiker sind zu der Ansicht gelangt, daß jedes Molekül des Sauerstoffs aus 2 Atomen besteht. Wenn aber 3 Atome sich miteinander vereinigen, so entsteht ein ganz anderes Gas, nämlich das Ozon.

Schwefel ist in gelben Krystallen bekannt, die noch dazu 2 ganz verschiedene Formen haben können, außerdem aber auch als eine weiche, klebrige Masse, die man amorphen Schwefel nennt. Phosphor kann als gelber, fester Körper vorkommen, der sich mit dem Messer schneiden läßt, sehr giftig und so leicht entzündlich ist, daß er oft ohne äußere Temperaturerhöhung zu brennen anfängt. Er kann aber auch von roter Farbe, ungiftig und schwer entzündlich sein.

Solche verschiedenen Formen desselben Stoffes nennt man allotropische Formen. Das merkwürdigste Beispiel dafür liefert der Kohlenstoff, der als Diamant, Graphit und als künstlicher amorpher Kohlenstoff (Ruß) bekannt ist. Daß es sich jedesmal um dasselbe Element handelt, geht daraus hervor, daß bei der Verbrennung von allen 3 Stoffen derselbe Stoff, nämlich Kohlensäure entsteht. Dabei zeigt sich auch, daß gleiche Gewichtsmengen der 3 Kohlenstoff-Formen zu gleichen Mengen von Kohlensäure verbrennen. Dagegen ist die dabei entstehende Wärmeenergie verschieden. Der amorphe Kohlenstoff erzeugt am meisten Wärme, der Diamant am wenigsten.

Da auch Kohlen (Steinkohle, Anthrazit) wesentlich aus Kohlenstoff bestehen, so wendet man mit einem gewissen Rechte auf sie den halb scherzhaften Ausdruck „schwarze Diamanten“ an.

Was wir nun von den Elementen gesehen haben, gilt auch von den chemischen Verbindungen; man bezeichnet die Erscheinung dann mit dem Ausdruck Isomerie. So sind z. B. das Gas Äthylen und

die Flüssigkeit Benzol aus denselben Elementen nach gleichem Gewichtsverhältnis zusammengesetzt. Die Verschiedenheit ihrer Eigenschaften hängt nur davon ab, daß ihre Moleküle von verschiedener Größe und von verschiedenem Bau sind.

Es gibt auch drei Sorten von Weinsäure oder Weinsteinensäure, welche alle die gleiche Menge Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten. Jedoch wirken sie alle drei verschieden auf das polarisierte Licht. Eine Auflösung der einen dreht die Polarisationsebene nach rechts, eine Lösung der anderen nach links, während die dritte die Polarisationsebene gar nicht dreht.

Dextrose (Traubenzucker) ist eine Zuckerart, die ihren Namen daher hat, daß sie die Polarisationsebene rechts dreht.<sup>1)</sup> Sie wird aus süßen Früchten gewonnen. In diesen findet sich eine gleiche Menge eines anderen Zuckers, der Lävulose (Fruchtzucker) heißt, weil er die Polarisationsebene links dreht.<sup>1)</sup> Jede dieser beiden Zuckerarten besteht aus Molekülen, von denen jedes sechs Atome Kohlenstoff, sechs Atome Sauerstoff und zwölf Atome Wasserstoff enthält.

Terpentinöl, Zitronenöl und Lavendelöl enthalten alle als Hauptbestandteil Stoffe, deren Moleküle aus 10 Atomen Kohlenstoff und 16 Atomen Wasserstoff bestehen, und doch sind diese Stoffe untereinander ganz verschieden.

Man sieht also, daß Mutter Natur in ihrer Küche aus denselben Zutaten, zu gleichen Teilen angewandt, sehr verschiedenartige Gerichte kochen kann. Und dabei sind diese Zutaten gar so wenig verändert, daß man sie schließlich wieder in den Zustand zurückversetzen kann, in dem sie sich befanden, ehe das Kochen anfang.

## II. Atomzerfall.

### 1. Der Stein der Weisen.

Im Mittelalter suchte man eifrig nach dem „Stein der Weisen“, jenem geheimnisvollen Stoff, der imstande sein sollte, alle Metalle oder wohl gar alle Dinge durch seine Berührung in Gold zu verwandeln. So bemühten sich denn die Alchymisten vor allem darum, alle Mittel kennen zu lernen, welche fähig sind, einen Stoff in einen andern zu

1) dexter = rechts; laevus = links.

verwandeln. Sie setzten das festeste Vertrauen in ihre Kunst, da es ihrer Meinung nach nur darauf ankam, die Geheimnisse jener Kunst kennen zu lernen. Von ihren Grenzen hatten sie dagegen eine sehr mangelhafte Vorstellung.

Ihr Glaube an die unbegrenzte Veränderlichkeit der Eigenschaften von Stoffen mußte um so fester werden, je zahlreichere wunderbare Veränderungen tatsächlich durch ihre Bemühungen ans Tageslicht gefördert wurden. Nachdem man gesehen hatte, daß es möglich sei, die festen Metalle Gold und Silber zu klaren Flüssigkeiten aufzulösen und sie daraus wieder zu gewinnen, war es wohl zu entschuldigen, wenn sie nun glaubten, daß der menschlichen Kraft in dieser Beziehung keine Grenzen gezogen seien.

Erst die moderne chemische Wissenschaft lehrte uns, daß die Dinge stets das bleiben, was sie sind, und daß sie nie zu etwas anderem werden können. Ob das Silber nun gelöst oder wieder gefällt wird, ob es mit anderen Stoffen verbunden oder wieder von ihnen getrennt wird, ob es in fester und undurchsichtiger oder flüssiger und durchsichtiger Gestalt erscheint, es bleibt während aller Veränderungen stets dieselbe Menge Silber wie ursprünglich, und durch geeignete Mittel kann diese bestimmte Menge immer wieder gewonnen werden. Von einem Zentner Silber kann kein Körnchen in ein anderes Metall verwandelt werden, ebensowenig wie man ein Körnchen eines anderen Metalls in Silber umsetzen könnte.

Die Kenntnis der Zusammensetzung der Dinge in der Welt wurde ganz unendlich vereinfacht, als man fand, daß die komplizierten Verbindungen, die uns umgeben, zerlegt werden konnten in etwa 70 einfache Stoffe, die Elemente genannt wurden und welche in ihren verschiedenen Verbindungen die mannigfaltigen Stoffe bilden, die uns umgeben.

Und je weiter die Forschung vordrang, desto fester wurde auch die Überzeugung, daß jegliches Element ewig unveränderlich sei, daß kein Element durch irgend welche Mittel in ein anderes verwandelt werden könne.

Hiermit eng verbunden entwickelte sich die Lehre von den Atomen, den kleinsten Teilchen der Elemente, die man, wie ja auch der Name sagt, als unteilbar und unvergänglich ansehen lernte. Die Lehre von den unveränderlichen Atomen schließt, wie man sieht, die Lehre von

der unveränderlichen Natur der Elemente ein. Diese Lehre nun, die wichtigste Grundlage der bis zu einem so hohen Grade der Vollkommenheit entwickelten modernen Chemie, ist die modernste Chemie im Begriff, teilweise wieder aufzugeben.

Die durch die merkwürdigen Eigenschaften des Radiums veranlaßten Untersuchungen haben zu dem Schluß geführt, daß ein Teil der Atome, aus denen die Elemente bestehen, beständig in kleinere Teile, die Korpuskeln zerfallen, und daß die überraschenden Eigenschaften des Radiums, durch die es sich von den anderen Dingen unterscheidet, darauf zurückzuführen sind, daß bei ihm dieser Atomzerfall größeren Umfang annimmt.

Nun erheben sich die Fragen: Was wird aus den Teilen, die durch die sich auflösenden Atome frei werden? Und was wird aus den zurückbleibenden Teilen? Eine teilweise Lösung der ersten Frage erhielten wir vor einigen Jahren durch den Londoner Physiker William Ramsay. Dieser Forscher hatte in einem kleinen Röhrchen etwas von jenen Zerfallsprodukten, den sogenannten „Emanationen“ des Radiums, untergebracht. Als er nach einer Woche den Inhalt der Röhre mit dem Spektralapparat untersuchte, fand er, daß das Spektrum sich verändert hatte und deutlich die vorher nicht sichtbar gewesenen Spektrallinien aufwies, an denen man die Gegenwart des Gases Helium erkennt. Ramsay selbst hatte einige Jahre früher dieses Element auf der Erde entdeckt, nachdem man aus dem Ergebnis der spektralanalytischen Untersuchung der Sonnenatmosphäre schon längst den Schluß gezogen hatte, daß dort ein auf der Erde noch unbekanntes Element — eben das Helium — vorhanden sei.

So hatte also das Radium im Verlaufe einer Woche sich in Helium verwandelt. Da aber Radium und Helium auf Grund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften als verschiedene Elemente bezeichnet werden müssen, so haben wir die Umwandlung eines Elements in ein anderes vor uns. Der Traum der Alchymisten vom „Stein der Weisen“ ist, wenn auch in anderem Sinne, erfüllt worden.

Wie weit uns die Forschung nach dieser Richtung noch bringen wird, ob wir dereinst ebenso leicht ein Element in ein anderes verwandeln werden, wie wir heute die chemischen Verbindungen in ihre Elemente zerlegen oder aus ihren Grundstoffen aufbauen, wer wollte das sagen? Der folgende Abschnitt soll uns noch mit einigen hierher gehörigen Erscheinungen bekannt machen.

## 2. Umwandlung von Elementen im allgemeinen.

Der Vorgang des Radiumzerfalls ist kein einfacher. Es wandeln sich nicht nur einige Gruppen von Korpuskeln, die von dem zerfallenden Radiumatom ausgestoßen werden, in Heliumatome, sondern auch der zurückgebliebene Teil erfährt weitere Veränderungen, indem er verschiedene Stadien durchläuft, von denen das Blei das beständigste zu sein scheint. Das Radium selbst scheint wieder ein Zerfallsprodukt des Urans zu sein. So sehen wir also vier verschiedene Elemente miteinander genetisch verbunden.

Weitere Untersuchungen haben gezeigt, daß neben den anderen schon bekannten radioaktiven Stoffen (Uran, Thorium, Polonium, Aktinium), welche Veränderungen ähnlicher Art wie das Radium erleiden und neben anderen, die gerade jetzt entdeckt werden oder entdeckt werden sollen, noch viele wohlbekannte Stoffe bei genauer Untersuchung, ähnliche, wenn auch schwächere Erscheinungen wie das Radium zeigen. Man muß deshalb annehmen, daß sie auch ähnliche Veränderungen erleiden. Quecksilber und Kupfer zeigen ganz deutliche Merkmale dieser Art und, nachdem die Beobachtungsmethoden sich immer mehr verfeinert haben, scheint es, daß kein Element ganz frei von solchen Umwandlungserrscheinungen ist. Alles scheint also in Zerfall und Veränderung begriffen zu sein. Der harte Diamant, das feste Eisen und der massive Granit, nichts scheint von diesem allgemeinen Verfall eine Ausnahme zu machen. „Gottes Mühlen mahlen langsam, aber fein.“ Und wenn genug Millionen von Jahrhunderten vergangen sein werden, sind vielleicht alle Atome unserer Welt zerstäubt, um eine neue, von der unfrigen verschiedene Welt zu bilden.

---



Vierter Teil.

**Biologische Paradoxe.**

Year 1881

Biological Garden

# I. Einiges vom Bau des menschlichen und tierischen Körpers.

## 1. Das Pferd als Ballettänzer.

Die unvermeidliche Beobachtung, daß unser Körper mit dem Körper vieler Tiere in einer großen Zahl wesentlicher Bauverhältnisse übereinstimmt, hat dazu geführt, ähnliche Teile mit demselben Namen zu bezeichnen. In einigen Fällen aber stimmen die Eindrücke, die der Laie vom Bau gewisser Tiere erhält, nicht mit den Tatsachen überein.

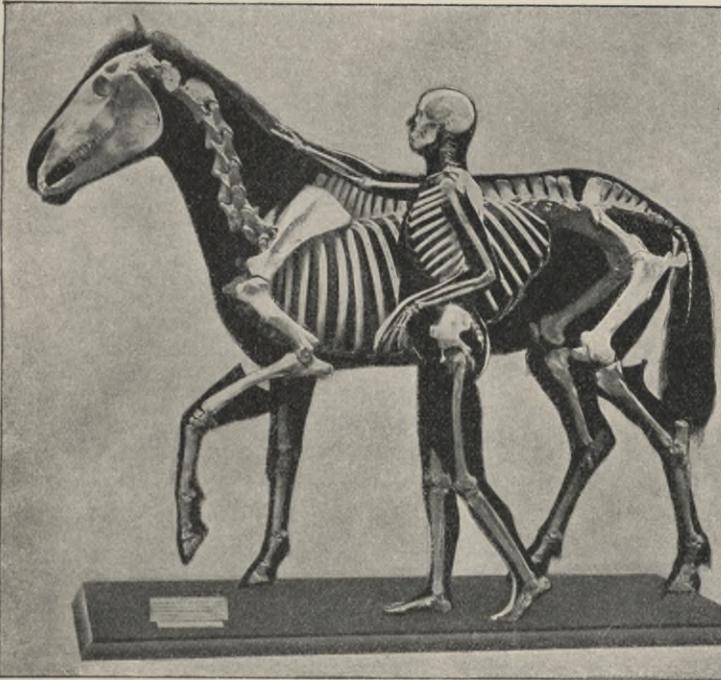


Fig. 47. Menschenskelett und Pferde skelett.

einstimmt, hat dazu geführt, ähnliche Teile mit demselben Namen zu bezeichnen. In einigen Fällen aber stimmen die Eindrücke, die der Laie vom Bau gewisser Tiere erhält, nicht mit den Tatsachen überein.

Dahin gehört der Umstand, daß dasjenige, was er bei Pferden, Rindern, Schafen und anderen Tieren Knie nennt, keineswegs dem menschlichen Knie entspricht. Ein Vergleich des Skelettes von Mensch und Pferd (Fig. 47) wird uns das lehren.

Zuerst vergleichen wir das menschliche Bein mit dem Hinterbein des Pferdes. Dabei wollen wir die erste und letzte der 5 schematischen Skizzen unserer Fig. 48 benutzen. Ein Blick auf die naturgetreuen Abbildungen der Fig. 47 kann dann zeigen, wie die besprochenen Teile in Wirklichkeit aussehen.

Den obersten Teil unseres Beines bezeichnen wir bekanntlich als Oberschenkel. Der darin liegende Knochen (Fig. 48 *BD*), der durch das Hüftgelenk (*B*) mit dem Rumpfskelett verbunden ist, heißt dem-

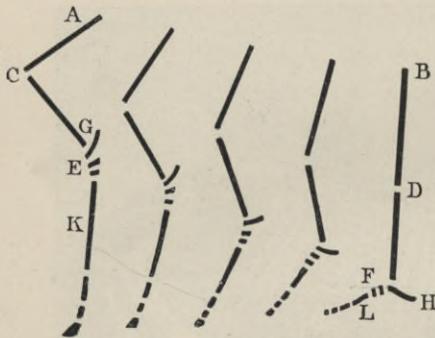


Fig. 48. Zum Vergleich der Gliedmaßen von Mensch und Pferd.

gemäß der Oberschenkelknochen. Das Hüftgelenk des Pferdes ist mit *A* bezeichnet, der Oberschenkel reicht bis *C*. Das nächste Gelenk unter dem Hüftgelenk ist das Kniegelenk. Wir finden es an unserem Beinskelett bei *D*, beim Pferde ist es mit *C* bezeichnet. Bei Pferden und vielen anderen Tieren ist aber der Oberschenkelknochen *AC* im Verhältnis zur Länge des Beines

so kurz und außerdem so nahezu horizontal gelagert, daß das Gelenk *C* bei einem in gutem Zustande befindlichen Tiere kaum zu sehen ist. Und wenn es einmal, beispielsweise bei einem abgemagerten Tiere, zu bemerken ist, so würde der Laie kaum wissen, wie er es nennen sollte. Wollte er es doch benennen, so würde er es als Hüftgelenk bezeichnen, denn das wahre Hüftgelenk ist vollkommen unsichtbar, nämlich bei *A* innerhalb großer Fleischmassen versteckt. Gehen wir nun am Pferdeskelett zum nächst tieferen Gelenk *E*. Das ist beim Pferde das erste vom Rumpfe deutlich entfernte Gelenk. Der Laie wird es, lediglich nach seinen Beobachtungen am lebenden Tiere, gewöhnlich als Knie bezeichnen. Er wird sich höchstens darüber wundern, daß beim Pferde das „Knie“ nach hinten gebeugt wird, beim Menschen aber nach vorn. Dieser Widerspruch ist natürlich nur ein scheinbarer, das „Knie“ *E* ist eben kein Knie. Werfen wir, ehe wir

unserer Betrachtung weiter führen, einen Blick auf die 3 mittleren schematischen Zeichnungen der Fig. 48. Wenn wir sie mit den beiden anderen vergleichen, so sehen wir, daß alle 5 in der Zahl und Reihenfolge der Knochen und Gelenke übereinstimmen, daß ferner 2 aufeinanderfolgende Zeichnungen sich immer nur wenig voneinander durch Länge und Richtung gewisser Knochen unterscheiden. Mit anderen Worten: die 3 mittleren Bilder stellen Übergänge zwischen dem ersten und letzten dar und sind dadurch geeignet, uns zu zeigen, daß Pferdebein und Menschenbein einander durchaus entsprechen. Sie können uns die folgende Betrachtung deshalb erleichtern. Wir erkennen jetzt, daß das Gelenk, das wir am Pferdebein als Knie bezeichnen möchten, in Wirklichkeit schon das Fußgelenk ist, wobei der Knochen *G* dem Fersenbein *H* entspricht. Auf das Fersenbein folgen bei *E* noch einige kleinere Knochen, die den Fußwurzelknochen des Menschen gleichzusetzen sind. Dann kommt ein ziemlich langer Knochen *K*, der von Laven wohl zunächst als Schienbein benannt wird. Er entspricht aber offenbar dem Knochen *L* der fünften Figur, d. h. einem der Mittelfußknochen des Menschen. Hier kommen wir aber auf einen bemerkenswerten Unterschied. Beim Pferde findet sich an dieser Stelle nur ein einzelner Knochen mit Spuren von zwei weiteren Knochen zu beiden Seiten. Beim Menschen aber liegen fünf Knochen, die fünf Mittelfußknochen, nebeneinander, die von den Fußwurzelknochen bis zum Anfang der Zehen reichen.

Wie erklärt sich dieser Unterschied, wenn doch die genannten Knochen bei Mensch und Pferd einander entsprechen? Unter den Knochenresten ausgestorbener Tierarten hat man vor nicht sehr langer Zeit Knochen von Tieren gefunden, die in vielen Beziehungen dem Pferde glichen, jedoch kleiner waren und eine größere Zahl von Zehen besaßen. Eine genaue Untersuchung dieser Funde führte zu dem Schlusse, daß die Vorfahren unseres Pferdes ursprünglich fünfzehige Wesen waren, deren Nachkommen die Gewohnheit annahmen, sich mehr und mehr auf den vorderen Teil des Fußes zu stützen, bis die Ferse dauernd über dem Erdboden erhoben blieb, ja sogar die Mittelfußknochen und Zehenknochen fast senkrecht gestellt wurden. Schließlich standen diese Tiere nur noch auf den Spitzen der Zehen oder genauer auf den „Nägeln“ derselben, die zu diesem Zwecke gewaltig an Größe und Dicke zugenommen hatten und zu Hufen geworden waren.

Zugleich übernahm die mittlere und längste Zehe mehr und mehr

die Aufgabe, den Körper zu tragen; sie wurde immer länger, während die seitlichen Zehen verkümmerten und verschwanden. Bei dem heutigen Pferde verrät sich ihre frühere Anwesenheit nur noch durch zwei dünne mit dem großen Mittelfußknochen verwachsene Spangen.

Der Pferdefuß hat sich also durch drei auffallende Veränderungen des ursprünglich fünfzehigen Fußes entwickelt. Erstens ist die Zahl der Zehen bis auf eine herabgesunken, zweitens hat sich diese eine Zehe so fortentwickelt, daß sie praktisch einen Unterschenkel darstellt und zwar (drittens) so, daß nur der verdickte Nagel (Huf) noch den Boden berührt.

In der letzten Hinsicht hat das Pferd moderne Rivalen in den Ballettänzern und -tänzerinnen erhalten, deren Ziel zu sein scheint, auf den Zehenspitzen umherzuwirbeln. Dieses Bestreben führt zu allem anderen, nur nicht zu graziösen und schönen Bewegungen. Es ist offenbar auf Zuschauer berechnet, die mehr das Erstaunliche als das Schöne zu sehen verlangen. Aber die erfolgreichste Tänzerin hat es noch nicht weiter gebracht, als auf den Zehenspitzen zu tanzen, während das Droschkpferd, das ihren Wagen zur Vorstellung zieht, nicht bloß auf den Zehenspitzen, sondern sogar auf den Nägeln geht. Wenn ein Balletmeister seinen Damen vom Ballet einmal die Entwicklungsreihe vorführte, mit der wir uns soeben beschäftigt haben, so würden sie vielleicht ihren Fleiß in der Voraussicht einer ähnlichen Entwicklung ihres eigenen Fußes verdoppeln. Die Verringerung der Zehenzahl könnte ihnen die so heiß ersehnte Verkleinerung ihres Fußes in Aussicht stellen. Ein vorsichtiger Lehrer würde dabei ihre Aufmerksamkeit nicht auf die Entwicklung lenken, die infolge der Verkleinerung der Zehenzahl die übrigbleibende Zehe und ihr Nagel genommen haben.

Das Vorderbein des Pferdes und der Arm des Menschen zeigen eine ähnliche Übereinstimmung wie die anderen Gliedmaßen. Das Schultergelenk des Pferdes ist beim lebenden Tiere kaum erkennbar. Das erste deutlich sichtbare Gelenk entspricht unserem Ellbogengelenk und befindet sich mit der Unterseite der Brust des Pferdes in einer Höhe. Was wir beim Pferde Knie zu nennen geneigt sind, entspricht in Wirklichkeit unserem Handgelenk. Der lange Knochen, der von hier aus beim Pferd abwärts geht, ist ein Mittelhandknochen. An unserem Handrücken können wir die fünf Mittelhandknochen deutlich fühlen. Beim Pferde ist also nur einer, der mittlere, wohl entwickelt; zwei andere sind

wiederum durch dünne Spangen angedeutet. Schließlicly folgen noch zwei kurze Fingerknochen und der Huf.

Es ist schwer zu sagen, was bei solchen Studien, wie wir hier eine angestellt haben, mehr überrascht, die auffallende Übereinstimmung im Bau, die wir bei so mancher Tiergruppe finden, oder die wunderbaren Verschiedenheiten innerhalb derselben, die lediglich durch Abänderung von ursprünglich ähnlichen Organen zustande gekommen sind.

## 2. Pumpen ohne Kolben.

Eine der interessantesten Übereinstimmungen zwischen Werken der Natur und der menschlichen Technik zeigen uns das Herz und die Venen. Das Herz ist eine Pumpe, die Blut in alle Teile des Körpers zu treiben hat. Die Venen enthalten eine Reihe weiterer Vorrichtungen, um es zum Herzen zurückzuführen. Diese Pumpen haben zwei große Vorteile gegenüber denjenigen, die wir uns bauen, um Flüssigkeiten zu heben. Sie sind wachstumsfähig und infolge ihrer Elastizität können sie wie unsere Gummigebläse des Kolbens entbehren. Die letztere Eigenschaft macht die erste möglich; denn, wenn die Natur je einen Apparat mit Zylinder und Kolben geschaffen hätte, so wäre es schwer einzusehen, wie eine solche Vorrichtung zugleich die Fähigkeit des Wachsens haben sollte.

Die Blutpumpen des Körpers arbeiten also in derselben Weise wie unsere Gummigebläse durch abwechselnde Zusammenziehung und Erschlaffung. Bei der Zusammenpressung wird das Blut in die Adern gedrückt, und die Erschlaffung erlaubt einer frischen Blutmenge in das Herz einzutreten und auf die nächste Zusammenziehung zu warten.

Obgleich die Tätigkeit verschieden ist, so ist das Ergebnis doch dasselbe wie bei unseren künstlichen Pumpen, und in beiden Fällen sind Ventile nötig, um das Zurückfließen der Flüssigkeit zu verhindern, während sich eine neue Blutmenge ansammelt.

Sowohl in den physiologischen als auch in den künstlichen Pumpen sind die Ventile Einrichtungen von großer Bedeutung. Wenn sie nicht dicht schließen, so fließt ein Teil der schon herausgepreßten Flüssigkeit zurück in den Raum, der durch eine ganz neue Zufuhr gefüllt werden sollte, es geht viel Energie der Pumpe verloren, und sie hat Schwierigkeiten, ihren Druck aufrechtzuerhalten.

Um die Beschaffenheit und Wirkung der Ventile des Blutkreislaufs kennen zu lernen, betrachten wir zuerst den Pumpemechanismus der

Venen, da dieser durch die einfachste Veränderung der Blutgefäße zustande kommt. Die Venen enthalten Blut, welches zum Herzen getrieben werden soll. Ihre Wandungen sind weich und dehnbar, so daß sie durch Druck leicht abgeflacht werden können. Drückt man sie flach, so treibt man das Blut in einen anderen Teil der Venen. Es muß nun aber erstens nach dem Herzen hin getrieben werden und zweitens muß verhindert werden, daß das einmal vorwärtsgetriebene Blut wieder zurückfließt. Beides wird durch die Entwicklung von Ventilen oder Klappen erreicht, die an verschiedenen Stellen im Verlauf der Venen angebracht sind. Die Klappen sind so eingerichtet, daß sie dem Blutstrome wohl den Weg zum Herzen hin, aber nicht vom Herzen

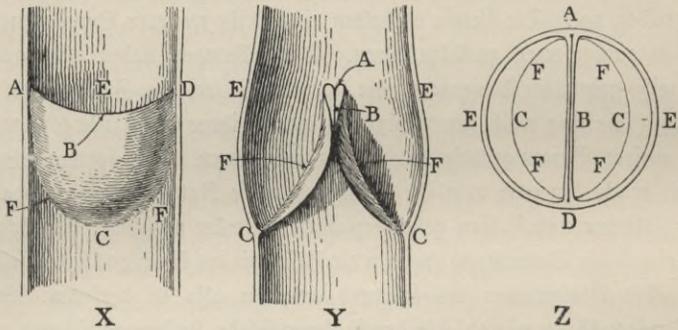


Fig. 49. Ventile in den Venen.

fort gestatten. Sie bestehen aus Paaren von taschenähnlichen Auswüchsen der Venenwandung ins Innere des Hohlraumes hinein. Fig. 49 X zeigt die Ansicht, die man erhält, wenn man eine Vene der Länge nach so durchschneidet, daß sich in jeder Hälfte nur eine vollständige Tasche befindet. *ABD* ist der freie obere Rand, *AFCFD* der mit der Venenwandung verbundene Rand. Fig. 49 Y stellt die Ansicht dar, die zustande kommt, wenn man so schneidet, daß jede der Taschen halbiert wird. Die Vene zeigt sich hier oben ausgedehnt durch den Druck des Blutes, welches die Taschen füllt, die freien Ränder der Klappen gegeneinander preßt und sich so selbst die Rückkehr in den unteren Teil unmöglich macht. Fig. 49 Z endlich zeigt uns den Querschnitt einer Vene nebst Klappenvorrichtung. Man sieht auf jeder Seite in die Taschen hinein, deren freie Ränder bei *B* gegeneinander gepreßt werden. Die 3 Figuren zeigen, welche ausgezeichnete und doch einfache

Einrichtung zur Sicherung der richtigen Strömungsrichtung des Blutes wir hier haben. Wenn irgendeine Ursache das Blut aufwärts zu bewegen strebt, so drückt es die freien Ränder der Klappen mit Leichtigkeit auseinander. In demselben Augenblick aber, wo es abwärts zu fließen strebt, bläht sein eigener Druck die Taschen auf und preßt sie gegeneinander.

Das Vorhandensein von einigen dieser Klappen kann man leicht am eigenen Körper feststellen, indem man eine große Vene, etwa am Unterarm, zusammenpreßt und so den regelmäßigen Blutstrom hemmt. Man bemerkt dann an der Vene Anschwellungen, die durch die Aufstauung des Blutes an der Venenklappe verursacht sind.

Der die Flüssigkeit vorwärtstreibende Druck, der in gewöhnlichen Pumpen durch den Kolben hervorgebracht wird, wird in den Venen auf verschiedene Weise geliefert. Wenn die Muskeln sich zusammenziehen, sei es bei leichter oder schwerer Arbeit, so preßt diese Zusammenziehung die Venen zwischen den Muskeln oder zwischen ihnen und der Haut zusammen. Eine solche Verengung kann aber, indem sie das Blut in den Venen vorschiebt, nur die Folge haben, daß es zum Herzen hingeschoben wird, da es von den Klappen an entgegengesetzter Verschiebung gehindert wird. Auch jeder Druck von außen, wie bei Massage oder einfachem Stoß muß ebenso wirken. Veränderungen in der Lage des Körpers können auch die Bewegung des Blutes in den Venen befördern. Streckt man den Arm in die Höhe, so fließt das Blut infolge seiner Schwere in den Venen abwärts. Hält man das Glied dagegen abwärts, so bewirkt das eine Anhäufung von Blut in den Venen, nicht weil es infolge seiner Schwere abwärts fließt — daran hindern ja die Klappen —, sondern, weil die Venen von ihren feineren Ästen her gefüllt werden. Wird dann das Glied gehoben, so ziehen sich die durch den Blutdruck ausgedehnten Wandungen der Venen infolge ihrer Elastizität zusammen und treiben den Blutüberschuß hinaus. So tragen also alle Arten von Arbeit, Bewegung, Massage zur Aufrechterhaltung des Blutlaufes in den Venen bei und dienen auch dadurch zur Beförderung der körperlichen Gesundheit.

Die Venen münden in das Herz, welches als ein besonders erweiterter Teil der Blutgefäße aufgefaßt werden kann. Wie die Förderung des Blutkreislaufes für die Gesundheit nützlich ist, so ist seine Aufrechterhaltung notwendig. Das Herz liefert die Mittel dazu, ob wir uns

nun im wachenden oder schlafenden Zustande, in Tätigkeit oder in Ruhe befinden. Für diesen Zweck würden die zufälligen, durch Arbeit oder äußere Einwirkungen hervorgerufenen Verengungen der Blutgefäße nicht genügen. So ist denn an dieser einen Stelle eine mächtige, in 4 Kammern eingeteilte Gefäßerweiterung entstanden, und so gewaltige Muskelfasermassen haben sich in der Wand entwickelt, daß das Herz geradezu als ein mächtiger Muskel von besonderer Form und Funktion bezeichnet werden kann. Um das Blut durch die Arterien und ihre Verästelungen zu pressen, ist eine bedeutende Kraft erforderlich. Die linke Herzkammer, die das sauerstoffreiche Blut in die verschiedenen Teile des Körpers sendet, erzeugt zu diesem Zwecke einen Druck, der gleich dem Druck einer Wassersäule von 270 cm Höhe ist. Die rechte Herzkammer, die das Blut durch die Lungen preßt, bringt einen Druck hervor, der dem Druck einer Wassersäule von 90 cm gleichkommt. Die Menge des Blutes, die jederseits bei jeder Zusammenziehung dem menschlichen Herzen entströmt, beträgt etwa 170 Gramm. Da in einer Minute etwa 70 Herzschläge erfolgen, so ist die Arbeit, die das Herz in 24 Stunden verrichtet, annähernd gleich der Arbeit, eine Last von 60 000 kg 1 m oder, was dasselbe sagt, 1 kg 60 000 m hochzuheben.

Das Herz ist eigentlich eine Doppelpumpe, deren linke Seite, wie schon erwähnt, die Aufgabe hat, das sauerstoffreiche (arterielle) Blut durch den ganzen Körper zu pressen, während die rechte Seite das sauerstoffarme, aber kohlenstoffreich gewordene (venöse) Blut zur Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe der Kohlenensäure durch die Lungen treibt. Da beide Herzhälften wesentlich gleich gebaut sind, so genügt es, den Bau und die Wirkungsweise für die eine Hälfte, etwa die linke, auseinanderzusetzen.

Die linke Hälfte besteht aus einer eigentlichen Herzkammer *A* (Fig. 50) und einer Vorkammer *B*. Die Herzkammer ist es, die den Transport des Blutes durch den Körper (den „großen Kreislauf“) besorgt. Sie ist deshalb mit einer muskulösen Wand versehen, die weit dicker ist als die Wand der rechten Herzkammer, die den „kleinen Kreislauf“, den Lungenkreislauf, betreibt. Die Vorkammer dient wesentlich zur Ansammlung des Blutes. Wenn das Herz nach jeder Zusammenziehung unmittelbar von den Venen gefüllt werden müßte, so würde das eine lange Zeit in Anspruch nehmen. Diese wird dadurch gespart, daß während der Zeit, wo die Herzkammer das in ihr enthaltene Blut durch

Zusammenziehung ihrer Wandungen in die „Aorta“ *E* treibt, eine neue Blutmenge sich in der Vorkammer sammelt.

Während die Herzkammer sich wieder ausdehnt, könnte nun das Blut aus der Aorta *E* in die Herzkammer zurückfließen. Das wird vermieden durch eine ähnliche Einrichtung, wie wir sie schon in den Venen kennen gelernt haben. Nur sind in diesem Falle drei solcher Taschen vorhanden, die in der Mitte der Aorta zusammenstoßen. Eine derselben ist bei *G* dargestellt, und daneben ist ein kleiner Teil der beiden anderen sichtbar. Da so eine Neufüllung des Herzens von *E* her unmöglich gemacht ist, so bedarf die Vorkammer *B* keiner besonders großen Muskelkraft, um das Blut in die zum Teil schon infolge ihrer Elastizität sich wieder ausdehnende Herzkammer zu befördern. Dem entspricht auch die verhältnismäßig dünne Wand der Vorkammer und das Fehlen von besonderen Herzkappen an der Einmündungsstelle der Venen.

Eine der bemerkenswertesten Einrichtungen am Herzen ist die Herzklappe, durch welche während der Zusammenziehung der Herzkammer das Blut gehindert wird, in die Vorkammer zurückzufließen. Diese Herzklappe besteht in der linken Herzkammer aus 2 großen Hautlappen, zu dem 2 kleine hinzukommen, in der rechten Herzkammer dagegen aus 3 Lappen. Die Einrichtung der Herzklappe der linken Seite zeigt uns unsere Fig. 50 bei *F*. Man sieht, daß das Blut durch Beiseiteschieben der Hautlappen leicht in die Herzkammer hineinfließen kann. Dazu ist allerdings eine breite Öffnung zwischen Herzkammer und Vorkammer nötig. Teilweise deswegen und teilweise, weil die Verbindung keine röhrenförmige ist, erscheint die Verwendung von taschenförmigen Klappen

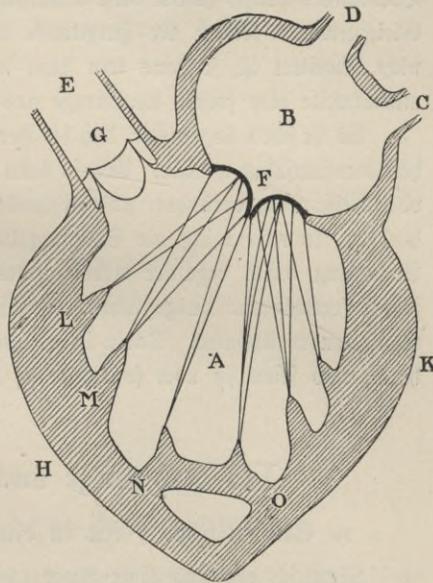


Fig. 50. Mechanismus der Herzklappen.

mit Rücksicht auf den hohen Druck, den sie auszuhalten haben, unmöglich. So finden wir also große Hautlappen, die auf ganz besondere Weise in ihrer Lage festgehalten werden. An der Innenseite der Herzkammerwand ragen mehrere säulenförmige oder rippenförmige Fortsätze der Muskelmasse ins Innere hinein. Von den Spitzen dieser muskulösen Fortsätze gehen starke, fadenförmige Stränge zu den freien Rändern der Hautlappen und zu deren Oberfläche. Wenn sich deshalb die Herzkammer zusammenzieht und der Blutdruck die Hautlappen gegen die Vorkammer preßt, halten diese Unterstützungsfasern dem Blutdruck das Gleichgewicht. Wenn die Herzklappe nicht verlegt oder die Öffnung nicht erweitert ist, so kann kein Blut in die Vorkammer eintreten, die mittlerweile eine frische Blutmenge aus den Venen in sich ansammelt.

Es ist schon angedeutet, daß die Herzklappen bisweilen durch Krankheit dienstunfähig werden. Ebenso kann der Herzmuskel durch Krankheit oder Mißbrauch verändert und geschwächt werden. Das alles zu verhindern, so weit reicht die Selbstregulierung des Herzens nicht. Die Abnutzung durch reguläre Arbeit unter normalen Verhältnissen wird jedoch fortwährend ausgeglichen. Insofern ist das Herz ein sich selbst regulierender Apparat. Darin ist es allen Mechanismen von Menschenhand, und seien sie noch so kunstvoll, überlegen.

## II. Das Auge und das Sehen.

### 1. Ein blinder fleck in einem gefunden Auge.

Man schließe das linke Auge (wenn nötig, durch Auflegen der linken Hand) und fixiere mit dem rechten Auge den Buchstaben *R* der Fig. 51. Obgleich man ruhig nach *R* sieht, kann man doch mit Leichtigkeit das *L* der anderen Seite sehen und zwar, ohne die Blickrichtung

**R**

**L**

Fig. 51. Zum Nachweise des blinden Flecks im menschlichen Auge.

zu verändern. Nun halte man das Blatt mit den Buchstaben etwa 25 cm entfernt vom Auge und nähere es demselben langsam. Bei einer Entfernung von ungefähr 15 cm wird *L* unsichtbar. Noch einen Augenblick vorher sah man es seitwärts, obgleich der Blick nicht darauf gerichtet war. Jetzt sieht man es nur noch, wenn man den Blick von

*R* abwendet. Tut man das nicht und nähert das Blatt dem Auge noch mehr, so erscheint *L* wieder.

Rehrt man die Reihenfolge um, bringt das Papier dem Auge so nahe, daß man die Buchstaben noch bequem erkennen kann, und sieht mit dem rechten Auge nach *R*, so sieht man *L*, obgleich man nicht absichtlich hinsieht. Entfernt man das Papier auf ungefähr 15 cm vom Auge, so sieht man *L* nicht mehr. Entfernt man es noch weiter, so erscheint *L* wieder. Denselben Versuch kann man mit dem linken Auge machen, wenn man das rechte Auge mit der rechten Hand verschließt, das Papier in der linken Hand hält und nach *L* sieht.

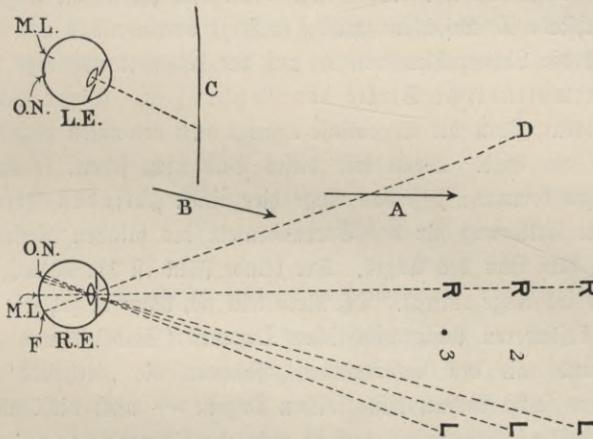


Fig. 52. Zum Nachweise des blinden Flecks im menschlichen Auge.

Wie erklärt sich nun diese merkwürdige Erscheinung? Zur Erläuterung diene Fig. 52. Hierin bedeuten *RE* und *LE* horizontale Durchschnitte durch das rechte und linke Auge. *C* ist ein Gegenstand, durch den das linke Auge verdeckt ist. Die Achse des rechten Auges hat die Richtung *A*, ist also auf den Buchstaben *R* gerichtet. Das Licht von *R* trifft dann, nachdem es durch die Pupille und die Linse gegangen ist, die Netzhaut (Retina) in dem sogenannten „gelben Fleck“ (Macula lutea, *M. L.*). Dieser gelbe Fleck, besonders eine kleine Vertiefung in der Mitte desselben (Fovea centralis) ist am meisten empfindlich für das Licht und liefert die deutlichsten Bilder der Gegenstände. Wir stellen das Auge deshalb unwillkürlich so ein, daß von einem Objekt, welches wir genau sehen wollen, das Bild auf dem gelben Fleck entsteht. Wir sagen

dann: ich „fixiere“ den Gegenstand. Nun sind aber auch die anderen Teile der Netzhaut empfindlich, wenn auch nicht in demselben Grade. Deshalb bringt auch das Licht von seitlich gelegenen Körpern wie von *D* und *L* Bilder hervor, allerdings undeutlichere. Die Orte ihrer Entstehung sind mit *F* und *ON* bezeichnet. So sehen wir auch Dinge, die außerhalb unserer Hauptsehrichtung liegen. Bringt man nun das Papier mit den Buchstaben dem Auge allmählich näher, so daß die Buchstaben der Reihe nach die Lagen 1, 2 und 3 annehmen, so sieht man ein, daß die Bilder von *L*, falls die Augenachse fortwährend ruhig auf *R* gerichtet ist, an 3 verschiedenen Punkten der Netzhaut entstehen müssen. Nehmen wir nun an, daß, sobald das Papier die Lage 2 hat, der Buchstabe *L* unsichtbar wird, so folgt daraus, daß bei *ON*, da wo jetzt die Lichtstrahlen von *L* auf der Netzhaut vereinigt werden, eine unempfindliche Stelle der Netzhaut ist. Dieser Schluß ist unabweisbar, denn die Augenlinse erzeugt nach bekannten physikalischen Gesetzen ein Bild. Wenn wir dieses Bild nicht sehen, so kann das nur daher kommen, daß das Auge hier einen „blinden Fleck“ hat.

Die Erklärung für das Vorhandensein des blinden Fleckes ergibt sich aus dem Bau des Auges. Der blinde Fleck ist die Stelle, wo der Sehnerv ins Auge eintritt. Der Nerv teilt sich dann in zahllose Fasern, die in besonderen lichtempfindlichen Organen (Stäbchen und Zapfen) enden und mit den Endorganen zusammen die „Netzhaut“ bilden. Der Nerv selbst enthält keine solchen Organe — auch nicht an seiner Eintrittsstelle ins Auge — und ist nicht zur Aufnahme von Lichtreizen fähig, gerade so wie zur Aufnahme von telephonischen Mitteilungen nicht die Eintrittsstelle des Telephondrahtes in den Telephonraum, sondern nur der zu diesem Zwecke besonders eingerichtete Endapparat dienen kann.

## 2. Das Doppeltsehen.

Man setze sich bequem hin, fixiere einen Türdrücker, ein Zifferblatt oder einen anderen, wohlbegrenzten Gegenstand von mäßiger Größe an der gegenüber liegenden Zimmerwand. Will man einen Gegenstand außerhalb des Hauses wählen, so kann es ein gleichfalls gut begrenzter entfernter Gegenstand, wie zum Beispiel eine Flaggenstange, ein Fabrik-schornstein oder ein Kirchturm sein. Während man ruhig und unverändert den Türdrücker fixiert, hebe man den nach oben gerichteten Zeigefinger

einer Hand bis zur Augenhöhe empor. Der Türdrücker wird deutlich gesehen. Weniger deutlich, aber doch ganz klar, bemerkt man zu jeder Seite des Drückers je einen Finger.

Nun sehe man scharf nach dem Finger, welcher 15—25 cm vom Auge entfernt ist. Den Finger sieht man deutlich. Weniger deutlich, aber doch deutlich genug, sieht man zu jeder Seite des Fingers je einen Türdrücker.

Die Erklärung ist die folgende. Wir haben im letzten Abschnitt erfahren, daß die Grube im gelben Fleck, die inmitten der Netzhaut an der Rückwand des Auges liegt, der lichtempfindlichste Ort der Netzhaut ist. Folglich ist die gerade Linie durch diesen Fleck und das Zentrum der Linse, die „Augenachse“, die Linie des deutlichsten Sehens. Wünschen wir nun irgendeinen Gegenstand mit beiden Augen genau zu sehen, so



Fig. 53. Zur Erklärung des Doppelsehens.

muß sich jedes Auge so stellen, daß beide Augenachsen auf jenen Gegenstand gerichtet sind. Befindet sich der Gegenstand in einer bestimmten Entfernung, so bilden die Achsen einen bestimmten Winkel.

In Fig. 53 stellt  $R$  das rechte,  $L$  das linke Auge dar, beide von oben gesehen. Beide Augen sind auf den Gegenstand  $P$  gerichtet und, obgleich jedes von ihnen einen besonderen Eindruck davon erhält, ist der Mechanismus im Gehirn doch derart, daß man nur einen Gegenstand sieht, weil die beiden Bilder an entsprechenden Stellen der Netzhaut entstehen, nämlich beide auf dem gelben Fleck.

Befindet sich neben  $P$  ein zweiter Punkt  $S_1$ , so sind die Augen auch für diesen Punkt annähernd „eingestellt“, wenn sie für  $P$  eingestellt sind, denn der Winkel  $LS_1R$  ist annähernd gleich dem Winkel  $LPR$ . Die beiden Bilder von  $S_1$  entstehen deshalb auch an entsprechenden Stellen beider Augen, nämlich wenn  $P$  fixiert wird, beide links vom gelben Fleck. Anders steht es mit dem Punkte  $S_2$ . Der Winkel  $LS_2R$  ist weit größer als der Winkel  $LPR$ . Sind also die Augen auf  $P$  eingestellt, so sind sie es nicht für  $S_2$ . Die Bilder von  $S_2$  entstehen nicht an ent-

sprechenden Stellen der Netzhaut, vielmehr entsteht, falls  $P$  fixiert wird, das eine links, das andere rechts vom gelben Fleck. Während deshalb das Gehirn  $P$  und  $S_1$  nur einfach wahrnimmt, nimmt es  $S_2$  doppelt wahr.

Sind die Augen umgekehrt auf  $S_2$  eingestellt, so ist klar, daß nun die Bilder von  $P$  oder  $S_1$  an einander nicht entsprechenden Stellen der Netzhaut entstehen und deshalb im Gehirn den Eindruck von 2 verschiedenen Gegenständen hervorbringen. Ist  $P$  der Türdrücker und  $S_2$  der Finger, so ist hiermit die vorhin geschilderte Beobachtung erklärt.

Das Doppelsehen wird, allgemein gesagt, stets dann zustande kommen, wenn die Augenachsen auf einen fernen Gegenstand gerichtet sind und die Aufmerksamkeit einem näheren Gegenstand zugewandt wird, oder wenn die Augenachsen auf einen nahen Gegenstand eingestellt werden, während ein fernerer die Aufmerksamkeit fesselt. Derjenige, dem die Aufmerksamkeit gilt, wird dann doppelt erscheinen. Es ist auch gar nicht einmal nötig, einen bestimmten Gegenstand zu fixieren, damit ein anderer doppelt erscheint. Manchen Personen gelingt es sehr leicht, absichtlich die für

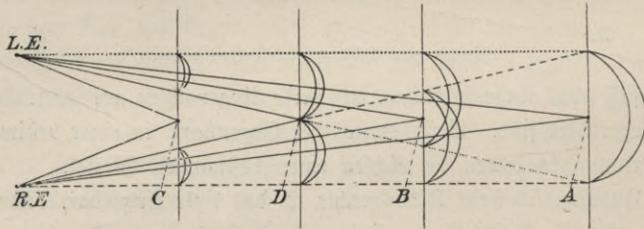


Fig. 54. Der doppelt gesehene Mond.

einen gewissen Punkt richtige Augeneinstellung zu vermeiden, um diesen Punkt doppelt zu sehen.

Aber auch unabsichtlich kann dieser Fall eintreten. Indem der Genuß alkoholischer Getränke die normalen Funktionen des Gehirns, ja des ganzen Nervensystems, verändert, ruft er auch Störungen in der Tätigkeit der Muskeln hervor, welche ja selbst unter dem Einflusse der Nerven stehen. Diese Erscheinung ist ja nur zu bekannt; wir brauchen nur an die ungeordneten Bewegungen eines Betrunknen zu denken. Sehr leicht werden die Augenmuskeln durch das Gift „Alkohol“ beeinflusst. Die Folge ist, daß auch schon bei „mäßigen“ Genuße desselben die richtige Einstellung der Augenachsen erschwert wird und die Erscheinung des

Doppelsehens zustande kommt, die, da sie der Komik nicht entbehrt, sogar Poeten zu mehr oder weniger poetischen Ergüssen Anlaß gab.

Fig. 54 stellt dar, wie bei unrichtiger Einstellung der Augenachsen auf die Punkte *B*, *D* und *C* die Mondfichel *A* doppelt erscheinen muß. *L. E.* und *R. E.* bedeuten darin das linke und rechte Auge. Es kommen entweder 2 getrennte Bilder zustande (*C*) oder 2 aneinanderstoßende (*D*) oder 2 sich teilweise überlagernde (*B*).

### 3. Wer kann durch die Hand sehen?

Nimm eine Rolle Papier in die linke Hand, halte sie vor das linke Auge und sieh durch dieselbe nach einem hellen Gegenstande in

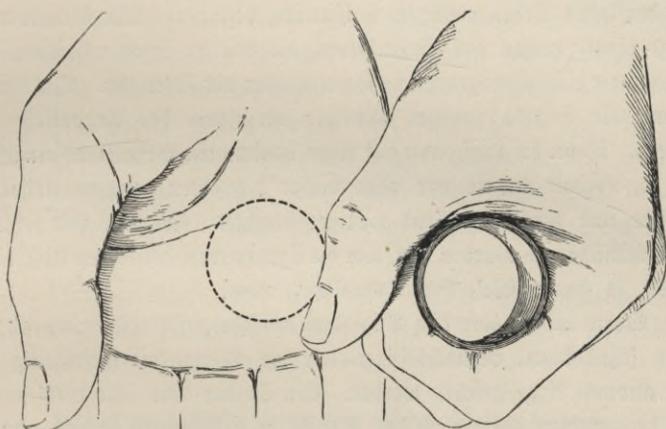


Fig. 55. Das Sehen durch ein Loch in der Hand.

einiger Entfernung, vielleicht also nach einem Bilde an der gegenüber liegenden Zimmerwand. Halte die rechte, flache Hand vor das rechte Auge, so daß der Rand der flachen Hand an die Seite der Rolle stößt. Beide Hände mögen sich in einer Entfernung von ungefähr 15 bis 20 cm vom Auge befinden.

Man wird nun erwarten, daß die Aussicht des rechten Auges gehemmt wird, anstatt dessen aber merkt der Beobachter, daß er durch ein Loch in der rechten Hand sieht, und zwar sieht er durch dieses Loch das betrachtete Bild. Das Loch befindet sich ungefähr an der Stelle, wo die Figur 55 einen Kreis zeigt.

Diese auffallende Erscheinung beruht auf einer uns eigentümlichen

Gewohnheit, immer nur auf gewisse Hauptgegenstände die Aufmerksamkeit zu richten und alle anderen weniger zu beachten.

Wir können drei Fälle einer solchen Vernachlässigung sichtbarer Dinge unterscheiden. Wenn wir z. B. einen Gegenstand genau beobachten wollen, richten wir unsere beiden Augenachsen auf denselben, so daß jedes Auge sein Bild im Mittelpunkte seines Gesichtsfeldes hat. Dabei vernachlässigen wir Gegenstände, die außerhalb der mittleren Sehlinie liegen. Wenn wir scharf nach einem Bilde sehen, welches an der gegenüber befindlichen Zimmerwand hängt, so können wir die Tätigkeit einer 2 Meter von demselben befindlichen Person vollständig unbeachtet lassen, falls unser Interesse an dem Bild uns genügend fesselt.

Zweitens können wir Dinge vernachlässigen, die sich nicht in der für deutliches Sehen richtigen Entfernung befinden. Wir können unser Auge ebenso genau auf Gegenstände, die wir zu sehen wünschen, einstellen, wie eine photographische Kamera oder ein Fernrohr. Wir tun es, indem wir mittels gewisser Muskeln die Form der Augenlinse verändern. Wenn die Linse nun auf einen bestimmten Gegenstand eingestellt ist, so werden andere vor oder hinter demselben gelegene undeutlich gesehen und dementsprechend weniger beachtet. Würden wir sie nicht vernachlässigen, so würden wir, wie die Experimente des letzten Abschnittes zeigen, in einer „Welt des Doppelten“ leben.

Wenn endlich nur ein Auge den das Interesse erregenden Gegenstand sehen kann, vernachlässigen wir die Dinge, die gleichzeitig von dem anderen Auge gesehen werden. Ein Soldat kann sehr wohl lernen, mit dem rechten Auge nach der Scheibe zu visieren, ohne auch nur für einen Augenblick das linke deswegen zu schließen. Er kann das mit dem linken Auge Gesehene während dieser Zeit vernachlässigen.

Ähnlich ist es in dem vorher erwähnten Experiment. Das linke Auge sieht durch die Röhre die beleuchtete Wand. Dort sieht es einen Interesse erregenden Gegenstand, und deshalb wird die Linse unbewußt auf die Wand eingestellt. Nun kann aber beim normalen Menschen die Anpassung (Akkommodation) der einen Linse niemals erfolgen, ohne daß die andere dieselben Veränderungen erfährt. Die rechte Linse wird also auch für die weite Entfernung eingestellt.

Wir erhalten nun das folgende Resultat. Das linke Auge erzeugt nur von dem von der Papierrolle begrenzten Wandteil ein deutliches Bild, von der Innenseite der Rolle aber, für welche die Linse nicht

affommodiert ist, ein undeutliches. Dazu kommt, daß die Innenseite der Rolle auch nicht imstande ist, durch irgendeine auffallende Form die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken. Diese Innenseite der Rolle wird deshalb vernachlässigt zugunsten dessen, was das rechte Auge undeutlich sieht, das ist die durch ihre Form auffallende Hand. Kurz gesagt: Mit dem linken Auge sieht man einen Teil der Wand deutlich, mit dem rechten die Hand undeutlich. Das Gehirn vernachlässigt bei der Kombination beider Bilder zu einem einzigen den Teil des Handbildes, dem das kreisförmige Wandbild im andern Auge entspricht. So erscheint der betreffende Teil der Wand, wie wenn er durch ein Loch der rechten Hand gesehen wird.

Daß der kreisförmige Teil der rechten Hand nur vernachlässigt wird, nicht etwa ungesehen bleibt, kann leicht gezeigt werden, indem man die Aufmerksamkeit in ähnlicher Weise erregt, wie das einst die Damen durch Schönheitspflasterchen taten. Man bringe ein kleines Stück weißes Papier gerade da an der rechten Hand an, wo die Öffnung erscheinen muß. Dann wird dieses Papier sichtbar werden und bei sorgfältigem Zusehen wird man, auch wenn man immer noch die Wand fixiert, sogar einige der Linien in der Hand entdecken.

In ähnlicher Weise wird man auch Schrift und dergleichen an der Innenseite der Papierrolle bemerken, wenn man dafür sorgt, daß durch eine Öffnung genügend Licht in das Innere fallen kann.

#### 4. Blau und Gelb bringen nicht Grün hervor.

Diejenigen, welche in ihrer Jugend mit einem Farbkasten gespielt haben — und wer hätte es wohl nicht getan? — haben bald gelernt, wenn das grüne Täfelchen verloren gegangen war, sich aus blau und gelb, welches sie miteinander vermischten, ein Ersatzmittel zu schaffen, ebenso aus blau und rosa purpurn und aus rot und gelb orange hervorzubringen.

Wenn man nun fragt, was für eine Farbe man zu sehen erwartet, wenn man das Licht einer Lampe zuerst durch eine gelbe und dann das gelbe durch eine blaue Scheibe gehen läßt, so werden die meisten Menschen antworten — falls sie nicht Verdacht schöpfen, daß man sie aufs Glatteis führen will — daß das Licht grün aussehen wird. Dennoch sind sie im Irrtum.

Zunächst muß man wissen, daß das weiße Tageslicht aus verschiedenfarbigem Lichte zusammengesetzt ist. Das zeigt sich, wenn man das weiße Licht in seine Bestandteile zerlegt. Jeder einen Sonnenstrahl zurückverfende Tau- oder Regentropfen sendet, wenn er in bestimmter Richtung betrachtet wird, statt des weißen Lichtes eine ganze Reihe farbiger Lichtstrahlen in unser Auge, und eine ebensolche Zerlegung beobachten wir, wenn weißes Licht z. B. durch ein prismatisches Stück Glas geht. Die so entstehenden „Regenbogenfarben“ lassen sich auch umgekehrt wieder zu weißem Lichte vereinigen.

Gelbes Glas sieht nun aus zweierlei Gründen gelb aus. Erstens läßt es nur die gelben Strahlen des weißen Lichtes durchfallen, und zweitens hält es alle anderen Strahlen zurück. Der zweite Grund ist genau so wichtig wie der erste. Blaues Glas ist ferner blau, nicht nur, weil es blaue Strahlen durchläßt, sondern weil es alle übrigen Strahlen zurückhält. Durch das gelbe Glas erhält das blaue daher keine blauen Strahlen, auch keine andersfarbigen außer eben gelben Strahlen. Da es keine blauen Strahlen erhält, können auch keine durchfallen. Die gelben Strahlen, die es erhält, können nicht durchfallen, da es unfähig ist, andere als blaue Strahlen durchfallen zu lassen. Andere erhält es aber nicht! Also können überhaupt keine Strahlen durchfallen.

Mit andern Worten: Ein Licht, das sich hinter blauen und gelben Scheiben befindet, verschwindet, wenn die Farben rein und dunkel genug sind. Das Resultat ist also, zum großen Erstaunen aller derjenigen, die grün zu sehen erwarteten, nahezu Dunkelheit.

### 5. Wie man nach einer Farbe sieht und eine andere erblickt.

Man nehme vom Büchergestell ein Buch, welches einen hellen Einband von leuchtender Farbe hat, zum Beispiel ein lebhaftes Rot. Sind Buchstaben darauf gedruckt, so fasse man einen Punkt ins Auge, an dem sich zwei Linien kreuzen. Ist es ohne Zierat oder Schrift, so mache man auf die Oberfläche ein ganz kleines Zeichen. Den Kopf und das Buch halte man nun unbeweglich und fixiere den Punkt während einer oder einer halben Minute. Man darf aber während dieser Zeit den Blick nicht von dem Punkt wenden und auf irgendeine andere Stelle richten. Dieses Festlegen der Blickrichtung steht mit den natürlichen Neigungen im Widerspruch und erfordert feste Willenskraft. Nach ungefähr einer halben Minute betrachte man eine

große, rein weiße Fläche. Dann wird man ein Bild von dem eben betrachteten Gegenstand erblicken, aber nicht in seiner natürlichen Farbe. Die Farbe ist vielmehr die Komplementärfarbe der ursprünglichen, d. h. es ist die Farbe, welche, mit der natürlichen vermischt, weiß ergibt. Ist das Buch hellrot, so ist das „Nachbild“ grün und umgekehrt. Zu gelb gehört blau und zu blau gehört gelb als Komplementärfarbe. Wie erklären sich diese farbigen Nachbilder?

Die lichtempfindlichen Nervenendigungen sind ebenso wie die Nerven der Ermüdung unterworfen. Das dieses richtig ist, können wir jederzeit leicht beobachten. Hat sich die Netzhaut z. B. in einem dunklen Raume oder bei geschlossenem Auge gut ausgeruht, so erscheint eine plötzlich das Auge beleuchtende Lichtquelle bedeutend heller, unter Umständen blendend, als wenn die Netzhaut schon längere Zeit gereizt wurde, ermüdet ist, oder, wie man sagt, sich an das Licht gewöhnt hat. Nun setzt sich das weiße Licht, wie wir wissen, aus farbigen Lichtstrahlen zusammen und kann demgemäß bekanntlich auch in seine farbigen Bestandteile zerlegt werden. Wenn die Netzhaut nun durch und für gewisse Farben ermüdet ist, so braucht sie es noch nicht für die übrigen Farben, die mit den ersten zusammen weiß ergeben, also für die Komplementärfarbe, zu sein.

So kommt es, daß weißes Licht, das auf einen für grün ermüdeten Teil der Netzhaut trifft, Rotempfindung hervorrufen und umgekehrt. Das gleiche gilt für alle anderen Komplementärfarben.

Man kann den Versuch auch so ausführen, daß man die Augen nach dem Fixieren des farbigen Gegenstandes schließt. Es fällt immer noch so viel Licht durch die Augenlider hindurch, daß die Nervenendigungen noch gereizt werden. Oder, wenn das nicht der Fall ist, so wirkt der Reiz des weißen Tages- oder Lampenlichtes, der kurz vorher die Netzhaut traf, doch noch etwas nach. Auch in diesem Falle erhält man deshalb ein sogenanntes „Nachbild“ in den Komplementärfarben.

### III. Die Augen als falsche Zeugen.

#### 1. Entgegengesetzte Bewegungen können gleich aussehen.

Einen überraschend großen Teil dessen, was wir zu sehen glauben, sehen wir gar nicht mit unseren Augen. Es handelt sich vielfach nur um ein Urteil, das wir uns aus unseren Erfahrungen gebildet haben. Dies

erklärt auch die wohlbekannte Tatsache, daß ehrliche Zeugen eines Ereignisses das Gesehene oft ganz verschieden, ja manchmal entgegengesetzt darstellen.

Denken wir uns eine Windmühle in einiger Entfernung. Die Nacht ist dunkel, es befindet sich kein Licht hinter dem Zuschauer, hinter der Mühle ist ein trüber Himmel. Einzelheiten sind nicht sichtbar. Man nimmt nur große Massen wahr, und diese ohne Schatten, aus denen man Schlüsse auf die Form ziehen könnte. Die unter diesen Umständen gesehene Mühle wird durch Figur 56 A dargestellt. Von der Bewegung der Flügel kann man nichts weiter sehen, als daß sie links hinaufsteigen und rechts herunterkommen, wie es auch der Uhrzeiger macht. Ihre Enden beschreiben eine Ellipse, nicht einen Kreis. Dies

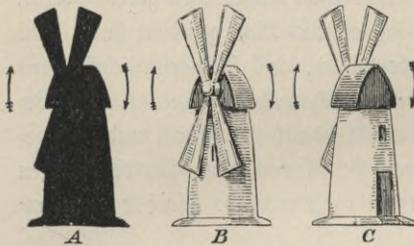


Fig. 56. Vervollständigung der Gesichtsvorstellungen durch den Verstand.

beweist, daß ihre Drehungsebene nicht senkrecht auf der Sehrichtung des Beschauers steht, aber, ob ihm die rechte oder die linke Seite näher ist, kann er nicht beurteilen. Nach den Tatsachen, die der Zuschauer in A sieht, ist gar nicht zu entscheiden, ob die Stellung der Mühle wie in B oder wie in C ist. Aber der

Geist läßt sich nicht durch die Sinneserfahrungen einschränken. Er baut weiter auf unbewußtem Überlegen und instinktiven Urteilen, welche sich aus vorhergegangenen Erfahrungen bilden. Es kann z. B. sein, daß man in jener Gegend die Windmühlen alle derart baut, daß ihre Flügel sich in der gleichen Richtung drehen. Nehmen wir an, die Regel wäre derart, daß, wenn der Zuschauer dem Winde den Rücken zugehrt, er die Flügel wie einen Uhrzeiger herumgehen sieht. In diesem Falle würde ein Müller, wenn er bemerkt, daß der Wind von rechts nach links weht, beim Anblick der Mühle sicher sein, daß er die Vorderseite der Flügel vor sich habe, und daß die Anordnung wie in B ist; denn in dieser Richtung allein kann der Wind die Flügel in Zeigerart herumdrehen.

Der Müller jedoch, der da weiß, daß gerade diese Flügel gegen die Regel gebaut sind, daß sie sich also von rechts nach links drehen, sobald ein Zuschauer, der den Wind im Rücken hat, sie beobachtet, würde

beim ersten Blicke auf das in *A* dargestellte Bild wissen, daß die einzig mögliche Anordnung, wenn der Wind von links kommt, die in *C* gezeichnete ist.

So können also zwei Zeugen, beide kompetente Männer, von einer und derselben Sache, die sie zu gleicher Zeit und vom selben Platz gesehen haben, einen ganz entgegengesetzten Eindruck haben.

Bei unkundigen Beobachtern wird es immer Zufallsache sein, ob sie in der Erscheinung *A* die Anordnung *B* oder *C* zu sehen glauben. Wenn sie aber in einem Falle eine dieser Anordnungen als die richtige kennen gelernt haben, so wird sich diese so fest einprägen, daß es bei den meisten Personen nachher unmöglich ist, in der Erscheinung *A* die andere Anordnung zu sehen. Der erste Eindruck hinterläßt eine ebensolche Überzeugung wie technisches Wissen, und von solchen Leuten können wir leicht eine aufrichtig gemeinte aber doch gänzlich falsche Auskunft erlangen.

Eine ähnliche Erscheinung können wir an einem kleinen Boot beobachten, das man am fernen Horizont nach Sonnen

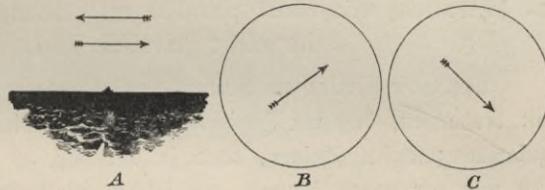


Fig. 57. Falsche Ergänzung unvollkommener Gesichtswahrnehmungen.

untergang am Abendhimmel sieht. Fig. 57 *A* gibt uns eine Anschauung von der Entfernung und der Kleinheit des Gegenstandes. Das Boot ist zu weit entfernt und zu schlecht beleuchtet, um die Stellung der Segel oder die Richtung des Bootes selbst unterscheiden zu können. Nach wenigen Minuten der Beobachtung jedoch sehen wir, daß es sich in der Richtung des unteren Pfeiles bewegt. Da der Wind in der Richtung des oberen Pfeiles weht, ist es klar, daß es kreuzt, in welcher Richtung jedoch, das kann man nicht sehen. Aus der Vogelperspektive, also etwa von einem Ballon aus, der sich über jenem Teile des Meeres befindet, könnte man wohl sehen, ob sich das Boot in der Richtung *B* oder *C* bewegt; bei seitlicher Beobachtung ist eine Entscheidung unmöglich. Hier kommt nun wieder der Einfluß der Erfahrung und des unbewußten Urteils in Betracht.

Ein Fischer, welcher zufälliger Weise dieses Boot am Horizont beobachtet hat, und nur sehen konnte, daß es sich nach rechts gegen den Wind bewegte, der jedoch mit den Fischereigebräuchen jenes Küstenstriches

wohl vertraut ist, würde, ohne weiter darüber nachzudenken, zu sich sagen: „Sieh, da kommt der erste Kutter der Fischerflotte in den Hafen zurück.“ Er würde instinktiv fühlen, daß das Boot in der Richtung *C* kreuzt, und würde bereit sein zu bezeugen, daß er ein Boot auf die Küste zusegeln sah.

Aber ein im Hafen Ansässiger, welcher weiß, daß die Flotte des Hafens noch für mehrere Stunden nicht zurückerwartet wird, und welcher weiß, daß ein Boot nach Westen gesegelt ist, und zwar vor genügend langer Zeit, um jenen Punkt erreicht zu haben, würde jederzeit bereit sein, uns zu bezeugen, daß er zu jener Stunde ein Schiff sah, das in der Richtung *C* von der Küste fortsegelte.

So können zwei ehrliche und scheinbar kompetente Beobachter der gleichen Bootsbewegungen zu gleicher Stunde nachher getreulich Zeugnis ablegen, der eine, daß er das Boot in den Hafen, der andere, daß er es hinaussegeln sah.

## 2. Parallele, die nicht parallel erscheinen, und Parallele, die nicht parallel sind.

Wenn die Wolken am Himmel streifig angeordnet sind, kann man oft beobachten, daß am Horizont alle Wolkenlinien in einem Punkte zusammenzulaufen scheinen, etwa so wie Fig. 59 es veranschaulicht. Ist nun der ganze Himmel mit solchen Wolkenstreifen bedeckt, und wendet sich der Beobachter um, so zeigt sich manchmal, daß die Linien auch in einem dem ersten genau gegenüberliegenden Punkte zusammenzulaufen scheinen. Diese Erscheinung ist aber nicht immer ganz leicht zu sehen. Zuweilen sind die Wolken abgerundet und nicht klar in Linien angeordnet. Aber selbst solche unregelmäßigen Wolken kann man bei näherem Zusehen oft noch in Reihen und Linien ordnen, und wenn man dann diese Wolkenlinien prüft, so wird man stets zwei entgegengesetzte Konvergenzpunkte finden.

Ist diese Wolkenanordnung nun recht deutlich, so ist es für den Beschauer kaum möglich, an dem Zusammenlaufen der Wolkenlinien zu zweifeln. Dennoch haben wir es hier mit einer der vielen Täuschungen zu tun. Die Wolkenlinien sind tatsächlich parallel, sie laufen überhaupt nicht zusammen.

Wenn wir irgendwelche langen, geraden Linien betrachten, die parallel sind, so scheinen sie stets an jenem Ende, das am weitesten von uns entfernt ist, zusammenzulaufen. Sehen wir zum Beispiel an

der Innenseite eines Tunnels entlang dem Ein- oder Ausgang zu (Fig. 60 A), oder betrachten wir die Eisenbahnschienen der Fig. 58, so sehen wir die Schienen und die übrigen Linien des Tunnels, von

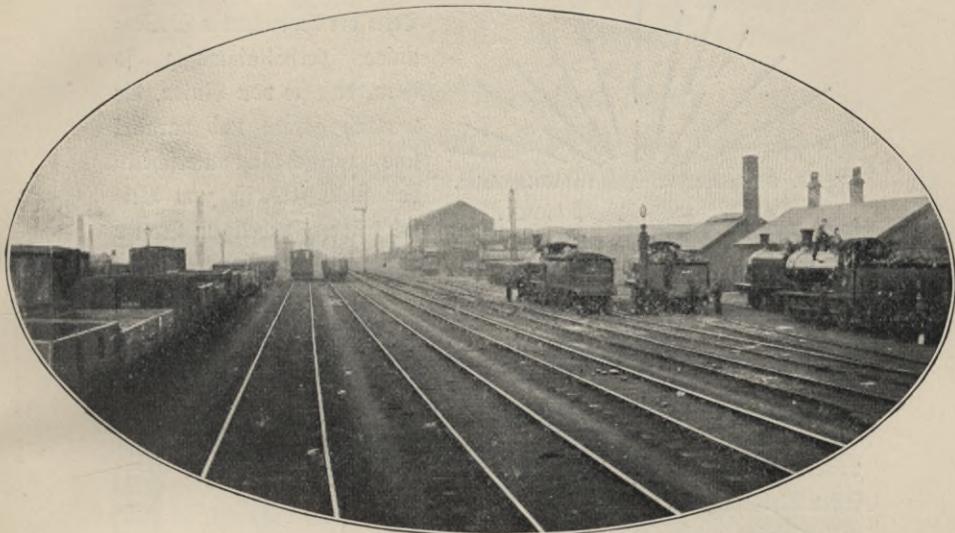


Fig. 58. Eisenbahnschienen in der Perspektive.

welchen wir wissen, daß sie parallel sind, am Ende sich nahezu vereinigen. Oder sehen wir einen geraden Weg entlang, der vielleicht an einer Seite von einem Gitter, an der anderen von einer Mauer begrenzt ist (Fig. 60 B), so beobachten wir die gleiche Erscheinung. Das ist eine ganz bekannte Tatsache. Sie bildet eines der Gesetze der Perspektive.

Es würde zu weit führen, wenn wir die Erscheinung ganz bis ins einzelne erklären wollten. Es muß hier genügen, zu sagen, daß wir eine Strecke um so kleiner sehen, je kleiner der Schinkel ist, unter dem sie erscheint, d. h. je weiter sie vom Beobachter entfernt ist. Dabei versteht man unter dem Schinkel den Winkel, der von den Verbindungslinien des Auges mit den Endpunkten der Strecke gebildet wird. Deshalb sieht nun auch die Entfernung von zwei parallelen Geraden um so kleiner aus, je weiter die Linien sich von uns entfernen.

Diesem Perspektivengesetz, das wir häufig an Alleen, Säulengängen, Deichen und vielen anderen Dingen beobachten, sind nun auch die

Wolkenreihen unterworfen. Selbst wenn die Wolkenlinien, durch Luftwirbel hervorgerufen, in Wirklichkeit Teile konzentrischer Kreise oder auseinanderlaufender Radien sind, so sind doch diese Kreise von so

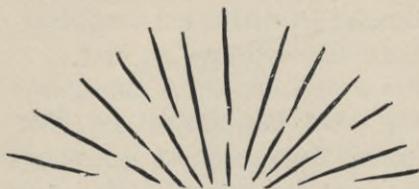
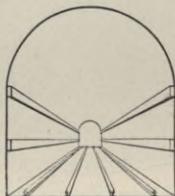


Fig. 59. Scheinbare Konvergenz von Wolkenlinien.

ungeheurer Größe, und die Teile der beobachteten Wolkenlinien verhältnismäßig so klein, daß sie von Linien, die wirklich gerade und parallel sind, praktisch nicht unterscheidbar sind. Es ist zum Beispiel auch ganz gut möglich, daß jemand bei trübem, nebligem Wetter der Einfriedigung, die um eine Rennbahn herumführt, folgt, in der Meinung, einen geraden Weg eingeschlagen zu haben. Ebensovohl ist es gängig, daß sich zwei Personen von der Einfriedigung fortbewegen wollen und zwar in Linien, die im rechten Winkel zu derselben stehen und auch nicht weit voneinander entfernt, in der festen Meinung, daß die Wege parallel laufen, während sie sich in Wirklichkeit im Zentrum treffen.



A



B

Fig. 60. Beispiele zum Gesetz der Perspektive.

Sind nun parallele Wolkenlinien dem erwähnten Perspektivgesetz unterworfen, so scheinen sie einander um so näher zu sein, je weiter sie sich von uns entfernen. Oberhalb unseres Kopfes sind sie uns am nächsten. Da erscheinen sie deshalb auch parallel. Vor und hinter uns jedoch, bei zunehmender Entfernung, scheinen sie sich einander zu nähern. Bei der Annäherung an den Horizont scheinen sie gar in einem etwas unter

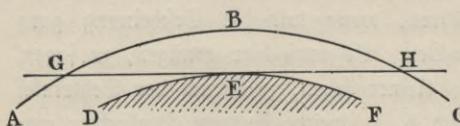


Fig. 61. Kugelgestalt des Wolkenhimmels.

dem Horizont liegenden Punkte zusammenzulaufen.

Bei den Wolken wird diese Wirkung noch verstärkt durch die Tatsache, daß die Enden der Linien tatsächlich tiefer stehen als die Mitte. Schon wenn das Wolkenfirmament eine Ebene wäre, so würden, nach dem Perspektivgesetz, die Wolkenlinien dem Horizont näher scheinen als der mittlere Teil dem Beobachter und der Erdoberfläche. Das

Wolkenfirmament ( $ABC$  in Fig. 61) ist aber keine Ebene, sondern eine Kugelfläche, die mit der Erdoberfläche  $DEF$  konzentrisch ist und den Horizont  $GEH$  tatsächlich schneidet. Da nun dem Beobachter  $E$  die Punkte  $G$  und  $H$  näher erscheinen als der Punkt  $B$ , so wird die scheinbar fächerförmige Anordnung der Wolkenlinien nur noch desto auffallender.

### 3. falsche Beurteilung von Höhen.

Der Anblick einer Landschaft ruft häufig, was die höhere und tiefere Lage ihrer Teile betrifft, ganz falsche Eindrücke in uns hervor.

Radfahrer, die sehr kleine Unterschiede in der Ebenheit des Bodens leicht bemerken, merken nicht selten, daß ein Weg, der sich scheinbar ziemlich steil vor ihnen erhob, in Wirklichkeit horizontal, ja, manchmal sogar etwas abwärts ist. Häufiger jedoch macht man die unangenehme Wahrnehmung, daß der Teil des Wegs, bei dem man auf bequemes Fahren hoffte, mehr oder weniger ansteigt.

Derartige Fehler werden gewöhnlich häufiger von dem Urteil als von dem Auge begangen. Wir mißdeuten die Eindrücke, die durch eine horizontale Ebene hinter einer Steigung oder eine Senkung jenseits einer horizontalen Ebene, durch allmähliche Erweiterung oder Verengung des Wegs, durch einen in den Schatten hinein oder aus ihm heraus führenden Weg, durch eine Zu- oder Abnahme in der Größe der am Wege stehenden Bäume und vieles andere hervorgerufen werden.

Wenige, aber wohlbekanntere Beispiele sollen das genauer erläutern. Wir finden oft, daß ein Land, das uns von einem hohen Berge aus flach wie ein Tisch erschien, in Wirklichkeit leicht gewellt, selbst hügelig oder bergig ist, mit Erhebungen und Senkungen, hochliegenden Schlöffern und tiefen Schluchten, großen hängenden Matten und Flüssen zwischen steilen, bewaldeten Geländen. Die große Höhe, in der wir uns befanden, war an dem falschen Bilde schuld. Sie glättete alle Hügel und ließ das Land langweilig eben erscheinen.

Wenn wir jedoch — es wird wohl sehr befremdlich klingen — von einer gleich großen Erhebung auf einen bedeutenderen Hügel sehen, der sich auf der anderen Talseite befindet, so wird uns derselbe steiler und höher erscheinen, als wenn wir ihn von unten sehen. Ebenso erscheint uns die See, wenn wir von einem naheliegenden Hügel auf dieselbe herabsehen, wie ein recht bedeutender Hügel, der sich von der Küste an erhebt. So bewirkt die Betrachtung einer Landschaft aus

großer Höhe manchmal eine Verkleinerung der Hügel bis zu vollständigem Verschwinden, manchmal eine Vergrößerung derselben, ja manchmal täuscht sie Hügel vor, wo gar keine sind.

Diese sich widersprechenden Wirkungen sind zum Teil die Folge der Art, wie tatsächlich vorhandene Verhältnisse sich im Auge darstellen, zum Teil aber beruhen sie auf irrigen Urteilen, die dadurch hervorgerufen werden, daß wir das gewohnheitsmäßige Urteil, das unter gewöhnlichen Verhältnissen erworben ist, für außergewöhnliche Fälle anwenden.

Liegt der Aussichtspunkt tief unten, so wird das Dasein von Hügeln und Tälern dadurch recht deutlich, daß die höher gelegenen Teile die Aussicht auf den niedrigeren Boden hinter ihnen verdecken. Befindet sich der Aussichtspunkt aber sehr hoch oben, so fehlt dem Auge dieser

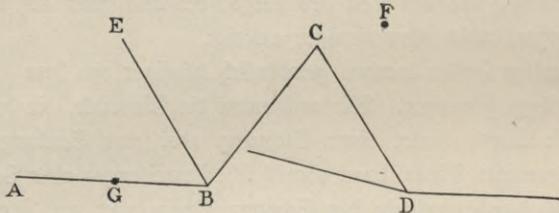


Fig. 62. Zur Erklärung der falschen Abschätzung von Steigungen und Höhen.

Führer für die Beurteilung des Landes, denn das Auge sieht gleicherweise nieder auf die Oberfläche der Hügel, wie auf die der Täler, und die Höhenunterschiede zwischen den höheren und tieferen Teilen sind so gering im Vergleich zu ihrer Entfernung vom Auge des Beobachters, daß sie von demselben kaum bemerkt werden. In solchen Fällen fehlt es der Aussicht scheinbar an Höhen und Tiefen.

In jenen Fällen, wo wir größere Höhen, als wirklich existieren, sehen, irrt sich mehr das Urteil als das Auge. Nehmen wir an, daß  $AB$  (Fig. 62) einen Strich flachen Landes darstellt und  $BCD$  einen Hügel. Vertraut mit dem horizontalen Boden, beurteilen wir die Steilheit und Höhe des Hügels nach der Größe des Winkels  $ABC$ .

Wenn aber anstatt der ebenen Fläche  $AB$  sich ein Hügel mit dem Abhang  $BE$  erhebt, und wir von  $E$  nach dem Hügel  $BCD$  schauen, so haben wir nun  $EB$  statt  $AB$  als Grundlinie und die Seite des gegenüberliegenden Hügels  $BC$  bildet mit seiner Grundlinie den Winkel  $EBC$ , der viel kleiner ist als der Winkel  $ABC$ . Obgleich wir wissen, daß

die Grundlinie  $EB$  nicht horizontal ist wie  $AB$ , haben sich in unserem Geist bestimmte Grade von Steilheit und Höhe so fest mit bestimmten Steigungswinkeln der Abhänge verknüpft, daß uns  $BC$  weit steiler und  $C$  weit höher erscheint als vorher. Und wenn wir von einer an der Küste liegenden Höhe auf die See sehen, so erhalten wir aus demselben Grunde leicht den Eindruck, als ob die Oberfläche des Meeres vom Beschauer aus hügelartig ansteigt.

Die Höhe eines Hügels, wie sie von einem gegenüberliegenden Hügel aus gesehen wird, kann aber auch durch zwei verschiedene Ursachen gesteigert werden.

Jedwede Höhe erscheint von ihrer Spitze gesehen bedeutender als von unten. Wir sehen die Höhe eines Baumes, eines Kirchturmes oder auch eines steilen Hügels weit häufiger von unten als von der Spitze. Haben wir nun einmal Gelegenheit, einen Turm von der Spitze aus zu sehen, so macht seine Höhe einen viel stärkeren Eindruck und erscheint uns infolgedessen viel größer. Daher erscheint uns also auch ein Hügel von seiner Spitze aus gesehen höher als vom Tale, und ein gegenüber liegender Hügel von gleicher Höhe nimmt an dieser Zunahme der scheinbaren Höhe teil.

Endlich werden einem Beobachter, der sich auf einer gegenüberliegenden Höhe befindet, oft höhere Teile eines Hügels sichtbar, die von unten nicht zu sehen waren. Kehren wir noch einmal zu der Fig. 62 zurück, so finden wir, daß, wenn der Hügel  $BCD$  einen zweiten höheren Gipfel  $F$  hat, dieser von  $B$  oder  $G$  auf dem horizontalen Boden unsichtbar ist, da er von dem Abhänge  $C$  verdeckt wird. Erklimmt man aber den gegenüberliegenden Hügel  $E$ , so wird er sichtbar. So gibt es verschiedene Gründe, weshalb ein Hügel von einer gegenüberliegenden Höhe gesehen größer erscheint, während andererseits kleine Hügel, die man von einem hohen Berge sieht, ihre tatsächlich vorhandene Höhe zu verlieren scheinen und sich vom ebenen Boden nicht mehr unterscheiden lassen.

#### 4. Scheinbare Lückenlosigkeit (Kontinuität) von Gesichtswahrnehmungen.

Unser Auge nimmt an der Oberfläche und im Bau der Körper große Unterschiede wahr. Ein Schwamm, ein Haufen von Körnern, von Zucker oder Sand, alle diese Dinge sind deutlich porös, d. h. sie be-

stehen aus unvollkommen zusammenhängendem Stoff. Sandstein, Ziegelsteine, Papier zeigen diesen Bau nicht so deutlich. Bei etwas genauerer Beobachtung erkennt man jedoch, daß auch sie aus teilweise getrennten Teilen, zwischen denen sich Hohlräume befinden, bestehen.

Viele andere Stoffe scheinen von ganz anderer Beschaffenheit zu sein. Die Oberfläche der Haut, des Nagels, eines Glases oder eines Metallgegenstandes, ein Stück Wachs oder Blei, alle diese Dinge scheinen vollkommen zusammenhängend zu sein und keine Hohlräume zu haben.

Nähere Beobachtung lehrt jedoch, daß der gewonnene Eindruck irrig ist. Der Flügel eines Schmetterlings oder ein Blumenblatt sind, so glatt sie dem Auge auch erscheinen, doch alle aus vielen kleinen Teilen, gleichwie ein Haus aus Ziegelsteinen, aufgebaut.

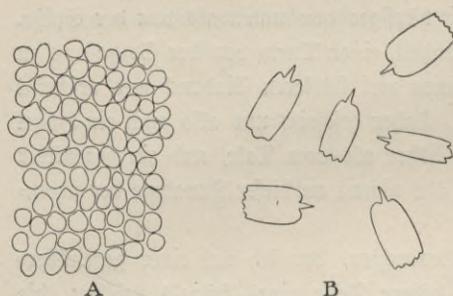


Fig. 63. Beispiele für scheinbare Continuität.

Betrachtet man ein Blumenblatt durch das Mikroskop, so findet man, daß dasselbe wie in Figur 63 A aussieht; die runden oder abgerundeten Teilchen sind getrennte, farbige Zellen, zwischen denen sich farblose Teile befinden. B zeigt uns, ebenfalls stark ver-

größert, die Schuppen eines Schmetterlingsflügels. In ihrer natürlichen Lage auf dem Flügel sind sie alle in gleicher Richtung befestigt, die eine greift über die andere gleich den Ziegeln eines Daches.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich an anderen Dingen schon ohne die Hilfe des Mikroskops. Das Feld, das im Mai in einer Entfernung von einem Kilometer wie ein großes Stück glänzenden Smaragds aussieht, besteht in Wirklichkeit aus Millionen von getrennten Grashalmen. Und wenn im September gewisse Flächen unseres Vaterlandes aus der Ferne in einen riesengroßen Purpurmantel gehüllt erscheinen, so sind es in Wirklichkeit zahllose, vom Abendsonnenstrahl getroffene Heidekrautblüten, die uns eine nicht vorhandene Lückenlosigkeit (Continuität) vortäuschen.

So müssen wir stets auf der Hut sein, eine Substanz für lückenlos zu halten, weil sie so aussieht. Die Sache ist einfach die, daß es eine Grenze für die Kleinheit der in unseren Augen entstehenden

Bilder gibt, wo diese keine Einzelvorstellungen in unserem Gehirn mehr hervorrufen können. Sind ihrer dann viele beieinander, so vereinigen sie sich zu gemeinsamer Wirkung und rufen den Eindruck der Kontinuität (Lückenlosigkeit) hervor, wo in Wirklichkeit das Gegenteil, nämlich Diskontinuität, vorhanden ist.

## IV. Die Ohren als falsche Zeugen.

### 1. Das Bauchreden.

Das Ohr kann nicht beurteilen, aus welcher Richtung oder aus welcher Entfernung ein Ton kommt. Es kann nur die Stärke, Höhe und Klangfarbe wahrnehmen. Daraus kann dann allerdings das Gehirn seine Schlüsse ziehen.  $\times B$   $\times C$   $D \times$

Wir beginnen mit folgendem Experiment (Fig. 64). Jemand setzt sich mit verbundenen Augen auf einen Stuhl.  $\times A$

Zwei andere Personen stehen neben ihm, zu jeder Seite eine. Eine von ihnen hält in der Hand zwei Münzen, mit denen sie klappern kann. Sie kann sich auch irgendeines anderen Gegenstandes, mit dem sie ein leises Geräusch hervorzubringen vermag, bedienen. Das Geräusch wird an verschiedenen Orten in der Symmetrieebene des Kopfes erzeugt, und jedesmal wird der Sitzende gefragt, aus welcher Richtung das Geräusch kommt. Um die Hinweise, die durch das Geräusch der Glieder und Ärmel gegeben werden, aufzuheben, bewegt die andere Person ihre Hand jedesmal nach einem anderen Ort der Symmetrieebene.  $F \times$



Fig. 64. Falsche Bestimmung der Schallrichtung.

Der Sitzende hat tatsächlich keine begründete Vorstellung davon, wo der Ton entsteht. Er kann ja manchmal richtig raten, aber meistens gibt er einen unrichtigen Ort an. Er wird häufig angeben, daß ein Ton von  $D$  kommt, wenn er in Wirklichkeit von  $A$  kommt, und wird einen Ton, der von  $F$  kommt, für einen in  $C$  erzeugten halten.

Es läßt sich allerdings einiges über die Richtung sagen, aber nicht auf Grund der Angaben des Ohres allein. Die vom Ohre wahrgenommenen Tatsachen müssen vielmehr erst vom Verstand durchgearbeitet werden. Das geschieht manchmal so schnell, daß es eher instinktive als verstandesmäßige Tätigkeit zu sein scheint. Wenn z. B. bei dem beschriebenen Experiment das Geräusch ein wenig seitwärts von der Mittellinie hervorgebracht wird, so wird es auch von dem Ohre auf jener Seite deutlicher gehört, und die Versuchsperson gibt dann die Seite in der Regel richtig an. Wenn wir ferner beurteilen wollen, in welcher Gegend ein Ruckuck ruft, so finden wir durch Probieren diejenige Stellung des Kopfes, bei welcher der Ton für das Ohr am lautesten ist. Drehen wir den Kopf um, so zeigt sich, daß der Ruf nun vom anderen Ohr am stärksten wahrgenommen wird. Wir urteilen also, daß der Ton von jener Seite kommt. Man sieht ein, daß hierbei das Ohr uns nur Angaben über die Tonstärke, nicht über die Schallrichtung macht. Erst unser Verstand zieht aus unserer Stellung und der Tonstärke weitere Schlüsse.

Ebenso ist das Ohr nicht fähig, die Entfernung eines Geräusches wahrzunehmen. Die folgenden Beispiele, die beide von dem Verfasser selbst beobachtet wurden, werden das zeigen. Zwei Personen schliefen in einem großen Zimmer, ihre Betten waren vielleicht 4 m voneinander entfernt. In der Stille der Nacht hörte der eine ein schwaches Geräusch, wie wenn jemand auf dem Kieswege, der dicht unter dem Fenster vorbeiführt, vorsichtig gehe, dann kurze Zeit stillstehe, gleichsam horchend oder in die Fenster schauend, und dann wieder leise weiter gehe. Er fragte seinen Freund, ob er jemand über den Kies schleichen höre und ging, als dieser die Frage bejahte, zu einem der Fenster, um hinauszuschauen und zu horchen. Aber er hörte und sah nichts und ging wieder ins Bett. Dasselbe ereignete sich ein zweites Mal und zwar mit demselben Resultat. Als er das Geräusch zum dritten Male hörte, stürzte er zum Fenster hin, riß es schnell auf und, indem er sich hinauslehnte und Umschau hielt, rief er den Fremdling an. Wieder war nichts zu sehen und zu hören. Als er nun das Fenster geschlossen hatte, horchte er sehr genau, bis das Geräusch wieder entstand und entdeckte seinen Ursprung in dem Flattern eines Schmetterlings zwischen Vorhang und Glas des Fensters. Das schwache Geräusch in demselben Zimmer hatte so genau ein stärkeres, weiter entferntes nach-

geahmt, daß zwei Leute, die sorgfältig horchten, vollkommen getäuscht wurden.

Nicht die Ohren hatten sie irregeführt. Die Ohren hatten lediglich Auskunft über Tonhöhe, Tonstärke und Tondauer gegeben und hieraus hatte der Verstand bezüglich der Richtung und des Ursprunges falsche Schlüsse gezogen, weil es an der nötigen Zahl von Beobachtungen, die unter verschiedenen Umständen angestellt waren, fehlte.

Noch ein Beispiel ähnlicher Art! Jeder, der einige Zeit, etwa im August, in einer ackerbautreibenden Gegend zugebracht hat, kennt das laute Geräusch, das von der Dreschmaschine hervorgebracht wird, und weiß, daß es leicht erkennbar ist. Dieses Geräusch wurde einst deutlich in stiller Nacht gehört, so laut, wie wenn es von einem Bauernhof käme, der vielleicht  $\frac{1}{2}$  km entfernt war, zuweilen aufhörend, dann wieder einsetzend, manchmal lauter, manchmal leiser, wie wenn der Wind die Richtung und Geschwindigkeit des Schalles veränderte. Nun handelte es sich aber um die Vorstadt einer größeren Stadt, und der nächste Bauernhof lag 2 km entfernt hinter mehreren Hügeln; keine Dreschmaschine konnte so weit gehört werden. Überdies war es Mitternacht, und keine Dreschmaschine konnte zu dieser Zeit arbeiten. Eine sorgfältige Untersuchung zeigte, daß das Geräusch in gewissen Teilen des Zimmers deutlicher zu hören war als in anderen. Indem wir dieser Fährte folgten, fanden wir bald eine Stelle, wo das Geräusch sehr deutlich war und allerlei von jenen Nebengeräuschen aufwies, durch welche es genauer erkennbar wird. Schließlich stellte sich heraus, daß es von einem engen Spalt zwischen der Holzverkleidung des Fensters und der Mauer ausging, wo etwas Mörtel heruntergefallen war. Der Wind blies durch diese Spalte und versetzte ein bewegliches Stückchen der Tapete, das über die Verkleidung vorragte, in Schwingungen. Dieses wirkte so wie die Zunge eines Blasinstruments und brachte Laute hervor, deren Stärke sich mit der Stärke des Windes veränderte.

Hier gibt wieder das Ohr Auskunft über Stärke, Höhe und Klangfarbe der Töne, der Verstand aber baut darauf anfangs falsche Schlüsse bezüglich der Herkunft des Schalles. Gewöhnlich folgt die Bildung des Urteils durch den Verstand unmittelbar auf die Wahrnehmung des Schalles durch das Ohr. Deshalb glauben wir meistens nicht nur zu hören, was für ein Ton es ist, sondern auch, woher er kommt. Dennoch ist die Bildung des Urteils verschieden von der Wahrnehmung des Schalles

mittels des Ohres und, je nachdem die anderen Bedingungen verschieden sind, kann auch das Urteil ein ganz verschiedenes werden.

Von dieser Tatsache macht auch der Bauchredner Gebrauch. Wenn jemand auf der Dachrinne entlang geht, so wird seine Stimme murmelnd und schwach ins Innere des Hauses dringen. Wenn er weiter ans Ende des Gebäudes geht, so wird sie schwächer und schwächer werden. Sitzen wir in einem Zimmer des Hauses, so kann unser Ohr uns über Richtung des Schalls und Entfernung der Person nichts sagen. Unser Verstand aber wird aus der Veränderung der Stimme schließen, daß ihr Besitzer von uns fort geht. Wenn gar die Stimme selbst uns sagen würde, daß ihr Besitzer die Dachrinne entlang geht, so würde diese Suggestion in uns leicht Wurzel schlagen. Wenn endlich jemand der draußen befindlichen Person etwas zurufen und verständige Antwort bekommen würde, so würde die Suggestion unwiderstehlich werden.

Das sind die Bedingungen, unter denen der Bauchredner arbeitet. Wenn die Reihe zu sprechen an dem Manne auf dem Dach ist, bringt der Bauchredner murmelnde und schwache Laute hervor, wenn die Reihe an ihm selbst ist, spricht er mit voller, klarer Stimme, um den Kontrast mit der andern Stimme recht deutlich zu machen. Der Gegenstand seiner Bemerkungen und derjenigen seines angeblichen Partners vervollständigt die Suggestion. Der einzige schwache Punkt in dieser Täuschung könnte sein, daß die angebliche Stimme der außen befindlichen Person tatsächlich von dem Mann auf der Bühne kommt, d. h. aus falscher Richtung. Da aber das Ohr die Richtung nicht angibt und der Verstand mit Gründen zur Bildung eines falschen Urteils versorgt wird, so ist das in Wirklichkeit kein schwacher Punkt.

Hier sei bemerkt, daß die Bezeichnung „Bauchredner“ nicht gut ist. Der Bauchredner muß vor seinen Zuhörern die Tatsache verbergen, daß, wenn die Reihe an seinem angeblichen Partner ist, er tatsächlich selbst spricht. Zu diesem Zwecke benützt er verschiedene Kunstgriffe. Durch allerlei Gesten lenkt er die Augen der Zuhörer von sich ab. Indem er sich seitwärts beugt und die Hand an das Ohr hält, offenbar, um genau zu hören, ist er bestrebt, seine Lippen soweit wie möglich zu verbergen. Wenn er sein Gesicht nicht verbergen kann, so beschränkt er die Bewegung der Lippen auf das allernötigste. Es überrascht, zu sehen, wie geringe Gesichtsbewegungen ein geschickter Darsteller nötig hat. Dabei hilft der Umstand mit, daß oft nur undeutliches oder murmelndes Sprechen

erforderlich ist. Die Benutzung der Lippen wird so gut verborgen, daß manche Leute wohl glauben, der Darsteller bringe die Stimme in einer tieferen Region hervor: daher der Name „Bauchredner“.

## 2. Scheinbare Lückenlosigkeit von Schalleindrücken.

Die Begrenztheit unserer Sinneswahrnehmungen, was die Kleinheit der Reize anbetrifft, hat nicht nur auf dem Gebiete des Sehens, sondern auch auf dem des Hörens irrige Vorstellungen zur Folge.

Wenn wir einen langgezogenen, sanften Ton vernehmen, so haben wir die Empfindung, als ob die Ursache dafür nur in einem ganz ununterbrochen auf unser Ohr wirkenden Reiz zu suchen sei. Tatsächlich ist das aber nicht der Fall. Der sanfteste Ton wird durch eine Reihe von Luftwellen, die durch eine Aufeinanderfolge von Stößen auf die Luft veranlaßt wird, hervorgebracht. Diese Stöße werden bei Musikinstrumenten durch irgendwelche schwingenden Teile, bei Zungenpfeifen z. B. durch ein schwingendes Plättchen, die sogenannte Zunge, erzeugt.

Die Zahl der zur Hervorbringung eines Tones erforderlichen Stöße ist sehr verschieden; die tiefsten musikalischen Töne werden durch ungefähr 40, die höchsten durch 4000 Schwingungen in der Sekunde erzeugt. Wir können jedoch noch Töne wahrnehmen mit Schwingungszahlen zwischen 16 und 38000 in der Sekunde.

Man könnte nun denken, daß, wenn Töne durch eine Aufeinanderfolge von Luftstößen hervorgebracht werden, wir dann auch eine Aufeinanderfolge getrennter Eindrücke haben müßten. Unter gewissen Umständen ist das in der Tat der Fall. Wenn ein Mann mit sehr tiefer Stimme spricht, während er seinen Rücken gegen eine Banklehne preßt, so kann seine Stimme von einer anderen Person, die sich auf dieselbe Lehne stützt, in Gestalt von Schwingungen wahrgenommen werden. Oder man legt die Hand auf Brust oder Rücken des Betreffenden, während er spricht und veranlaßt ihn, etwa das Wort „neunzehn“ auszusprechen. Wenn wir versuchen, Baßtöne hervorzubringen, die tiefer sind als die tiefsten Töne der Musikskala, so beginnen wir selbst mit dem Ohre die getrennten Schwingungen wahrzunehmen, denen diese Töne ihren Ursprung verdanken. Das ist auch der Grund, weshalb die Tonskala der Musik kleiner ist als die Skala der gehörten Töne.

Wie kommt es nun, daß die Schwingungen, falls sie eine gewisse Geschwindigkeit haben, nicht getrennte Eindrücke hervorrufen, sondern

Töne, die uns erscheinen, als ob ihre Ursache ein gleichmäßiger, ununterbrochener Zustand wäre? Es beruht darauf, daß Gehörs- ebenso wie Gesichtseindrücke nicht in dem Augenblicke aufhören, wo der Reiz — also die Schallwelle — aufhört, sondern eine bestimmte Zeit andauern. Darauf beruht ja die Wirkung des Kinematographen. Da die vorgeführten Bilder überaus schnell wechseln, so ist der durch ein Bild im Auge hervorgerufene Eindruck noch vorhanden, wenn der nächste durch ein sehr ähnliches Bild erzeugt wird. Deshalb bemerken wir gar nicht, daß ein Bildwechsel stattfindet, und so kommt eine Wirkung zustande, wie wenn ein allmählicher Wechsel an einem und demselben Bilde stattfände.

So geht es nun auch mit Ton und Gehör. Jeder Gehörseindruck dauert eine gewisse Zeit an, und während er noch nachwirkt, entsteht schon ein anderer von gleicher Art, gleichsam als Fortsetzung des ersten. So erzeugt eine Reihe von einzelnen Schallbewegungen eine zusammenhängende Schallempfindung, einen Ton, immer vorausgesetzt, daß die Schwingungen schnell genug aufeinander folgen.

Hier haben wir wieder ein Beispiel dafür, daß unsere Sinne als Werkzeuge für wissenschaftliche Untersuchung (ohne Hilfe künstlicher Werkzeuge) unbrauchbar sind. Wenn sie nicht durch die Einwirkung dessen, was wir Zivilisation nennen, abgestumpft sind, sagen sie uns gewöhnlich sehr deutlich alles, was für uns als tierähnliche Wesen zu wissen nötig ist; aber sie sind unzuverlässig, wenn es darauf ankommt, die tieferen Ursachen der Erscheinungen zu ergründen.

## V. Das Gefühl als falscher Zeuge.

### 1. Das Wärmere erscheint kälter.

Wärme und Kälte sind Begriffe, die nur in Beziehung aufeinander Sinn haben, indem beide nur verschiedene Grade desselben Zustandes bedeuten; es sind sogenannte „relative Begriffe“. Das gleiche gilt von unseren Wärme- und Kälteempfindungen. Einen Gegenstand nennen wir warm oder kalt, je nachdem seine Temperatur höher oder tiefer ist als die normale Temperatur unseres Körpers ( $37^{\circ}\text{C}$ ). Nun kann aber der Körperteil, etwa die Hand, welcher zur Prüfung der Temperatur dient, selbst vorher abgekühlt oder erhitzt sein. Daraus ergeben sich auf fallende Täuschungen.

Man fülle 4 Gefäße mit Wasser. Die eine Wassermenge sei so warm, wie sie sein kann, ohne für die Hand unangenehm zu werden, die andere (*B*) kalt, und die beiden letzten (*C* und *D*) erhält man, indem man gleiche Teile der beiden ersten mischt, so daß ihre Temperatur eine mittlere ist. Nun lasse man eine Person, welche diese Vorbereitungen nicht gesehen hat, und der die Augen verbunden sind, um zu verhindern, daß sie von dem warmen Wasser Dampf aufsteigen sieht, die eine Hand eine Minute lang in das Wasser *A*, die andere in das Wasser *B* tauchen und dann sagen, welches das wärmere ist. Sie wird natürlich sagen, daß *A* wärmer ist als *B*. Nun lasse man die Hände herausziehen und bringe sie sofort in das Wasser *C* und *D*. Dann wird die Versuchsperson sicher sagen, daß *D* wärmer ist als *C*, wenn sie nicht den Versuch von früher her kennt und sich ein Vergnügen daraus macht, ihn zu stören.

Die Ursache des Irrtums ist sehr einfach. Die in das Wasser *C* getauchte Hand war vorher durch das Wasser *A* erwärmt worden; darum erschien *C* kühl oder kalt. Die das Wasser *D* prüfende Hand war vorher durch *B* abgekühlt; darum erschien *D* wärmer.

Der Widerspruch kann noch auffallender gemacht werden, indem man in das Gefäß *C* etwas mehr warmes Wasser tut als in *D*, so daß das Wasser *C* etwas wärmer ist als das Wasser *D*. Trotzdem wird der Empfindungsunterschied so groß sein, daß das Wasser *C* als das kältere bezeichnet wird. Die Überraschung für die Versuchsperson läßt sich noch steigern, wenn man statt der 2 Behälter *C* und *D* ein Gefäß benutzt, von solcher Größe, daß die Person nicht merken kann, daß es nur ein Gefäß ist. Nimmt man ihr dann, sobald die Hände eingetaucht sind, die Binde von den Augen, so sieht sie, daß die Hände, die sie in 2 verschiedene Wassermengen getaucht wähnte, sich beide in einem und demselben Gefäße befinden.

## 2. Schmerzen im fuß, wenn das Bein amputiert ist.

Schmerzen in einem Gliede zu empfinden, das man nicht mehr besitzt, klingt absurd. Dennoch ist es eine nicht ungewöhnliche Erfahrung.

Es kommt auch vor, daß wir in einem vorhandenen Gliede einen Schmerz fühlen, für den an dieser Stelle des Körpers gar keine Ursache vorhanden ist. Das kann sich in Träumen ereignen oder bei hysterischen Personen. Diese Erscheinung ist nicht weniger wunderbar als die erste.

Die Erklärung dafür ist die, daß der Schmerz seinen Sitz überhaupt nie in dem Gliede hat, wo wir ihn vermuten, sondern daß er auf Gehirnvorgängen beruht, daß er also seinen Sitz im Gehirn hat. Vom Gehirn aus verlaufen im Rückenmark innerhalb der Wirbelsäule Nervenfasern; Gruppen derselben zweigen sich von Zeit zu Zeit in die verschiedenen Körperteile ab, gerade so wie ein elektrischer Leitungsdraht oder mehrere von dem Nabel, das die Straße entlang läuft, in Städte, Dörfer oder einzelne Häuser abgehen. Nun kann einer dieser Drähte an einem Punkte, der weit von seinem Bestimmungsort entfernt ist, durchschnitten werden, und wenn nun durch ein mit seinem neuen Ende verbundenes Telephon dem Hauptamt eine Meldung zugeht, so wird der Empfänger glauben, daß diese von dem alten Endpunkt kommt.

So geht es auch bei der Durchschneidung eines Nervenstammes bei einer Amputation. Jede Nervenfaser führt zu einer bestimmten Stelle der Gliedmaßen oder des Körpers. Wenn der Nerv durchschnitten ist, so ist jede seiner Fasern durchschnitten. Beim Heilungsprozeß oder nachher, wenn die Zusammenziehung der Narbe oder irgend etwas anderes einige der Fasern reizt, so kommt ein ähnliches Ergebnis zustande, wie wenn die Faser sich noch bis zu ihrem ursprünglichen Bestimmungsort fortsetzte und dort gereizt würde. Wenn z. B. die gereizten Fasern früher zu der großen Zehe des rechten Fußes führten, so kann der Patient in jenem Glied einen Schmerz oder ein Zucken verspüren, nachdem das rechte Bein tatsächlich amputiert ist.

### 3. Augenblicklicher Gehorsam ist unmöglich.

Man sagt uns oft, das wir dieses oder jenes augenblicklich tun sollen. Diesem Befehl buchstäblich zu gehorchen, ist unmöglich.

Zuerst wird der erhaltene Befehl durch Nerven von dem Ohr oder dem Auge zu dem Zentralverwaltungsbureau, dem Gehirn, befördert. Nachdem hier der Empfang der Botschaft registriert und ihre Beziehung zu anderen vorhergegangenen oder gleichzeitigen Ereignissen festgestellt ist, sendet das Gehirn einen Befehl an die Hand oder den Fuß, welcher die nötige Bewegung zur Ausführung des Befehls vorzunehmen hat. Dieser letzte Befehl wird wieder durch Nerven an seinen Bestimmungsort geleitet. Nun verhalten sich die Nerven bei der Übermittlung von Botschaften ziemlich ebenso wie elektrische Leitungsdrähte. In einer Hinsicht sind aber die Nerven von den Drähten sehr

verschieden, nämlich in der Geschwindigkeit, mit welcher sie ihre Botschaften übermitteln. Der elektrische Strom bewegt sich in einem Draht mit einer Geschwindigkeit, welche ihn befähigt, den Weg um die Erde mehrere Male in einer Sekunde zu vollenden. Für geringe Entfernungen ist seine Wirkung also, praktisch gesprochen, eine augenblickliche. Die Geschwindigkeit der Nervenleitung ist nicht annähernd so groß. Man hat gefunden, daß sie nur 30 bis 45 Meter in der Sekunde beträgt.

Deshalb vergeht eine deutlich meßbare Zeit, während ein Befehl vom Ohr oder Auge den Gehirn übermittelt und der Befehl weiter vom Gehirn zu den Muskeln befördert wird. Es ist deshalb für den willigen Diener theoretisch unmöglich, augenblicklich zu gehorchen. Dazu kommt, daß es praktisch einen großen Unterschied macht, ob die Glocke zum Beginn der Arbeit oder zur Beendigung derselben ruft.

#### 4. Scheinbare Lückenlosigkeit von Berührungsreizen.

Die Haut des Rückens und der Arme kann Berührungsreize nicht voneinander unterscheiden, wenn die berührten Punkte nur etwa 5 cm voneinander entfernt sind. Wenn die Spitzen eines Zirkels so weit voneinander entfernt und gleichzeitig (nicht zu heftig, wenn sie sehr spitz sind) auf die Haut gesetzt werden, so hat man das Gefühl, als ob die Haut nur in einem Punkte berührt würde. So kann man feststellen, daß der Handrücken Berührungspunkte von 25 mm, die Handfläche solche von 10—12 mm, das Ende des Zeigefingers Punkte von etwa 2 mm Entfernung noch eben unterscheidet. Der empfindlichste Teil des Körpers ist in dieser Hinsicht die Zungenspitze; sie unterscheidet Reize von etwa 1 mm Entfernung.

Die kleinen Vorsprünge des Sandsteins oder einer ähnlichen Substanz, die voneinander eine geringere Entfernung haben als 1 mm, können deshalb nicht einzeln empfunden werden. Daß solche Vorsprünge vorhanden sind, kann allerdings durch die „Rauhheit“ dieser Gegenstände festgestellt werden, d. h. durch die bestimmte Art von Reibung, welche sie hervorbringen, sobald etwa ein Finger daran entlang bewegt wird.

Manche Stoffe aber, wie z. B. Glas, glasiertes Geschirr, poliertes Metall, machen selbst auf die empfindlichsten Teile unseres Berührungssinnesorgans (der Haut) einen unbedingt glatten und lückenlosen Ein-

druck. Dann zeigt aber häufig das Mikroskop, daß die anscheinende Glätte und Lückenlosigkeit nur relativ sind. Polierte Metalloberflächen zeigen deutlich kristallinischen Bau und demgemäß eine Körnelung. Anscheinend ganz gerade Kanten zeigen ein sägeähnliches Aussehen, wenn sie genügend vergrößert werden. Es geht mit dem Berührungssinn wie mit den anderen Sinnen: die Lückenlosigkeit, welche wir an den Dingen festzustellen glauben, ist nur die Folge der Unvollkommenheit unserer Sinneseinrichtungen.

## Anhang: Ein mathematisches Paradoxon.

### Achilles holt die Schildkröte nicht ein.

Einst wurde Achilles von dem Urbild der Langsamkeit, der Schildkröte, durch eine Herausforderung zum Wettlauf überrascht. Mehr belustigt als ärgerlich über die Unverschämtheit seines Gegners, ging er gleich darauf ein. Er machte auch keine Schwierigkeiten, als es sich darum handelte, der Schildkröte einen sehr großen Vorsprung zu bewilligen, nämlich die Hälfte der ganzen zu durchlaufenden Strecke von 200 m. Da er glaubte, in derselben Zeit, wo die Schildkröte 1 m zurücklegte, mehr als 10 m laufen zu können, so meinte er sogar, er dürfe, wenn das gefordert würde, 90% Vorsprung geben und müsse doch gewinnen.

Als nun der Wettlauf im Gange war, fand er zu seinem größten Erstaunen, daß er, obgleich er die Bedingungen für sich als so günstig angesehen hatte, die Schildkröte nie ganz erreichen konnte. Dadurch wurde er so gelähmt, daß er in hilfloser Überraschung über seine Unfähigkeit stehen blieb und so lange stillstand, bis die Schildkröte Zeit gehabt hatte, das Ziel zu erreichen.

Die Schwierigkeit, vor der er kapitulierte, ist in Fig. 65 dargestellt. *A* ist der Ort, wo der Lauf des Achilles beginnt, *C* ist die Mitte der Strecke, also der Ausgangspunkt der Schildkröte, *B* ist das Ziel. Angenommen, Achilles laufe zehnmal so schnell wie die Schildkröte. Die letztere geht also 10 m, während Achilles die 100 m durchläuft, welche beide bei Beginn des Wettlaufes trennten. Wenn Achilles in *C* ist, so befindet sich deshalb die Schildkröte in *D*, dem Ziel um 10 m näher. Während Achilles diese 10 m zurücklegt, macht die Schild-

kröte ein weiteres Meter. Achilles ist jetzt in  $D$ , die Schildkröte in  $E$ . Während weiterhin Achilles dieses Meter durchläuft, kommt sein Gegner wieder um  $\frac{1}{10}$  m vorwärts. Er durchläuft auch diese Strecke, aber die Schildkröte ist während dieser Zeit schon wieder  $\frac{1}{100}$  m  $=$  1 cm voran gekommen. So geht es bis ins Unendliche weiter. Immer behält die Schildkröte einen — wenn auch noch so kleinen — Vorsprung. Mit anderen Worten: Achilles kann die Schildkröte nie einholen, geschweige denn überholen.

Diese theoretische Schwierigkeit war es, die den schnellfüßigen Achilles so grenzenlos überraschte. Man muß daraus schließen, daß er in den Beinen stärker war als im Kopfe. Sonst hätte er sich sagen müssen, was ein moderner Mathematiker etwa folgendermaßen ausdrücken würde. Nehmen wir an, Achilles könnte die Entfernung  $AB$  in  $x$  Sekunden

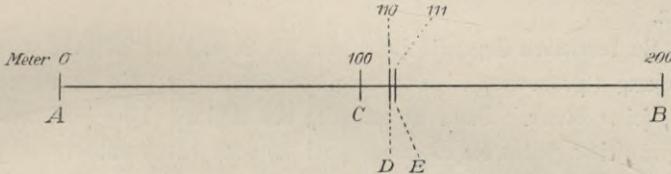


Fig. 65. Warum Achilles die Schildkröte nicht einholt.

durchlaufen, die Schildkröte also in  $10x$  Sekunden, dann braucht die letztere für die Strecke  $BC$   $5x$  Sekunden. Da nun  $5x$  größer ist als  $x$ , so wird sie später ankommen als Achilles. Achilles muß also gewinnen.

Es ist uns ohne weiteres klar, daß es so sein muß, und niemand würde sich auf eine Wette zugunsten der Schildkröte einlassen. Die Antwort aber, die uns soeben der Mathematiker erteilt hat, läßt uns doch unbefriedigt, denn sie tritt an die Sache von einer ganz anderen Seite heran. Wir stehen der Logik des griechischen Philosophen Zenon, der fast 500 Jahre vor Christi Geburt diesen Trugschluß erfaßte, noch ebenso hilflos gegenüber, wie Achilles es nach unserer spaßhaften Erzählung getan haben soll.

Besser werden wir der Sache auf den Grund kommen, wenn wir einmal die sämtlichen von der Schildkröte zurückgelegten Wege addieren. Es sind nach unserer obigen Auseinandersetzung die folgenden: 10 m; 1 m; 0,1 m; 0,01 m; 0,001 m; 0,0001 m; 0,00001 m usw. Jede folgende Strecke ist dabei stets der zehnte Teil der vorhergehenden.

Der Mathematiker nennt eine solche Zahlenreihe eine „geometrische Reihe“. Welches ist nun die Summe? Offenbar:

$$10 + 1 + 0,1 + 0,01 + 0,001 + 0,0001 + 0,00001 + \dots$$

Die Punkte sollen andeuten, daß die Summe aus unendlich vielen Summanden besteht, von denen wir aber nur einige wenige hingeschrieben haben. Diese Summe können wir nun aber als Dezimalbruch schreiben, nämlich  $11,111111\dots$ . Es ist, wie man sieht, ein unendlicher periodischer Dezimalbruch mit der Periode 1. Verwandeln wir ihn in einen gemeinen Bruch, so erhalten wir  $11\frac{1}{9}$ . Das Resultat ist überraschend: Wenn wir die Betrachtung im Sinne Zenons auch bis ins Unendliche fortgesetzt denken, die Summe der unendlich vielen, immer kleiner werdenden Strecken beträgt, wie die Rechnung ergibt, doch nur  $11\frac{1}{9}$  m, d. h. nachdem die Schildkröte  $11\frac{1}{9}$  m zurückgelegt hat, würde Achilles sie eingeholt haben.

Zu demselben Ergebnis führt auch die Lösung der Aufgabe mittels Gleichung (Proportion). Der Weg der Schildkröte, bis sie eingeholt wird, sei  $x$  Meter. Dann ist der Weg des Achilles  $(100 + x)$  Meter. Da für gleiche Zeiten die Wege von zwei sich bewegenden Körpern sich wie die Geschwindigkeiten verhalten, so erhalten wir die folgende Proportion:

$$(100 + x) : x = 10 : 1.$$

Daraus folgt  $10x = 100 + x$  oder  $9x = 100$  oder  $x = 11\frac{1}{9}$ .

Als Gegenbeweis gegen Zenons Schlußfolgerung kann uns aber die letzte Behandlung des Problems nichts nützen, denn sie tritt, wie die erste der drei rechnerischen Betrachtungen, wieder von einer ganz anderen Seite und mit ganz anderen Mitteln an die Sache heran.

kehren wir also zur endgültigen Erledigung zu unserem Dezimalbruch  $11,1111\dots$  zurück. Dieser Bruch hat uns gelehrt, daß, obwohl hier unendlich viele Größen addiert sind, die Summe dennoch einen endlichen, d. h. beschränkten Wert hat. Klingt das nicht wieder paradox? Unendlich viele Zahlen werden addiert und geben doch keine unendlich große Zahl? Woran liegt das? Nun, es kommt daher, daß die Zahlen der Reihe nicht anwachsen, auch nicht gleich groß sind, sondern immer kleiner werden. Brechen wir den Dezimalbruch nach irgendeiner Stelle ab, so nähert sich sein Wert um so mehr dem Wert  $\frac{1}{9}$ , je größer die Zahl der Stellen ist, weil jede folgende „1“ nur den zehnten Teil der vorhergehenden bedeutet; z. B.  $0,1 = \frac{1}{10}$ ;  $0,11 = \frac{11}{100}$ ;  $0,111 = \frac{111}{1000}$  usw.

Erreicht wird der Wert  $\frac{1}{9}$  erst, wenn wir uns den Dezimalbruch unendlich **denken**.

Es könnte aber doch noch jemand, der von der Richtigkeit und Selbstverständlichkeit des eben über Zahlen Gesagten überzeugt ist, stutzig werden, wenn er hört, daß auch unendlich viele Strecken oder Wege, wenn sie zueinander addiert werden, unter Umständen nur eine ganz begrenzte Strecke ergeben. Zwar kann man ihm sagen: Die Zahlen, mit denen wir soeben rechneten, sind ja die Maßzahlen für Strecken gewesen; damit ist also die Sache erledigt.

Wir wollen aber einem solchen Zweifler noch weiter behilflich sein. Man denke sich eine Strecke von 1 m Länge. Nun teile man diese Strecke in 2, 4, 8, 16, 32 usw. Teile. Diese Teilung kann man nun doch beliebig fortsetzen. Man kann sich die Strecke in 1000, in 100000, ja in unendlich viele Teile zerlegt denken. Wie groß ist nun die Summe dieser unendlich vielen Teile? Doch wieder nur 1 m. So ist es auch mit den von der Schildkröte zurückgelegten Strecken. Der Unterschied ist nur der, daß wir diese Summe erst aus den unendlich vielen Teilen zu berechnen haben, deshalb erkennen wir nicht sofort, daß es nur eine begrenzte Größe ist. Würde man uns fragen ob wir  $11\frac{1}{9}$  m uns in unendlich viele Teile zerlegt denken können so würden wir keinen Augenblick mit der Antwort: „Ja“ zögern.

---

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin.

**Dr. W. Ahrens:**  
**Scherz und Ernst in der Mathematik.**  
Geflügelte und ungeflügelte Worte.

[X u. 522 S.] gr. 8. 1904. In Leinwand geb. *M.* 8.—

„Die in der deutschen, ja in der Weltliteratur noch vorhanden gewesene Lücke wird durch das vorliegende Buch in der glücklichsten Weise ausgefüllt. . . Wir können diese Besprechung mit dem aufrichtigen Wunsche beschließen, daß das vortreffliche, auch äußerlich entsprechend ausgestattete Buch in Laienkreisen nicht minder wie in denen der Fachgelehrten sich bald der allgemeinsten Verbreitung erfreuen möge.“ (Münchener Allgemeine Zeitung. 1905. Nr. 268.)

„Ich kann mir nicht anders denken, als daß dieses Buch jedem Mathematiker eine wahre Freude bereiten wird. Es ist zwar keineswegs bestimmt und auch nicht geeignet, in einem Zuge durchgelesen zu werden, und doch, als ich es zum ersten Male in die Hände bekam, konnte ich mich gar nicht wieder davon losreißen, und seit ich es unter meinen Büchern stehen habe, ziehe ich es gar oft hervor, um darin zu blättern.“ (Friedr. Engel, Literarisches Zentralblatt. 1905. Nr. 5.)

„. . . Der Verfasser der ‚Mathematischen Unterhaltungen‘ hat uns mit einem neuen, überaus fesselnden und originellen Werke überrascht, welches man als einen mathematischen ‚Büchmann‘ bezeichnen könnte, wenn es nicht neben aphoristischen Bemerkungen auch längere Briefe und Auseinandersetzungen brächte. Beginnt man zu lesen, so möchte man das Buch nicht aus der Hand legen, bis man zum Ende gelangt ist, und dann werden viele wieder von vorn beginnen. Jedem wird es Neues bringen, möge er noch so belesen sein. . . Gerade das vorliegende Buch gibt einen tiefen Einblick in das Ringen der Geister, und manchem wird durch manche kurze, treffende Bemerkung ein Licht über ganze Gebiete der Wissenschaft aufgehen. Man lernt abwägen zwischen verschiedenen Richtungen und Schulen, und manches ungerechte Urteil wird durch das Buch korrigiert.“ (Prof. Dr. Holz Müller in der Zeitschr. f. lateinl. höhere Schulen. 16. Jahrg. p. 30 f.)

„Mit einiger Phantasie kann man dem Buche den Stoff und die Anregung für mehr als ein Drama entnehmen, dessen Handlung und Durchführung spezifisch mathematisch ist — der Schadenfreude gar nicht zu gedenken, welche es bereitet, große Geister in kleinen Dingen auch klein zu sehen, und der Genugtuung, daß die allergrößten auch in kleinen Dingen niemals kleinlich waren.“

(Monatshefte für Mathematik und Physik. 1905.)

**Dr. W. Ahrens:**  
**Mathematische Unterhaltungen und Spiele.**

[X u. 428 S.] gr. 8. 1901.

In Originalband mit Zeichnung von P. Bürck. *M.* 10.—

Kleine Ausgabe: **Mathematische Spiele.** 170. Bändchen der Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen „Aus Natur und Geisteswelt“. Mit einem Titelbild und 69 Figuren im Text [VI u. 118 S.] 8. 1907. geh. *M.* 1.—, in Leinwand geb. *M.* 1.25.

„Eine Darstellung dieser eigentümlichen Materie darf sowohl bei dem Mathematiker als auch bei dem Laien auf Interesse zählen, der sich gern mit Zahlen und geometrischen Figuren abgibt, weil ihm ihre schönen und oft merkwürdigen Eigenschaften Vergnügen, gewiß ein Vergnügen der reinsten Art, bereiten. Sie darf des Interesses insbesondere dann sicher sein, wenn sie mit solcher Sachkenntnis gearbeitet und mit wohlthuender Eleganz geschrieben ist wie die vorliegende. Der Verfasser derselben wollte sowohl den Fachmann, den der theoretische Kern des Spieles interessiert, als den mathematisch gebildeten Laien befriedigen, dem es sich um ein anregendes Gedankenspiel handelt; und er hat den richtigen Weg gefunden, beides zu erreichen. Dem wissenschaftlichen Interesse wird er gerecht, indem er durch die sorgfältig zusammengetragene Literatur und durch Einschaltungen mathematischen Inhalts die Beziehungen zur Wissenschaft herstellt; dem Nichtmathematiker kommt er durch die trefflichen Erläuterungen entgegen, die er der Lösung der verschiedenen Spiele zuteil werden läßt, und die er, wo nur irgend nötig, durch Schemata, Figuren und dergleichen unterstützt.“

(Prof. Czuber in der Zeitschrift für das Realschulwesen. 26. Jahrgang, p. 173—174.)

„Wir machen die Schachfreunde auf das interessante Werk des den Lesern der Schachzeitung wohlbekannten Gelehrten besonders aufmerksam.“

(Deutsche Schachzeitung. Bd. 56. 1901, p. 32.)

„Das Buch dürfte sich in hohem Maße auch als Geschenk für eifrige Mathematiker unter den Schülern höherer Lehranstalten eignen.“

(Schlesische Zeitung. 24. Sept. 1901.)

**D**as Feuerzeug. Von Ch. M. Tidy. Drei Vorträge vor jugendlichen Zuhörern. Nach dem englischen Original bearbeitet von P. Pfannenschmidt. Mit 40 Figuren im Text. In Leinwand gebunden M. 2.—

„Lieber junger Leser! Es ist einer der fesselndsten Abschnitte aus der Kulturgeschichte der Menschheit, den dieses Büchlein behandelt. Es enthält Vorträge über das „Feuerzeug“, die ein großer englischer Gelehrter seiner Zeit vor einer jugendlichen Zuhörerschaft gehalten hat. Das Büchlein erzählt davon, wieviel Scharfsinn im Laufe der Jahrhunderte darauf verwandt worden ist, die Herrschaft des Menschen über Feuer und Licht mehr und mehr zu befestigen, so daß sie ihm immer sicherer, immer besser zu Diensten waren. Dazu aber stellen die Vorträge in helles Licht, wie auch die Entwicklung der Feuererzeugung, „des Feuerzeugs“, aufs Engste verknüpft ist mit der Ausbreitung der menschlichen Erkenntnis überhaupt. Einfache Versuche oft führen zu bedeutsamen, weittragenden Schlüssen, die wieder zu neuen Versuchen Veranlassung geben; so gewähren diese Darbietungen einen lichtvollen Einblick in die Art und Weise naturwissenschaftlicher Forschung. Besonders wird das Büchlein Dir dadurch Spaß machen, daß Du viele der beschriebenen Experimente selbst ausführen kannst.“

**D**rehkreisel. Von Prof. John Perry. Volkstümlicher Vortrag, gehalten in einer Versammlung der „British Association“ in Leeds. Übersetzt von Prof. August Walzel in Bräun. Mit 58 Abbildungen im Text und einem Titelbild. In Leinwand geb. M. 2.80.

„In der Kunst des volkstümlichen Vortrages haben die Engländer von jeher Meister bejessen; ich brauche nur auf Tyndalls Vorlesungen und auf Boys „Seitenblatzen“, Vorlesungen über Kapillarität, hinzuweisen, um etwas jedem Leser dieser Zeitschrift Bekanntes zu nennen. Etwas dem Ähnliches liegt in dem kleinen Perryschen Büchlein vor, in welchem die Kreiseltvorgänge in überaus anziehender und reizender Weise vorgeführt und in ihrer Bedeutung dem Verständnis auch von Nichtphysikern näher gebracht werden. Es bedarf keiner weiteren Worte als der oben herangezogenen Vergleiche, um das Werkchen zu charakterisieren und zugleich zu empfehlen.“ (Physikalische Zeitschrift. 6. Jahrgang. Nr. 1.)

**C**hemisches Experimentierbuch für Knaben. Von Prof. Dr. Karl Scheid, approb. Chemiker. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 79 Abbildungen im Text. In Leinwand gebunden M. 3.20

„Ein vortreffliches Buch, das uns lange gefehlt hat. . . . Der Verfasser ist ein gründlicher Kenner der Chemie und beherrscht zugleich vollkommen die methodische Behandlung des häufig so spröden Stoffes. So hat man denn überall in seinem Buche das wohlthuende Gefühl, daß man sich in ganz sicheren Händen befindet. . . . Der Verfasser zeigt nun meisterhaft, welche Tatsachen und Ergebnisse in diese „alltäglichen“ Dinge erzählen können, wenn man ihre Sprache versteht. Er lehrt keine Salonzauberkunst, sondern ernste Wissenschaft in heiterem Gewande. Der Knabe, welcher das Buch durchgearbeitet, hat nicht nur eine Menge chemischer Tatsachen und Naturgesetze, er hat auch einen Einblick in die Quellen des Volkswohlstandes und in das Sein und Werden der Naturkörper erhalten. Wir sehen, daß uns seit langer Zeit kein Buch in die Hand gekommen ist, das seine Aufgabe in so geschickter, gründlicher und fesselnder Weise gelöst hat. . . .“ (Zeitschr. f. Lehrmittelwesen u. pädag. Lit. I. Jahrg. Nr. 5.)

„Das ist ein ‚neues‘, recht empfehlenswertes Buch. . . . Die Versuche sind interessant, instruktiv und mit wenigen Mitteln ausführbar. . . . Die vorzügliche Ausstattung macht das Buch auch als Geschenk wert empfehlenswert.“ (Literar. Beilage zur „Schulpflege“ 1904. Nr. 3.)

„. . . Die glückliche Vereinigung von Schulmann und Chemiker in der Person des Verfassers gibt dem Buche sein Gepräge und seinen didaktischen Wert. Nicht nur, daß der Verfasser als erfahrener Pädagoge den Stoff sorgfältig sichtet und ordnet und ihn in der für die Jugend einzig richtigen Form der gemeinverständlichen, aber keineswegs unwissenschaftlichen Darstellung behandelt, auch als geübter Chemiker beherrscht er die Kunst des Experimentierens, welche selbst mit den einfachsten Mitteln die Geheimnisse der Natur zu ergründen und dadurch zu fesseln und zu überzeugen versteht. . . .“ (Monatschr. f. höh. Schulen. IV. Jahrg. Nr. II.)

„Das kleine Buch ist für den genannten Zweck mit außerordentlichem Geschick zusammengestellt. Es vermeidet unnütze Spielereien und erschließt vor allen Dingen die wichtigsten Gegenstände des alltäglichen Lebens dem jugendlichen Experimentator.“ (Beiblätter zu d. Annalen d. Physik. Bd. 28. Nr. 16.)

„. . . Sprache sind die chemischen Reaktionen; Zuhörer ist der Experimentierende, der sie zum Reden zwingt. Und was können uns die ‚alltäglichen‘ Dinge erzählen. Sie berichten von geheimnisvollen Naturgesetzen, welche der Wissende sich gefügig zu machen versteht; sie erzählen von den Quellen des Volkswohlstandes, von den Gewerben und Sehn mit ihren Freuden und Gefahren, vom Leben der Pflanzen, Tiere und Menschen, vom Sein und Werden aller Naturkörper.“ Eine erste Anleitung, diese Sprache zu verstehen, soll das vorliegende Buch sein; möge es sich recht viele Freunde erwerben!“ (Frankfurter Ztg. 1905. Nr. 154.)

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

# Dr. K. Kraepelin: Naturstudien

(mit Zeichnungen von W. Schwindraheim)

im Hause

3. Auflage  
Geb. M. 3.20

im Garten

2. Auflage  
Geb. M. 3.60

in Wald und Feld

2. Auflage  
Geb. M. 3.60

## Volksausgabe

Eine Auswahl aus den drei vorstehenden Bänden. Veranstaltet vom Hamburger Jugendschriften-Ausschuß. Gebunden M. 1.—

## Naturstudien in der Sommerfrische

Reiseplaudereien. Geb. M. 3.20

„Zu den Meistern der volkstümlichen Darstellung gehört unstreitig Dr. K. Kraepelin, der mit seinen „Naturstudien“ ein Volksbuch im wahren Sinne des Wortes geschaffen hat, denn sie sind so recht geeignet, die lern- und wißbegierige Jugend sowohl wie auch den erwachsenen Mann des Volkes zum naturwissenschaftlichen Denken anzuregen und ihnen die Natur mit ihrem Leben und Werden näher zu bringen.“ (Neue Bahnen.)

„Es ist eine Perle unter den Jugendschriften belehrenden Inhalts geworden und sollte in keiner Jugendbibliothek fehlen. Wir wünschen den Plaudereien des Dr. Ehrhardt mit seinen fröhlichen Jungen die weiteste Verbreitung, zumal sie sich auch äußerlich in einem so schmunzigen Gewande präsentieren.“ (Hamburger Correspondent.)

„Der Verfasser hat in hohem Grade die Gabe echt volkstümlicher Darstellung, die sich von jeder Verwässerung fernhält; vielmehr merkt der Kundige auf Schritt und Tritt, wie alles auf höchster Wissenschaftlichkeit ruht.“ (Tägliche Rundschau.)

„Ein köstliches Jugendbuch als anregender Begleiter ins Freie. . . . Solch ein Buch wird mancher Vater für seine Knaben und Mädchen längst gesucht und mancher Naturfreund für sich geradezu ersehnt haben. Hier ist es, in ganz vortrefflicher Anlage und Ausführung.“ (Literarische Rundschau.)

## B. Landsberg: Streifzüge durch Wald und Flur

Anleitung zur Beobachtung der heimischen Natur in Monatsbildern

3. Auflage. In Original-Leinwandband M. 5.—

Von Eichendorffs Wort: „Wem Gott will rechte Kunst erweisen“ geht der Verfasser dieses Buches aus. Er will die Jugend anleiten, die Wunder „in Berg und Tal und Strom und Feld“ zu sehen und zu verstehen, zu eigenen Streifzügen und Untersuchungen anregen. Die von der Gattin des Verfassers nach der Natur gezeichneten Abbildungen bilden einen ebenso nützlichen wie ansprechenden Schmuck des Buches.

„Jeder Zeile des Buches merkt man es an, daß der Verfasser beseelt ist von einer glühenden Liebe zur Natur, und daß er sich selbst mit vollster Hingabe der Beobachtung des pflanzlichen und tierischen Lebens widmet. Daß ein Unterricht in der Naturbeschreibung, wenn er im Sinne der „Streifzüge“ von einem für seine Aufgabe begeistertsten Lehrer erteilt wird, ganz außerordentlich fruchtbringend sein muß, darf wohl als selbstverständlich hingestellt werden.“ (Pädagogisches Archiv.)

# Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen

Gehftet  
1 Mark

Gebieten des Wissens in Bänden v. 130—160 Seiten.

Gebunden  
M. 1.25

In erschöpfender und allgemein-verständlicher Behandlung werden in abgeschlossenen Bänden auf wissenschaftlicher Grundlage ruhende Darstellungen wichtiger Gebiete in planvoller Beschränkung aus allen Zweigen des Wissens geboten, die von allgemeinem Interesse sind und dauernden Nutzen gewähren.

**Erschienen sind 200 Bände aus den verschiedensten Gebieten, u. a.:**

**Luft, Wasser, Licht und Wärme.** Neun Vorträge aus der Experimental-Chemie. Von Professor Dr. R. Blochmann. 2. Auflage. Mit 103 Abbildungen im Text. Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein und zeigt die praktische Bedeutung desselben für unser Wohlfgehen.

**Die Lehre von der Wärme.** Gemeinverständlich dargestellt von Professor Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. im Text.

Bietet eine klare, keine erheblichen Vorkenntnisse erfordernde, alle vorkommenden Experimente in Worten und vielfach durch Zeichnungen schildernde Darstellung der Tatsachen und Gesetze der Wärmelehre. So werden Ausdehnung erwärmter Körper und Temperaturmessung, Wärmemessung, Wärme- und Kältequellen, Wärme als Energieform, Schmelzen und Erstarren, Sieden, Verdampfen und Verflüssigen, Verhalten des Wasserdampfes in der Atmosphäre, Dampf- und andere Warmemaschinen und schließlich Bewegung der Wärme behandelt.

**Sichtbare u. unsichtbare Strahlen.** Von Professor Dr. R. Börnstein und Professor Dr. W. Marckwald. Mit 82 Abb. Schildert die verschiedenen Arten der Strahlen, darunter die Kathoden- und Röntgenstrahlen, die Herzischen Wellen, die Strahlungen der radioaktiven Körper (Uran und Radium) nach ihrer Entstehung und Wirkungsweise, unter Darstellung der charakteristischen Vorgänge der Strahlung.

**Das Licht und die Farben.** Sechs Vorlesungen von Professor Dr. L. Graetz. 2. Auflage. Mit 116 Abbildungen.

Führt, von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend, zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben, behandelt, ausgehend von der scheinbar geradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes, das Wesen der Farben, die Beugungsercheinungen und die Photographie.

**Die Beleuchtungsarten der Gegenwart.** Von Dr. phil. Wilhelm Brüsch. Mit 155 Abbildungen.

Gibt einen Überblick über ein gewaltiges Arbeitsfeld deutscher Technik und Wissenschaft, indem die

technischen und wissenschaftlichen Bedingungen für die Herstellung einer wirtschaftlichen Lichtquelle und die Methoden für die Beurteilung ihres wirtlichen Wertes für den Verbraucher, die einzelnen Beleuchtungsarten sowohl hinsichtlich ihrer physikalischen und chemischen Grundlagen als auch ihrer Technik und Herstellung behandelt werden.

**Das Stereoskop und seine Anwendungen.** Von Professor Th. Hartwig. Mit 40 Abbildungen im Text und 19 stereoskopischen Tafeln.

Behandelt die verschiedenen Erscheinungen und praktischen Anwendungen der Stereoskopie, insbesondere die stereoskopischen Himmelsphotographien, die stereoskopische Darstellung mikroskopischer Objekte, das Stereoskop als Meßinstrument und die Bedeutung und Anwendung des Stereocomparators, insbesondere in bezug auf photogrammetrische Messungen. Begeben sind 19 stereoskopische Tafeln.

**Die Eisenbahnen, ihre Entstehung und gegenwärtige Verbreitung.** Von Prof. Dr. S. Hahn. Mit zahlreichen Abbildungen im Text u. einer Doppeltafel.

Nach einem Rückblick auf die frühesten Zeiten des Eisenbahnbaues führt der Verfasser die Eisenbahn im allgemeinen nach ihren Hauptmerkmalen vor. Der Bau des Bahnkörpers, der Tunnel, die großen Brückenbauten, sowie der Betrieb selbst werden besprochen, schließlich ein Überblick über die geographische Verbreitung der Eisenbahnen gegeben.

**Die Sunfentelegraphie.** Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustrationen.

Nach einer Übersicht über die elektrischen Vorgänge bei der Sunfentelegraphie und einer eingehenden Darstellung des Systems Telefunken werden die für die verschiedenen Anwendungsgebiete erforderlichen einzelnen Konstruktionsstypen vorgeführt (Schiffsstationen, Landstationen, Militärstationen und solche für den Eisenbahndienst), wobei nach dem neuesten Stand von Wissenschaft und Technik in jüngster Zeit ausgeführte Anlagen beschrieben werden. Danach wird der Einfluß der Sunfentelegraphie auf den Wirtschaftsverkehr und das Wirtschaftsleben (im Handel- und Kriegseverkehr, für den Heeresdienst, für den Wetterdienst usw.), sowie im Anschluß daran die Regelung der Sunfentelegraphie im deutschen und internationalen Verkehr erörtert.

Illustrierter Katalog umsonst und postfrei vom Verlag

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

S-96

S. 61







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294385