

Physikalisches Spielbuch

für die Jugend

Motto:
Discimus dum ludere videmur

Dr. B. Donath

Physikalisches Spielbuch

für die Jugend

Zugleich
eine leichtfaßliche Anleitung zu selbständigem
Experimentieren und fröhlichem Nachdenken

Dritte vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 172 Abbildungen



Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Alle Rechte,
namentlich das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten.

ISBN 978-3-663-00918-4 ISBN 978-3-663-02831-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-663-02831-4

Copyright, 1922, by Springer Fachmedien Wiesbaden

Originally published by Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges.

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1922

Braunschweig, Germany.

Vorwort zur dritten Auflage.

Seit dem Erscheinen der letzten Auflage dieses Buches haben sich die wirtschaftlichen Verhältnisse in Deutschland von Grund aus geändert. Auf uns allen lasten die Folgen eines Weltkrieges und einer innerpolitischen Umwälzung. Die Ausgabe einer neuen, dritten Auflage des „Physikalischen Spielbuches“ könnte also gerade jetzt als gewagt und ungünstig erscheinen. Verfasser und Verlag haben sich gewiß nicht ohne Sorge zur Herausgabe entschlossen. Sie wurden jedoch ermutigt durch das auch jetzt noch starke Interesse für das Buch, das lebhaft verlangt wird, obwohl die vorige Auflage schon seit einigen Jahren vergriffen ist.

Sei's also drum, und möge auch die neue Auflage des „Physikalischen Spielbuches“ viele junge Freunde finden. Sie ist gekürzt und doch bereichert. Manches Neue findet sich namentlich in den Abschnitten über Mechanik und Licht. Alle kostspieligeren Versuche sind hingegen fortgefallen.

Vielen, die mich auch bei dieser Auflage durch sachliche Kritik und Rat unterstützten, bin ich zu aufrichtigem Danke verpflichtet, insonderheit der Verlagsbuchhandlung, die kein Opfer gescheut hat, dem Werkchen eine für die heutige, schwere Zeit geradezu mustergültige Ausstattung zu geben.

Unserem Buch und der deutschen Jugend wünsche ich von Herzen die baldige Wiederkehr einer glücklicheren Zeit.

Berlin, im Dezember 1922.

Prof. Dr. B. Donath.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Das Physikalische Spielbuch ist bei seinem ersten Erscheinen nicht allein von den jungen Lesern freudig begrüßt worden. Auch die wissenschaftliche und pädagogische Fachpresse hat sich überaus eingehend und wohlwollend, in den meisten Fällen sogar lobend, mit ihm beschäftigt. Man hat das Werkchen schrecklich ernst genommen und in ihm sozusagen ein verkapptes Lehrbuch der elementaren Physik erkennen wollen. Das ist zuviel der Ehre.

Ich will gern zugeben, daß ich fast der Versuchung unterlegen wäre, ein Lehrbuch daraus zu machen und den Stoff, etwa im Anschluß an eines der eingeführten und bewährten Schulbücher, festgefügt und systematisch zu behandeln. Die begründete Furcht jedoch, der junge Leser könne die Absicht merken und damit alle Arbeit zunichte machen, hat mich davon abgehalten. So blieb es denn bei dem lockeren Zusammenhang, ohne daß aber darum dem Spiel oder gar der Spielerei irgendwie ein Vorrecht eingeräumt wurde. Im Gegenteil, der Leser soll lernen, unbewußt lernen und genug, um für den späteren ernstern naturwissenschaftlichen Schulunterricht vorbereitet zu sein. Ich habe es daher für richtig gehalten, in leichtverständlicher Form manche Betrachtung einzuflechten, die man selbst in einem physikalischen Spielbuch zunächst nicht erwarten dürfte. So finden sich kleine Auseinandersetzungen über die veränderlichen und unveränderlichen Eigenschaften der Masse, über Kraft und Masse, Masse und Gewicht, über den Begriff der Arbeit und das Gesetz von der Erhaltung der Energie. Die Hauptgesetze der Akustik, Optik, Wärme- und Elektrizitätslehre fehlen ebenfalls nicht, auch über die elektrischen Wellen habe ich, an der Hand

eines einfachen Versuches über Funkentelegraphie, das Allernötigste gesagt. Aber über all dem abstrakten Lehrstoff steht in diesem Buch doch die Freude an der Naturerkenntnis. Der Genuß, irgend eine kleine und anscheinend nur der Unterhaltung dienende Aufgabe richtig anzufassen und selbständig zu lösen, soll dem jungen Leser durch allzu gelehrte und seine Fassungskraft übersteigende Darlegungen nicht getrübt werden. *Discimus dum ludere videmur.*

Seitens der Fachgenossen ist mir für die zweite Auflage viel Anregung und guter Rat zuteil geworden. Allen den verehrten Herren sowie der vortrefflichen Verlagsbuchhandlung Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig sei an dieser Stelle der wärmste Dank gesagt.

Möge das anspruchslöse Büchlein zu seinen alten viel neue Freunde gewinnen.

Berlin, im Januar 1907.

Dr. B. Donath.

Vormort zur ersten Auflage.

Vor Jahresfrist wurde mir seitens der Verlagsbuchhandlung W. F. U. Zimmermanns Buch „Physikalische Kunststücke“ mit dem Ersuchen überandt, eine Neubearbeitung desselben zu übernehmen. Die Anregung hierzu war von Herrn Professor Wiedemann in Erlangen ausgegangen, der mir später schrieb, daß er dem Buche viel verdanke und es schon von seinem Vater, der seine ersten physikalischen Versuche danach angestellt, überkommen habe. Trotz dieser Empfehlung zögerte ich anfangs zuzufagen, denn in meinen Händen befand sich ein fast vergessenes Opus, vergilbte Blätter, die kaum mehr einen Wert zu besitzen schienen. Je mehr ich jedoch in ihnen las, desto interessanter erschienen sie mir und desto rückhaltloser mußte ich den Verfasser bewundern, der es, selbst wissenschaftlich durch und durch gebildet, verstanden hatte, zu Kindern zu sprechen und die Pestalozzi'sche Lehrmethode auf das Gebiet der Physik zu übertragen. Das vieles an seinem Buche heute altmodisch und wunderbar anmutet, ist selbstverständlich, daß vieles nach dem jetzigen Stande unseres Wissens sogar falsch ist, darf ebensowenig überraschen. Doch war es nicht dieser Umstand allein, der mich von einer oberflächlichen Bearbeitung abratete und eine freie Neuschaffung empfehlen ließ. Die Zeiten haben sich geändert, und unsere Jugend ist eine andere, leider auch anspruchsvollere als ehemals. Sie wächst auf in einer unseren Großvätern noch völlig fremden Welt von Begriffen, einer Welt, die diesen, könnten sie wieder unter uns treten, voll des unheimlichen Zaubers erscheinen müßte. Elektrisches Licht, elektrische Wagen, Telephonie, Telegraphie, tausendpferdige Dampfmaschinen sind dem Knaben von heute, wenigstens dem Begriffe nach,

geläufige Dinge. Seine Belehrung muß aus neuen Gesichtspunkten heraus erfolgen. So bleibt denn von dem Zimmermannschen Buche kaum etwas übrig als die fruchtbare und gewiß auch einwandfreie Idee: Unter der Form leichter Beschäftigung und amüsanten Spiels zu unterhalten und zugleich zu belehren. Sie wurde als wertvollster Bestandteil auch dem neuen Buche zugrunde gelegt.

Was die formale Seite anbelangt, so konnte der Stoff nicht unwesentlich erweitert werden auf Kosten derjenigen Versuche, welche sich nicht über den Wert einer gewöhnlichen Spielerei erheben und derjenigen, die sich weit mehr an den Geldbeutel als an die Geschicklichkeit und den ausharrenden Willen des jungen Experimentators wenden. An geeigneten Stellen habe ich die Darstellung vertieft, um so auch den Bedürfnissen der reiferen Jugend entgegenzukommen. In dem Bestreben, den Stoff mehreren Altersklassen zugleich entsprechend zu gestalten, ohne dabei die Einheitlichkeit der Darbietung zu verletzen, habe ich die größten Schwierigkeiten gefunden. Inwieweit sie glücklich überwunden sind, möge der erwachsene Leser beurteilen, der in seinen Mußestunden vielleicht nicht ungern in dem Büchlein blättert.

Möge das Werkchen in seinem anspruchslos heiteren Gewande ebensoviel Freunde finden, wie sein Vorbild vor 60 Jahren.

Berlin, im November 1902.

Dr. B. Donath.

Inhaltsverzeichnis.

Die mit einem * gekennzeichneten Abschnitte eignen sich für ältere Leser.

An unsere jungen Leser	Seite 1
----------------------------------	------------

Die Werkstatt.

Arbeiten aus Pappe	2
Arbeiten aus Holz	5
Arbeiten aus Blech	10
Das Löten	12
Die Bearbeitung des Glases	14
Ritzen	17
Werkzeuge und Materialien	18

Erster Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Mechanik.

Von der Trägheit eines Körpers	19
Ein Versuch über den Beharrungswiderstand	20
Postkarte und Münze	22
Münze und Weinglas	23
Versuch mit einem Pfeifenstiel	23
Die wandernde Münze	24
* Allgemeine Betrachtungen	25
Vom Schwerpunkt eines Körpers	25
Der aufwärts rollende Zylinder	26
Der Stehauf	29
Versuche mit einem Doppelkegel	30
Jemand so zu stellen, daß er das Bein nicht heben kann	31
Jemand so zu setzen, daß er nicht aufstehen kann	32
Ein gewagter Schwerpunktversuch	32
* Vom Gewicht	33
Billige Wagen	33
Von der Zentrifugalkraft	35
Ein Gefäß mit Wasser so mit der Öffnung nach unten zu bringen, daß nichts ausfließt	36
* Die Zentrifugalbahn	36
* Eine Sekunde (Versuche mit dem Pendel)	38
Unterhaltende und lehrreiche Versuche mit dem Kreisel	40
* Kreisel und Erde (Erklärung der Jahreszeiten)	43
Vom Luftdruck	46

	Seite
Der Luftballon	48
Geschichtliches	48
Bau einer Montgolfière	52
Bau einer Charlière	55
★ Ein Versuch mit dem Barometer	56
Bau eines Motorluftschiffes	58
Der Drache	60
Der Kastendrache	67
Flugschraube und Bumerang	68
Ein künstlicher Schmetterling	71
★ Das Flugzeug	73
Licht und Papierdüte	77
Eine Kugel, die auf einem Luftstrahl tanzt	77
Ein Ei aus einem Becher in den anderen zu blasen	79
Rauchringe in der Luft und Luftringe im Rauch	80
Ein mit Wasser gefülltes Glas umzukehren, ohne daß ein Tropfen heraus- läuft	81
★ Eine Fontäne, die auf Kommando fließt	81
Der Heber	83
Die Zusammendrückbarkeit der Gase (Luftpistole)	86
Der Heronsball	88
★ Der Heronsbrunnen	89
Der kartesianische Taucher	92
Künstliche Bluteigel	95
Ein ganz einfacher Zimmerspringbrunnen	95
★ Der hydraulische Widder	96
★ Der Rückstoß	98
★ Das Rückstoßrad	99
Eine billige Dampfmaschine	100
Wohlfeiler Dampfer	101
Der schwimmende Papierfisch (Rückstoßversuch)	102
Zu bestimmen, welche von zwei Flüssigkeiten die schwerere ist, ohne sie zu berühren oder auf eine Wage zu setzen	103
Ein Ei inmitten einer Flüssigkeit schwebend zu erhalten	105
Schwebende Kugel aus Öl	106
Allerhand Versuche mit Seifenblasen	107
Die Seifenblase als Luftballon	107
Eine Seifenblase in der anderen	110
Die Seifenblase als Blasebalg	110
Figuren aus Seifenhäutchen	111

Zweiter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Schallehre.

Vom Schall überhaupt	113
Die Geschwindigkeit des Schalles	115

	Seite
Wie mißt man die Entfernung eines Gegenstandes ohne Meterstab	116
Einen Schlag so auszuführen, daß man ihn doppelt hört	118
Ein billiges Telephon (Fadentelephon)	119
Künstliches Kirchturmgeläut und künstlicher Donner	120
Das Sprachrohr	121
Akustische Täuschungen	124
Bauchredner	126
★ Der musikalische Kreisel (Tonverhältnisse)	130
★ Tönende Saiten und Luftsäulen (Resonanz)	137
Eine Harmonika aus Holzstäben	141
Der Dreiklang auf Pappfalteralen	146
Musizierende Weingläser	148
★ Klangfiguren	149
★ Ein tönender Wasserstrahl (hydraulisches Mikrophon)	153
★ Schallempfindliche Flammen	156

Dritter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Wärmelehre.

★ Ein Thermometer aus Metall	160
★ Luftthermometer	162
Die Wärmeschlange	163
Wärmeerzeugung ohne Feuer	164
a) durch Reibung (Arbeit)	165
★ b) durch chemische Vorgänge	168
★ Wärmemischungen	169
Erwärmung einer Flüssigkeit durch Umschütteln	172
Künstliche Kälte in warmen Räumen	174
Kältemischungen	175
Künstlicher Nebel in einer Flasche	176

Vierter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Lichtlehre.

Von der Sonne	180
★ Bau einer Sonnenuhr	180
Gegenläufige Schatten an der Wand	187
Bunte Schatten	188
Tanzende Schatten	189
Der Geisterreigen	190
Bilder durch ein Loch	191
Ein billiger photographischer Apparat (Beschreibung einer photographischen Aufnahme)	193
Die Camera obscura (Linienkamera)	200
★ Die Spiegelfkamera (als Zeichenapparat)	203
Das Auge eine Linienkamera	205

	Seite
Künstliches Auge aus einem Gummiball	208
Allerhand photographische Scherze	210
Aufnahme bei Mondschein	211
Wizaufnahmen	212
Photographierte Eisblumen	212
Silhouetten	213
Verzerrte Bilder	214
Photographien angeblicher Geister	214
★ Die Laterna magica	215
★ Projektion von Experimenten	222
Der Spiegel	226
Spiegelbilder ohne Ende	229
Ein Spiegel, in dem Rechts und Links nicht vertauscht ist	230
Ein Spiegel, in dem man drei Augen und zwei Nasen hat (Verierspiegel)	231
★ Das Kaleidoskop	232
Vorrichtung, um (angeblich) durch ein Brett zu sehen	233
Durchsichtige Spiegel	235
Erscheinung eines Blumenstraußes in einer leeren Vase	235
Der Profilspiegel	237
★ Hohlspiegel	237
★ Von der Anfertigung eines Hohlspiegels	241
★ Rezept zur Versilberung von Glas	243
★ Schwebende Blumen und andere Gegenstände	243
Anders gekrümmte Spiegel (Kugel- und Zylinderspiegel), „Anamorphosen“	245
Optische Wiederherstellung einer verzerrten Zeichnung ohne Spiegel	247
Das Prisma	248
Aquarium und Wajschschüssel als Prisma	255
★ Was das Prisma verrät	256
★ Ein billiges Spektroskop	256
Der Farbkreis	259
Farben in heller Beleuchtung schwarz erscheinen zu lassen	260
Einen Buchstaben in heller Beleuchtung verschwinden zu lassen	262
★ Ein leuchtender Springbrunnen	263
Eine Fata Morgana über der heißen Herdplatte	266
Farbenspiele im Fernrohr	268
★ Durchsichtige Körper bunt erscheinen zu lassen, ohne sie zu färben	270
★ Mit Hilfe der Glasplattenjäte zu erkennen, ob in einem Glase Wasser Zucker aufgelöst ist	274
Optische Täuschungen	275
Raumtäuschungen	275
Richtungstäuschungen	278
Bewegungstäuschungen	281
Täuschungen durch Überstrahlung	288
Ermüdungs- und Farbtäuschungen	290
Gefärbte Schatten als optische Täuschung	292

Fünfter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Elektrizitätslehre.

Reibungselektrizität.		Seite
Ein Körper gerät in den elektrischen Zustand		294
Seifenblase und Siegellackstange		295
Holundermarkpendel und Glasstab		296
Der folgsame Spazierstock		297
Ano-Kato		298
Elektrische Beeinflussung eines Wasserstrahles		299
Von den Leitern und Nichtleitern		300
Zweierlei Arten elektrischer Zustände		301
Kollodiumballone als Elektroskop		305
Positive und negative Elektrizität		305
★ Der Elektrophor		306
★ Von der Anfertigung einer Reibungselektriermaschine (Zylinder- maschine)		309
Der Kugeltanz		311
Tanzende Puppen		312
Elektrisches Glockenspiel		313
Die elektrische Brettschaukel		314
Mit der Elektriermaschine ein Licht auszublasen		315
Das elektrische Flugrad		317
Elektrische Funken		318
Der Heiligenschein		319
Der Isolierschemel		319
Eine Reibungselektriermaschine, die gar nichts kostet		322
★ Die Sammelflaschen		322
★ Batterien aus Leidener Flaschen		328
★ Lichtenberg'sche Figuren		329
Entladung der Leidener Flasche durch eine Kette von Menschen		332
Eine Waschschüssel als Geldschrank		332
Der elektrische Bitterfisch		333
★ Gewitter im Kleinen		333
Die Influenzmaschine		338
Die Blitztafel		338
Funkenröhren		341
Leuchtende Buchstaben		342
★ Batterie leuchtender Gläser		343
★ Eine elektrische Knallgaskanone		344
★ Funken Telegraphie		346

M a g n e t i s m u s.

Künstliche Magnete	350
Magnetische Regeln	352

	Seite
Von der Anfertigung eines Kompasses	353
Ein magnetisches Roulettespiel	356
Ein angebliches Röntgenperspektiv	357
★ Der magnetische Stundenzeiger	358
Der magnetische Tisch	360
Die klugen Fische	361
Der eigenfinnige Vogel	362
★ Ein magnetischer Taucher	363
Spiel mit schwimmenden Magneten	365
Magnetische Kraftlinien	366

Vom galvanischen Strom.

Galvanische Elemente und Batterien aus Wassergläsern	372
Drähte	375
Der elektrische Strom zerlegt das Wasser in zwei Gase	376
Knallgastelegraphie	378
Zwei Farben in derselben Flüssigkeit durch den elektrischen Strom hervorgerufen	381
Der gehorsame Schreibstift	381
★ Gegenstände mit dem elektrischen Strom zu verkupfern oder nachzubilden	382
★ Weibaum und Weilaube	385
★ Elektrische Sammler (Akkumulatoren)	386

Magnetismus und Elektrizität.

★ Elektromagnetische Telegraphenapparate aus Streichholzschachteln	389
Die beweglichen Augen	392
Magnetismus durch Elektrizität	392
Der Klopftisch	395
Die Wünschelrute	397
★ Eine elektromagnetische Kanone	398
★ Elektromagnetische Schmetterlinge	398
Die Hausklingel als Elektrifizierapparat	400
★ Elektrische Bewegungsmaschine (Elektromotor)	402
★ Elektrizität durch Magnetismus	405
Wasser, das ohne Feuer kocht	408

Sechster Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Chemie.

Die Bereitung des Wasserstoffs	409
Experimente	410
★ Knallgas	412
★ Sauerstoff	412
Verbrennungsercheinungen im Sauerstoff	415
★ Feuererscheinungen unter Wasser	417

	Seite
Eisen in freier Luft verbrennen zu lassen	417
Ausgebrannte Silhouetten	418
Kohlensäure	419
Versuche mit Kohlensäure	420
Die Farben Schwarz, Weiß, Rot zu erzeugen durch Eingießen einer wasserklaren Flüssigkeit in drei andere ebenso beschaffene	421
Entstehen und Verschwinden einer blauen Farbe	422
★ Tinte (scheinbar) in Wasser zu verwandeln	423
Eine Flüssigkeit durch Zusatz von zwei farblosen Flüssigkeiten rot oder blau zu färben	423
Eine grüne Flüssigkeit in eine rote zu verwandeln und umgekehrt	424
★ Farbenänderungen durch Erhitzung	424
Unterhaltende Anwendung der vorigen Versuche	424
Mit einer farblosen Flüssigkeit Tintenschrift hervorzubringen	425
Wie die reingewaschenen Hände an einem sauberen Handtuch schwarz werden können	425
Mit derselben Farbe blau und rot zu malen	425
★ Eine rote Rose in eine weiße, darauf in eine grüne und schwarze zu verwandeln	426
Sympathetische Tinten	427
A. Tinten, die durch Behandlung mit einer Flüssigkeit oder durch die Einwirkung von Dämpfen sichtbar werden	427
B. Tinten, die durch Erwärmung sichtbar werden	428
C. Tinten, die durch Belichtung zum Vorschein kommen	428
Tinte, die durch ihren Streusand sichtbar wird	429
★ Eine Winterlandschaft in eine Sommerlandschaft zu verwandeln	429
Eine Rose, deren Farbe sich mit dem Wetter ändert	430
★ Die Zauberschachtel	431
Eine Karte in die andere zu verwandeln	431
Bunt leuchtende Flammen	432
★ Bengalische Flammen	433
★ Das Pulvermännchen	434
Künstliche Nebel aus Salmiak	435
Künstliche Nebel im Zimmer	436
Kristallzüchtere	436
Körbchen und andere Gegenstände aus Alaunkristallen	439
★ Leuchtende Kristallisation	440
Einen Bleistift an der Asche eines verbrannten Zwirnsfadens aufzuhängen	440
Die Pharaoschlange	441
Register	443

An unsere jungen Leser!

Wir wollen als gute Kameraden in unseren Freistunden einander aufsuchen und mit unseren wenigen, zum Teil selbstgefertigten Handwerkszeugen hämmern, feilen, sägen und hobeln, daß es eine Lust ist. Freilich ist kein Meister vom Himmel gefallen; auch wir werden bei der Herstellung unserer kleinen, zum Teil amüsanten, immer aber in ihrer Art lehrreichen und zum fröhlichen Nachdenken anregenden physikalischen Apparate und Maschinchen nicht gleich Vollkommenes leisten. Doch das schadet gar nichts, und niemand wird um einiger mißlungener Versuche willen die Plinte ins Korn werfen wollen. Verständige Überlegung, Geschicklichkeit, die bald erworben werden kann, vor allem aber Geduld führen stets zum Ziel. Unsere Versuche werden uns dafür viel Freude bereiten; auf jeden Unbefangenen aber, und zunächst wohl auch auf uns selbst, werden sie wie Wunder wirken, und das ist sehr verständlich. Ist doch das ganze Naturgetriebe um uns, das Streben der Körper zur Erde, das Zucken der Blitze, das erhabene Rollen des Donners sowohl als auch das Blühen der Bäume, der majestätische Reigen der Weltkörper wie das stille Schaffen des Sonnenlichtes im Grün der Blätter, die aufbauende Arbeit kleinster Kräfte im Kristall wie die vernichtende Wucht des Wogenanpralls — ist doch alles dies nichts als ein großes Wunder, ein Wunder, das vom Menschengesitt allmählich erst begriffen wird, wenn er die Natur geschickt genug befragt, um nicht gleich der sinnverwirrenden Antworten auf einmal zu viel zu erhalten. Jedes Experiment ist eine solche Frage an die Natur, und voll wißbegieriger Fragen ist auch dieses Buch, das durchlesen, aber nicht durchblättern sein will.

Wir laden alle unsere jungen Freunde zu unseren Versuchen ein und sind für unsere kleine Mühe reichlich entschädigt, wenn wir Staunen und Bewunderung auf ihren Mienen lesen.

Nichts ist selbstverständlich, nichts ist alltäglich, als was der Mensch dazu macht, und mit dem Bewundern fängt die Naturerkenntnis an.

Die Werkstatt.

Nun ans Werk! Wer bauen will, bedarf des Baumaterials ebenso wie des Handwerkszeuges. Beides wollen wir auf das Mindestmaß beschränken, denn Geschicklichkeit und Ausdauer gelten noch immer das meiste. Aber ohne eine kleine Werkstatt kommen wir doch nicht aus, und schließlich werden uns unsere Eltern gern ein Winkelchen dafür anweisen, denn etwas Handwerkszeug und geschickte Hände, die mit kleinen Reparaturen umzugehen wissen, sind in jedem Haushalt erwünscht.

Man wolle nun aber ja nicht alles selbst machen, was in diesem Buche angegeben ist. Einige Erfahrung entscheidet schnell, welche Arbeiten man lieber dem Handwerker überläßt. Sie werden dann besser und auch billiger ausfallen, als wenn man selbst Zeit, Mühe und Material daran verschwendet. Wir denken z. B. an das Rundschneiden von Glasplatten, die Anfertigung von Blechröhren, das Ausdrehen von Holzkegeln und andere Dinge mehr.

Da unsere Apparate weniger schön und elegant als zweckmäßig ausfallen sollen, so genügen Pappe, dünnes Blech, etwas Holz und Glas, Nägel und Leim zu ihrer Herstellung.

Im folgenden Abschnitt werden wir in aller Kürze die Maßnahmen beschreiben, die immer wiederkehren und gleichsam die Elemente unserer Handwerkskunst bilden.

Arbeiten aus Pappe. Pappe ist ein Material, das wir für unsere Arbeiten nicht hoch genug schätzen können. Aus Pappe lassen sich fast alle Apparate herstellen, zu denen man sonst Holz und Metall gebraucht. Aber nicht jede Sorte von Pappe ist brauchbar. Wir wählen die graue, feste Buchbinderpappe von etwa 1 bis 2 mm Dicke und nicht jene ordinäre leicht brüchige Sorte, wie man sie zum Einpacken von Waren verwendet. Es ist kein Nachteil, wenn die Pappe beiderseits geleimt ist.

Am leichtesten stellen sich aus Pappe Gebilde her, die durch ebene Flächen begrenzt sind, z. B. Würfel, Kästchen, Pyramiden usw. Man hat dazu keineswegs nötig, alle Flächen des Körpers einzeln auszuscheiden und dann mit Hilfe von Papierstreifen zusammenzukleben, kann vielmehr fast stets einige Flächen im Zusammenhang lassen und

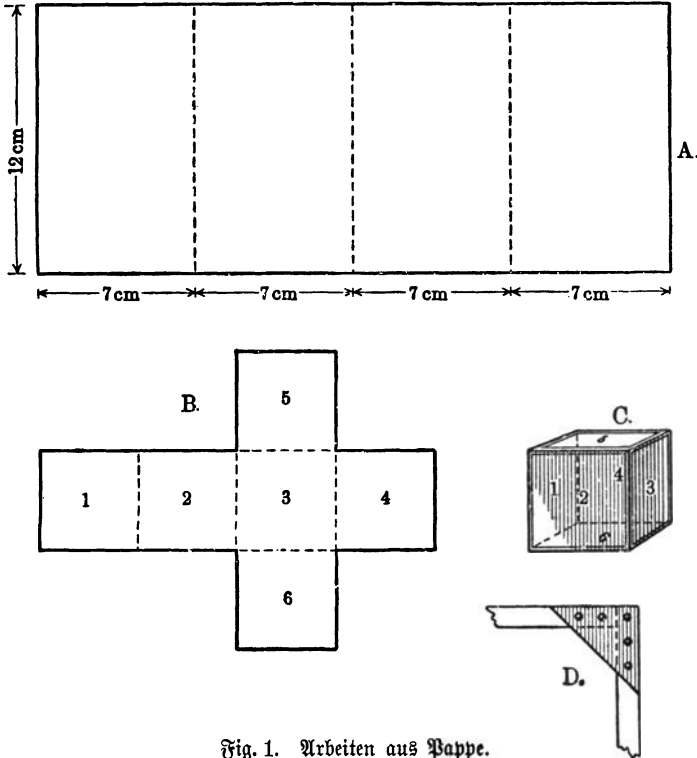


Fig. 1. Arbeiten aus Pappe.

gegeneinander knicken. Wenn es sich z. B. darum handelt, die beiderseits offenen Kästen für die Glasplattensätze im optischen Kapitel „Durchsichtige, farblose Körper bunt erscheinen zu lassen“ anzufertigen, wird man am zweckmäßigsten so verfahren (Fig. 1):

Man schneidet von der Pappe einen Streifen ab, so breit, als der Kasten lang ist und viermal so lang als die Schmalseite des Kastens (also 12 cm breit und $4 \times 7 = 28$ cm lang). Zum Schneiden der Pappe nehme man niemals eine Schere, sondern ein

scharfes Taschenmesser, das man an einem starken und gut anliegenden Lineal entlang führt. Den ersten Schnitt führt man mit mäßiger Kraft, um ein Abgleiten des Messers zu verhüten, bei den späteren Schnitten kann man stärker aufdrücken, da die Klinge dann bereits eine Führung vorfindet. Als Unterlage diene ein hartes Holzbrett, wie man es in der Küche benutzt.

Ist der Streifen genau rechtwinklig hergestellt, so schneidet man ihn in Abständen von 7 zu 7 cm ein, wie die Figur es zeigt, indem man den Schnitt etwa bis auf die Hälfte der Pappendicke vertieft. Man wird dann finden, daß sich die Pappe leicht und völlig scharfkantig nach der dem Schnitt entgegengesetzten Seite umknicken läßt, ohne zu brechen. So entsteht dann ohne weitere Umstände der gewünschte Kasten. Die letzten beiden, frei zusammenstoßenden Kanten werden durch ein schmales Streifchen Papier sorgfältig verklebt. Man kann auch die anderen gebrochenen Kanten nicht nur des besseren Aussehens, sondern auch der besseren Haltbarkeit wegen mit Papierstreifchen oder besser noch mit dem in jeder Papierhandlung erhältlichen, Kaliko genannten, Leinwandstoffe bekleben. Schließlich lassen sich auch recht gut jene schwarzen, fertig gummierten Papierstreifen gebrauchen, wie man sie zum Rändeln der Laternenbilder (sog. „Diapositive“) verwendet. Man bekommt sie in den größeren photographischen Geschäften.

Handelt es sich um einen rings geschlossenen Körper, beispielsweise einen Würfel (Fig. 1, B und C), so wird man ebenfalls den Zugschnitt aus einem Stück machen können, indem man die Knick Schnitte in der durch die punktierten Linien angedeuteten Weise führt. Die Flächen 5 und 6 bilden Deckel und Boden des Würfels.

In ähnlicher Weise wird man bei einiger Überlegung auch für andere Körper Modellschnitte ausfindig machen. Oft hilft dabei eine einstweilen aus Papier zurechtgeschnittene Probestatur auf den richtigen Weg. Haupterfordernis ist aber immer genaueste, ja peinlich akkurate Arbeit und Verwendung des Winkels und Lineals unter allen Umständen.

Als Klebemittel verwenden wir nicht Gummiarabikum, auch nicht den sogenannten Fischleim, sondern einen Kleister, der leicht nach folgendem Rezept bereitet wird. Man löst etwa einen Eßlöffel voll Weizenstärke in einem Tassenkopf voll kalten Wassers, erhitzt das Gemenge in einem Topf über dem Herdfeuer, bis sich die heiße Flüssigkeit beim Quirlen plötzlich in einen durchscheinigen Brei ver-

wandelt, der etwa die Festigkeit von Schmalz haben muß. Dann ist der Kleister fertig. Er hält sich etwa einen Tag gebrauchsfähig und besitzt den Vorzug, gut zu binden und nicht zu schmuhen. Zum Aufziehen von Photographien eignet er sich vorzüglich. Übrigens bekommt man jetzt auch in den photographischen Handlungen in Tuben fertigen Kleister, der recht gut ist.

Mit großem Vorteil läßt sich Pappe auch als Befestigungsmittel bei Holzarbeiten verwenden, da sie sich vorzüglich mit kleinen Nägeln (sogenannten Kammzwecken) gegen Holz festnageln läßt. Als Beispiel möge die in Fig. 1, D dargestellte Zusammenfügung zweier leichter Holzplatten durch eine Pappdecke dienen. Soll die Verbindung recht fest werden, so nagelt man beiderseits Pappe auf und nimmt sie nicht unter 2 mm stark. Feste und gut geleimte Pappe läßt sich übrigens auch ganz gut mit der Laubsäge schneiden.

Die Bearbeitung des Holzes. Unsere kleine Werkstatt enthält vor der Hand nur das Notwendigste. Hobel und Hobelbank besitzen wir nicht, noch weniger natürlich eine Drehbank. Wir werden daher Wert darauf legen, uns mit einem Tischler und Drechsler in der Nachbarschaft zu befreunden, der sich bald für unsere kleinen Arbeiten interessieren und gern bereit sein wird, mit seiner geschickten Hand und seinen guten Werkzeugen unseren Bemühungen nachzuhelfen.

Es sollen daher hier nur solche Holzarbeiten besprochen werden, die ohne weitere Umstände ausgeführt werden können. Zu ihnen gehören in erster Linie alle Laubsägearbeiten, soweit es sich darum handelt, Brettchen die richtige Form zu geben oder sie so zurecht zu schneiden, daß man sie aneinanderpassen und verleimen oder vernageln kann. Zur Laubsägearbeit wird ein Sägebügel, mehrere gröbere und feinere Sägen und ein an den Tisch zu schraubender Sägebock mit keilförmigem Ausschnitt gebraucht. Eine solche Ausstattung ist in jeder Eisenhandlung zu haben. Unsere Leser mögen sie sich zum Geburts- tag oder zu Weihnachten wünschen.

Unser Material ist in der Hauptsache, außer dem harten, weißen Laubsägeholz, das in allen Stärken käuflich ist, gutes, feinfaseriges und nicht zu schwaches Zigarrenkistenholz. Soll aus letzterem beispielsweise ein Grundbrettchen für einen Apparat gefertigt werden, so wird mit scharfen Bleistiftlinien und unter Zuhilfenahme von Lineal und Winkel (es lohnt sich stets, aus einer Eisenhandlung einen guten eisernen

Winkel zu kaufen) der Umriß auf das Holz aufgetragen, und zwar so, daß die Fasern des Holzes einer der Seiten — sagen wir der Längsseite — parallel laufen. Dann geht man an das Ausfägen. Auch das Arbeiten mit der Laubsäge erfordert Übung. Man biegt den Sägebügel etwas zusammen, so daß die zwischen die Klemmbanken eingespannte Säge gerade gezogen wird. Die Zähnen der Säge sind dabei nach vorn und unten — dem Handgriff des Bügels zu — gerichtet. Es ist am besten, wenn man den Sägebügel so ergreift, daß er nicht gegen den Körper gerichtet ist, sondern etwa über dem Unterarm steht. Das Sägeblatt muß dann etwas nach rechts gedreht werden, wozu der Bügel eine Vorrichtung besitzt.

Der Arbeitende sitzt vor dem an den Tisch geschraubten Sägebock, auf dessen Platte er das Holzbrettchen liegen hat und mit der linken Hand so richtet, daß die Säge immer der Vorzeichnung folgt. Wer nicht lernt, die Säge senkrecht zu führen und ohne Ungeduld und scharfen Druck zu arbeiten, wird niemals eine auch nur leidliche Laubsägearbeit zustande bringen.

Das ausgefägte Brettchen ist nun noch keineswegs geeignet, unserem Zwecke zu dienen, da es einmal zu schwach ist und dann das Bestreben hat, sich der Faser nach zu werfen. Beiden Übelständen helfen wir ab durch Ausfägen eines zweiten, gerade so großen Brettchens, dessen Holzfasern jedoch quer zu denen des ersten — also in unserem Falle parallel zur schmalen Seite — verlaufen. Beide Brettchen werden dann aufeinandergeleimt oder, wenn die Dicke noch nicht genügt, noch ein drittes, dem ersten ganz gleiches hinzugefügt, so daß die Brettchen 1 und 3 das zweite Brettchen zwischen sich einschließen (Fig. 2, A).

Leimen ist auch eine Kunst. Wie oft wird unrichtig geleimt. Es ist durchaus notwendig, die zu leimenden Flächen auf das Beste zu reinigen, was zweckmäßig durch Abreiben mit grobem Sandpapier geschieht. Der Leim wird heiß mit einem Pinsel gleichförmig und nicht zu dick aufgetragen, und zwar auf beide Teile.

Darauf werden die Flächen scharf aneinandergepreßt, am besten mit Tischlerschraubzwingen. In Ermangelung dieser genügt auch eine kräftige Belastung mit schweren Gewichten. Keinesfalls aber entferne man die Belastung vor Ablauf von mindestens 10 Stunden, da der Leim eher nicht abbindet und man dann in die Gefahr kommt, eine Arbeit zu erhalten, die nach einiger Zeit wieder auseinanderplagt. Überhaupt sage man sich immer wieder, daß Ungeduld nirgends

schlechter angebracht ist als bei unseren Arbeiten. Wer schnell zum Ziele kommen will, der arbeite langsam.

Wir verwenden den gewöhnlichen, in Tafeln käuflichen Tischlerleim, der zerbrochen, in kleinen Stücken heißem Wasser so lange zugekocht

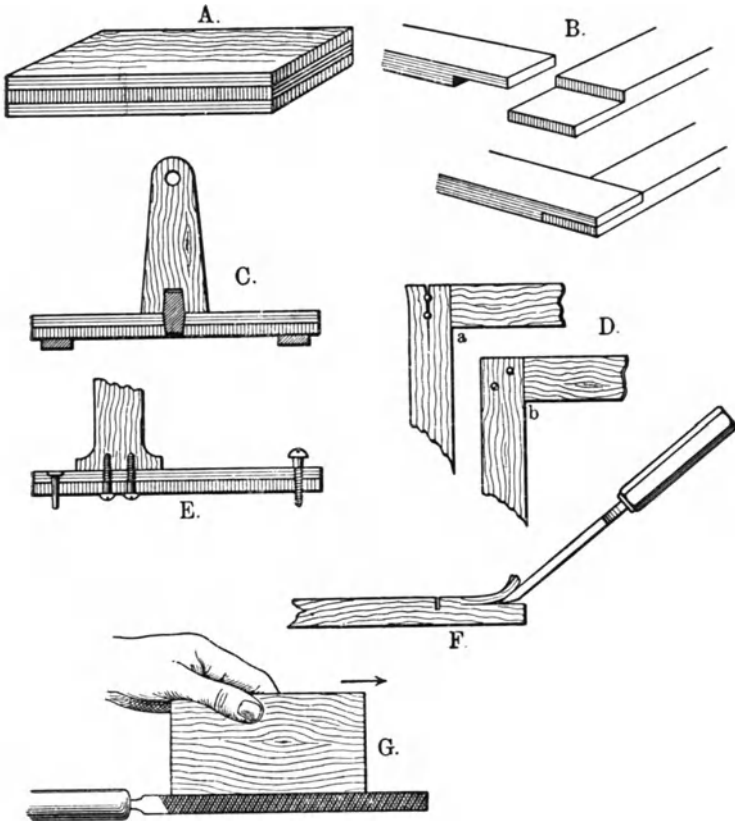


Fig. 2. Arbeiten aus Holz.

wird, bis, unter stetigem Umrühren mit einem Holzspachtel, eine nicht zu zähflüssige Masse entsteht. Es ist ganz zwecklos, Fischleim oder gar Gummiarabikum, etwa weil man es gerade zur Hand hat, für Holzarbeiten zu verwenden.

Handelt es sich darum, Rähmchen aus Holz herzustellen, so ist es unzweckmäßig, schmale Brettstückchen an den Ecken aufeinander zu

nageln oder zu leimen, da sie dann nicht in eine Ebene zu liegen kommen. Das einzuschlagende Verfahren ist einfach und man sollte es immer anwenden, um eine saubere Arbeit zu erzielen. Man legt die Brettchen mit ihren Enden im rechten Winkel genau passend aufeinander und merkt durch einen Bleistiftstrich die Breite des einen auf dem anderen an. Auf den Bleistiftstrichen sägt man mit der horizontal gehaltenen Laubsäge bis auf die halbe Dicke des Holzes ein und spaltet dann das Holz mit einem scharfen Taschenmesser, am Ende des Brettchens ansetzend, bis zum Einschnitt so weit ab, daß von diesem bis zum Ende das Brettchen nur noch seine halbe Dicke behält. Geschieht dies an beiden Brettchen, so passen sie dann, rechtwinklig aufeinandergelegt, derart zusammen, daß an der Auflagestelle die Brettstärke nicht überschritten wird. (Vgl. Fig. 2, B.) Beim Aufeinanderpressen herausquellender Leim wird sofort abgekragt.

Glaubt man durchaus mit dem Nageln schneller und besser fortzukommen, so wähle man dünne Stifte mit flachem Kopf. Der Hammer sei leicht (ein sogenannter Niethammer), die Schläge scheitelrecht treffend, kurz und nicht zu kräftig. Hat man mehrere Nägel einzuschlagen, so achte man darauf, daß sie nicht hintereinander in dieselbe Holzfasern gesetzt werden, da sie sonst das Holz aufspalten (Fig. 2, Da). Sie werden vielmehr gegeneinander versetzt, wie es die Figur unter b zeigt. Sollen hölzerne Gegenstände auf einem Brett befestigt werden — sagen wir einmal ein Lagerbock für eine Welle (Fig. 2, C und E) —, so genügt im allgemeinen ein Aufleimen allein nicht, man schraubt dann den Gegenstand entweder von unten her an (Messingschrauben sind den eisernen, da sie nicht rosten, vorzuziehen), oder man bohrt sowohl in den Bock wie in das Brett ein Loch, um dann, wie es die Figur verdeutlicht, einen beide Stücke verbindenden Holzpflock mit einzuleimen. Schraubenlöcher sollte man, um ein Platzen des Holzes zu vermeiden, stets mit einem Nagelbohrer vorbohren. Besser ist ein sogenannter Drillbohrer, für größere Löcher ein Zentrumbohrer, der allerdings teuer ist.

Statt der ungeleimten Holzfüße kann man, namentlich bei Apparaten, die unter keinen Umständen wackeln dürfen, auch starke Nägel verwenden, die man von oben her an den Ecken durch das Holz treibt (vorbohren!) und an der Spitze etwas rund feilt. Die vierte Ecke erhält eine Schraube und damit einen in der Höhe regulierbaren Fuß, so daß durch diese Vorrichtung stets ein fester Stand erzielt werden kann (Fig. 2, E).

Soll in der Mitte eines Brettes ein Kreis oder sonst irgend eine andere Figur ausgefägt werden, so bohrt man innerhalb derselben ein Loch und steckt die aus ihrer oberen Klemme befreite Laubsäge von unten hindurch, um sie darauf wieder in der Klemme des Bügels zu befestigen. Es ist selbstverständlich, daß hierbei die Größe des Werkstückes durch die Tiefe des Sägebügels begrenzt ist.

Zusammengeleimte Brettchen pflegen nicht so schön scharfkantig und an den Seiten nicht so glatt auszufallen, als man wünscht. Hier kann man leicht nachhelfen, wenn man die betreffende Fläche, das Brett hochkant haltend, in der Längsrichtung über eine mittelgroße Feile zieht (Fig. 2, G). Läßt man sich hierbei Zeit und führt die Striche, ohne dabei zu kanten, so kann man einer glatten und scharf begrenzten Fläche sicher sein. Sind alle groben Unebenheiten beseitigt, so wiederholt man die Prozedur auf grobem Sandpapier, das man zu dem Zweck auf ein ebenes Brett heftet. Wollte man mit dem Papier in der Hand schleifen, so könnte man nie auf scharfe Kanten, die jeder Arbeit ein so sauberes Aussehen verleihen, rechnen. Durch Nachschleifen mit feinerem und schließlich feinstem Sandpapier erhält man ein Resultat, das sich schon sehen lassen kann. In dieser Weise werden alle Flächen bearbeitet. Wo man nicht hinzu kann, wie etwa an die Innenkanten von Rähmchen, wickelt man Sandpapier glatt um ein linealartiges Holzbrettchen und sucht, mit diesem hin und her streichend, eine Glättung und Säuberung zu erzielen. Vorausgegangene Genauigkeit beim Sägen nimmt viel von dieser Arbeit ab.

Will man ein übriges tun und der Arbeit ein politurähnliches Aussehen verleihen, so überstreicht man in der Richtung der Faser mit einer Lasur, die durch Auflösung von 10 bis 15 g Schellack in einem viertel Liter Alkohol leicht herzustellen ist. Es dient dazu ein weicher breiter Pinsel.

Der gute und genaue Bau eines Apparates bleibt aber die Hauptsache. Alle Bearbeitung und Lasur können ihn nicht verbessern, wenn er krumm und schief dasteht.

Wollen wir uns außer gutem Zigarrenkisten- und Laubsägeholz einige Vorräte an Holz halten, so empfiehlt es sich, beim Tischler einige gehobelte Brettchen in verschiedener Größe bis etwa 25 qcm, etwa einen halben Zoll (13 mm) dick und einige Lattenstücke von quadratischem und rechtwinkligem Querschnitt, höchstens 2 cm dick, zu kaufen. Der Tischler hat immer für uns passende Abfälle umher-

liegen und behobelt sie uns gern. Alfrees, trockenes Kiefernholz ist am geeignetsten.

Arbeiten in Metall. Wir brauchen nur wenig Material für unsere Zwecke. Etwas Zinkblech, Weißblech (verzinntes Eisenblech) und Messingblech, alle Sorten höchstens 0,5 mm dick, so daß man sie noch mit einer starken Schere schneiden kann, und etwas Messingdraht oder Kupferdraht von 1 und 2 mm Durchmesser genügen.

Recht nötig ist dagegen ein kleiner Schraubstock, den man am Tischrande befestigt. Größere Eisenwarenhandlungen führen derartige Schraubstöcke bereits zu erschwinglichen Preisen. Man achte aber beim Ankauf darauf, daß die Feder, welche beim Aufdrehen die Backen des Schraubstockes auseinanderperrt, nicht zufällig fehlt.

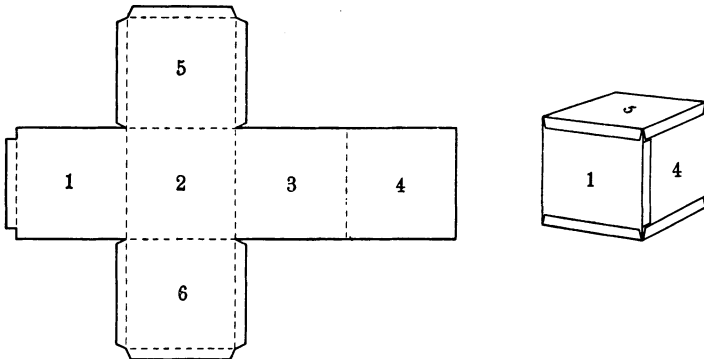


Fig. 3. Arbeiten aus Blech.

Für Kästen und andere Hohlkörper aus Blech wird ähnlich verfahren, wie unter „Papparbeiten“ angegeben, d. h. es wird zunächst die auseinandergelegte Flächenfigur auf Blech aufgezeichnet, und zwar unter verständiger Überlegung so, daß möglichst viel Seiten durch Knickung miteinander verbunden werden können. Zu beachten ist bei dem Entwurf, daß ein Überlöten von Metallstreifen an den Schlußseiten nicht ratsam ist und eine Verlötung der scharfen Kanten miteinander nicht hält. Man läßt daher an den freien Kanten noch schmale Streifen zum Verlöten stehen. Das Muster für einen Blechwürfel würde sich demnach so gestalten, wie Fig. 3 es zeigt.

Fast noch mehr als bei den Papparbeiten ist hier die peinlichste Sauberkeit und Genauigkeit bei der Aufzeichnung und weiteren Be-

handlung geboten, denn Pappe ist ein immerhin noch etwas geschmeidiges und dehnbares Material, Blech aber starr und steif. Die Vorzeichnung erhält man unter Benutzung von Zirkel und Winkel durch Einritzgen mit der Spitze einer kräftigen Stopfnadel, die, um sie besser regieren zu können, in ein vorgebohrtes Heft aus Holz mit Siegellack eingekittet wird. Ausgeschnitten wird die Figur mit einer kräftigen alten Schneiderschere. Sollte sich hierbei das Blech krümmen, so kann man es später durch Klopfen mit einem Holzhammerchen auf einer ebenen Unterlage wieder gerade richten.

Alle Sorgfalt ist auf das Knicken der Kanten zu verwenden, was sich mit einiger Genauigkeit und Schärfe nur im Schraubstock erzielen läßt. Das Blech wird so eingespannt, daß die vorgezeichnete Linie eben oberhalb der Klemmbanken zu sehen ist, und dann biegt man mit

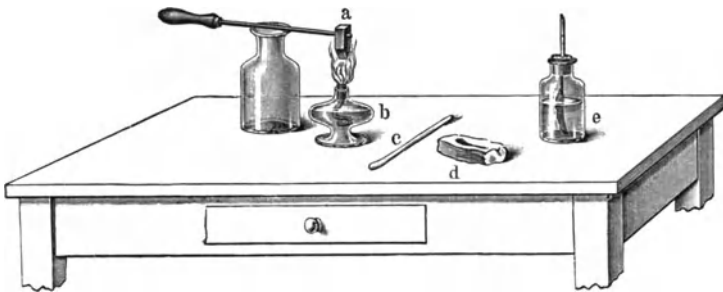


Fig. 4. Lötwerkzeuge.

der Hand das Blech herum unter Nachhilfe eines kleinen Hammers, dessen Schläge sich gegen den entstehenden Knick richten müssen. Sind erst einige Seiten umgebogen, so kann man an den Schraubstock nicht mehr heran und behilft sich dann damit, in ihn seitlich ein Stück Flach-eisen einzuspannen, über das sich bei einiger Geschicklichkeit auch die anderen Seiten herumhämmern lassen.

Die umgebogenen Lappen müssen gegen ihre Seitenflächen verlötet werden. Falls man nicht vorzieht, alle Blecharbeiten einem Klempner zu übertragen, was wir zumal bei den leichteren verschmähen, muß schon zum Ankauf einer kleinen Löttausrüstung geschritten werden. Schließlich ist aber auch in jedem Haushalt Lötwerkzeug so erwünscht, daß man vor der Ausgabe nicht zurückschrecken sollte. Zu einer Löt-einrichtung gehören (Fig. 4): ein LötKolben *a* (ein mittelgroßer genügt),

ein Stück Salmiak *d*, einige Stangen Lötzinn *c*, eine Spirituslampe *b* und Lötzwasser *e*.

Ein vorzügliches Lötzwasser kann man nach folgendem Rezept leicht selbst herstellen. Abfälle von Zinkblech werden in einer Tasse oder einem Schälchen mit zur Hälfte verdünnter Salzsäure übergossen. Sobald nach einiger Zeit das Brausen aufhört und sich kein Zink mehr auflöst, ist das Lötzwasser fertig. Es kann, in eine Flasche gefüllt, beliebig lange aufbewahrt werden. Zum Auftragen auf den zu lötenden Gegenstand bedient man sich am besten einer Federfahne. Lötzwasser hinterläßt an den Fingern einen unangenehmen, stumpf sich anfühlenden Schmutz, der aber mit Leichtigkeit durch Waschen mit Seifenwasser und Auftropfen von Salmiakgeist entfernt wird.

Der LötKolben muß über der Spirituslampe recht stark erhitzt werden, niemals aber sollte er rotglühend sein. Unsere erste Sorge ist, die Schneide des Kolbens mit einem Überzug von Zinn zu versehen. Hierzu wird der heiße Kolben mit der Schneide in ein Schälchen mit Lötzwasser getaucht und dann gegen das Lötzinn gerieben. Nimmt er dieses nicht an, was der Fall ist, wenn die Schneide gar zu schmutzig ist, dann kann die erforderliche Reinigung durch Reiben auf dem Salmiakstück leicht vorgenommen werden.

Große Sauberkeit der miteinander zu verlötenden Teile ist erstes Erfordernis. Sie wird erreicht durch Abreiben mit Schmirgel- oder Sandpapier. Das verzinnnte Eisenblech (Weißblech) macht eine vorherige Reinigung meist entbehrlich. Einige Übung im Löten erhält man bald, wenn man seine Kunst zunächst daran versucht, Drähte zusammenzulöten, Drähte an Blech zu löten oder Blechabfälle miteinander zu vereinigen. In allen Fällen müssen die Teile gut schließend aufeinandergepaßt und in der richtigen Lage mit der Hand oder mit einer Flachzange festgehalten werden. Liegen die Bleche hierbei auf einer Unterlage, so sei diese wegen der starken Abkühlung nicht von Metall, sondern von Holz. Die zu vereinigenden Stücke werden an den Stellen, auf die das Lot fließen soll, gut mit Lötzwasser bestrichen. Man bedenke auch, daß stumpf aneinandergelötete Teile nicht halten, sondern daß sie sich stets mit einer genügenden Fläche berühren müssen. Drähte, die senkrecht auf einer Blechfläche stehen sollen, werden daher rechtwinklig umgebogen, Bleche auf mindestens 2 mm Breite übereinandergelegt. Ist der heiße LötKolben gut verzinnt, so nimmt er meist so viel Lot an, als für kleinere Gegenstände nötig ist. Man

lasse alle Ungeduld beiseite und halte den Kolben ruhig auf die zu verlötende Stelle. Erst wenn diese genügend durchgewärmt ist, fließt das Lot vom Kolben herab und verteilt sich auf den Gegenstand. Hastiges Hin- und Herfahren mit dem Kolben, z. B. auf der Trennungsnäht zweier Bleche, bringt das Lot nicht schneller zum Fluß. Man nehme hierbei öfter Zinn auf den Kolben und gehe langsam vorwärts, das fließende Zinn gleichsam vor sich hertreibend. Erst wenn es erstarrt ist, können die Teile als vereint betrachtet werden. Bei größeren Gegenständen führt man, um mehr Lötzinn aufzubringen, die Lotstange mit dem Kolben zugleich vorwärts. Wir kommen jedoch meist schon aus, wenn wir das Lot tropfenweise mit dem Kolben aufnehmen und erzielen eine sauberere Lötung.

Selbstverständlich sehen wir davon ab, unseren Metallapparaten, besonders denen aus Messingblech, jenen goldigen Glanz zu geben, wie ihn die Mechaniker durch Auftragen von Lacken und Firnissen erhalten. Dazu gehört sehr viel Übung. Wir begnügen uns damit, die Eisenstücke mit feinem Schmirgelpapier, die Messinggegenstände auch mit Puzpomade, die Weißblechsachen durch Nachreiben mit Wiener Kalk recht sauber zu machen, nachdem wir überflüssiges Lot mit einer alten Feile heruntergekratz haben. Soll sich der Glanz erhalten, dann empfiehlt sich ein Überzug mit Schellacklösung, deren Herstellung auf Seite 9 beschrieben ist. Man trägt sie mit einem weichen breiten Pinsel gleichmäßig dünn auf und erhitzt den Gegenstand in einiger Höhe über einer Spiritusflamme so weit, daß er kaum noch mit der Hand berührt werden kann. Für grüne oder schwarze glänzende Überzüge wählt man einen guten Spirituslack, den jeder Drogist vorrätig hält.

Die von uns verarbeiteten Bleche müssen so dünn sein, daß wir einer besonderen Vorrichtung zum Bohren von Löchern entbehren können, uns vielmehr damit begnügen, Löcher, wo solche etwa zum Anschrauben oder zum Einführen der Laubsäge nötig werden, durchzuschlagen. Hierzu dient ein unten stumpf zugespitztes stählernes Eisen, das unter dem Namen „Durchschlag“, für unsere Zwecke in einer Lochstärke von 2 mm, in jeder Eisenhandlung zu haben ist. Das Blech wird mit der zu durchlochenden Stelle über den Schraubstock gelegt, dessen Backen so weit auseinanderstehen, daß sie den Durchschlag zwischen sich hindurchlassen. Man hält den Durchschlag mit der linken Hand senkrecht auf den zu durchlochenden Fleck und treibt ihn dann mit einem kurzen Hammer Schlag durch das Blech hindurch.

Es dürfte wenig bekannt sein, daß dünne Bleche sich auch mit der Laubsäge bearbeiten lassen. Ganz besonders eignen sich hierzu Messing- und Zinkblech.

Die Bearbeitung des Glases. Glasröhrchen sind für unsere Zwecke ein sehr schätzenswertes Material. Einige Röhren von 4 bis 8 mm äußerem Durchmesser und nicht zu starker Wandung (sogenannte Viegeröhren) mögen unseren Vorrat ausmachen. Man kauft sie am besten bei einem Glasbläser selbst oder in einem Geschäft, das chemische Glasinstrumente führt.

Es kommen für uns nur solche Arbeiten in Frage, die sich mit einer einfachen Spiritusflamme oder einem

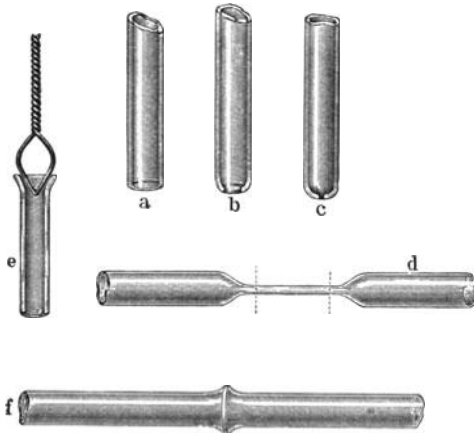


Fig. 5. Glasarbeiten.

Bunsenbrenner herstellen lassen, also das Schließen von Röhren, das Biegen, das Ausziehen und das Aneinanderblasen.

Um ein beliebiges Stück von einer Glasröhre abzutrennen, führt man quer zur Längsrichtung über die Stelle, an der das Rohr brechen soll, mit einer scharfen Dreikantfeile einen Schnitt, der sich beiläufig bis halb um die Röhre

herumziehen kann. Dann ergreift man die Röhre mit beiden Händen, sie dabei vor den Leib haltend, so, daß der Schnitt nach vorn zu liegen kommt und die Daumen der beiden Hände auf der Körperseite hinter dem Schnitt fast zusammenstoßen. Zieht man nun die Röhre auseinander und biegt sie dabei gleichzeitig nach hinten, so wird sie an der geritzten Stelle glatt auseinanderbrechen. Die Bruchstelle wird sofort nach vorsichtigem Anwärmen in den oberen Teil der Flamme unserer Spirituslampe gebracht und unter ständigem Drehen der Röhre darin so lange belassen, bis die scharfen Ränder rund geschmolzen sind. Durch diese Vorsichtsmaßregel verhütet man nicht nur ein Springen der Röhre,

sondern erleichtert auch das spätere Aufziehen von Gummischläuchen auf diese ganz bedeutend.

Soll die Röhre vorn ganz geschlossen werden (Fig. 5, a, b, c), so läßt man sie — immer unter Drehen — so lange in der Flamme, bis die weich werdenden Wände völlig zusammenfallen und zu einer Rundung verschmelzen. Es ist dies auch der Gang der Arbeit, um die Öffnung einer Röhre beliebig zu verengen und schließlich so feine Öffnungen herzustellen, als man nur will.

Um eine Röhre zu biegen, braucht man eine möglichst breite, große Flamme. Man ziehe also den Docht der Lampe etwas weiter heraus und breite ihn mit einer Nadel nach allen Seiten aus. Unter Aufstützen der Ellenbogen auf den Tisch (um einen sicheren Halt zu haben) ergreift man die Röhre mit beiden Händen, und zwar so, daß sie auf den gekrümmten kleinen Fingern aufliegt und sich mit Daumen und Zeigefinger drehen läßt. Man bringt sie so drehend langsam in den breitesten Teil der Flamme. Sobald ein Weichwerden des Glases zu spüren ist — zu weites Erhitzen ist schädlich —, wird die Röhre schnell aus der Flamme genommen und ihr die erforderliche Biegung beigebracht. Man sieht dabei auch seitlich und richtet die Schenkel in eine Ebene. Es ist nicht zu verhindern, daß die äußere Wandung der Biegung dabei etwas einfällt. Die Glasbläser verschließen daher die Röhre auf der einen Seite und blasen während des Biegens mit dem Munde von der anderen Seite her Luft ein, um die Wandung aufzutreiben. Dies Verfahren erfordert natürlich einige Übung.

Um eine Röhre in zwei Spitzen auszuziehen, beginnt man, wie eben beschrieben (vgl. Fig. 5, d). Unter fleißigem Drehen erhitzt man bis zur Rotglut, nimmt die Röhre aus der Flamme und zieht sie auseinander, wodurch zwei Spitzen entstehen, die einstweilen noch durch einen feinen Glasfaden zusammenhängen. Er wird so weit abgebrochen, als man wünscht, je weiter, desto größer wird die Öffnung. Leichtes Einritzen mit der Feile vor dem Bruch ist hierbei anzuraten.

Um die Röhren vorn trichterförmig zu erweitern, bedient man sich eines aus Draht geformten Spachtels (Fig. 5, e), den man in das rotglühende Röhrenende unter rascher Drehung um seine Achse eindrückt.

Die gleiche Arbeit muß vorgehen, wenn zwei Röhren mit ihren Enden zusammengeschmolzen werden sollen. Die beiden aufgetriebenen Enden werden gleichzeitig in der Flamme bis zur hellen Rotglut erhitzt

und dann aneinandergedrückt. Die Verbindung ist jedoch noch keineswegs so innig, daß sie nicht beim Erkalten springen sollte. Deshalb wird es notwendig, noch ein Verblasen der Stelle folgendermaßen vorzunehmen. Die eine Röhrenseite wird durch einen Kork geschlossen und, sobald die Röhrenstücke aneinandergedrückt sind, von der anderen Seite her — natürlich außerhalb der Flamme — durch Einblasen von Luft die glühende Stelle etwas aufgeblasen. Darauf geht man unter

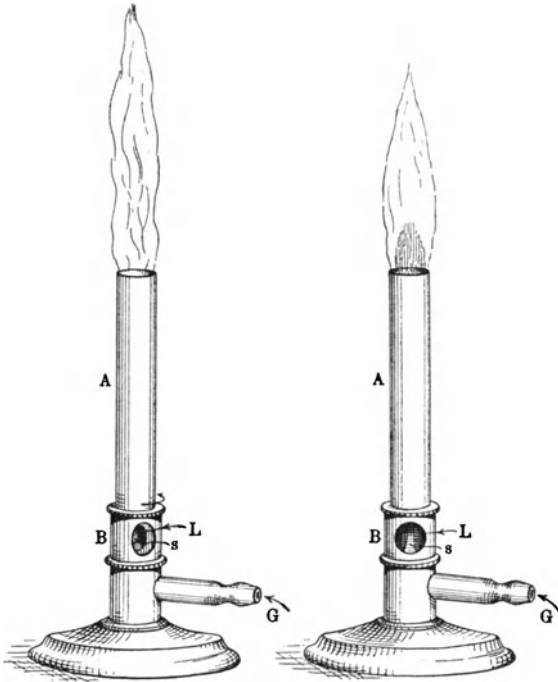


Fig. 6. Bunsenbrenner.

stetigem Drehen wieder in die Flamme und läßt die Glaswände wieder zusammenfallen. Darauf abermaliges Aufblasen usw., bis man annehmen darf, daß das Glas gut miteinander verschmolzen ist. Zum Zusammenschmelzen vor unserer einfachen Spirituslampe eignen sich nur die dünneren Glasröhren (Fig. 5, f).

Hat man Leuchtgas zur Verfügung, dann bedient man sich mit großem Vorteil statt der Spirituslampe des sogenannten „Bunsenbrenners“. Seine Flamme ist viel heißer und gestattet die Bearbeitung

dickewandigerer Röhren. — Fig. 6 stellt einen Bunsenbrenner dar. Bei *G* wird das Gas durch einen Schlauch zugeleitet und verbrennt oben an der Brenneröhre, nachdem sich ihm durch die runde Öffnung *L* der Hülse *B* Luft beigemischt hat. Je mehr man die Hülse durch Drehung öffnet, desto kürzer und heißer wird die Flamme und bildet schließlich an ihrer Wurzel einen kleinen, bläulichen Lichtkegel. Ist *B* geschlossen, so leuchtet die Flamme und eignet sich dann gut zum Biegen leichter Röhren und zum Abkühlen. Man wähle stets nur Brenner mit Luftregulierung, die u. a. in den Geschäften für chemischen Bedarf zu haben sind. Schlägt einmal die Flamme durch die Brenneröhre nach innen, so muß man das Gas zunächst abdrehen und dann von neuem anstecken.

Es darf wohl als selbstverständlich vorausgesetzt werden, daß man eben erhitzte Glasröhren nicht auf den Tisch legen darf, da sie einerseits durch zu schnelle Abkühlung leicht springen, andererseits die Tischplatte durch Brandstreifen verderben. Am besten steckt man sie aufrecht auf Nägel, die von unten her durch ein Brettchen geschlagen sind.

Kitten. Über das Leimen und Kleben wurde bereits bei den Papp- und Holzarbeiten das Nötigste gesagt.

Will man Papier auf Glas kitten, so kann man dazu den bekannnten Bureaugummi nehmen. Besser ist es jedoch, in etwa 30 g warmen Wassers 25 g Gelatine zu lösen und dann 30 g gepulvertes Gummiarabikum hinzuzusetzen. Die Gelatine muß vorher in kaltem Wasser quellen. Man kann der fertigen Lösung noch einige Tropfen Glycerin und zwei Tropfen Karbolsäure hinzugeben, letzteres, um spätere Pilzbildung zu verhindern.

Ein Klebemittel zur Befestigung von Papier auf Blech erhält man durch Verkochen von ein Teil Weizenstärke mit sieben Teilen Wasser zu Kleister. Auch mit einer ziemlich dicken Schellacklösung kann man Papier auf Blech kitten.

Um Metall an Glas zu kitten, beispielsweise um eine Messingstange in ein Glasrohr zu kitten, bedient man sich des roten Siegellack. Nicht der Siegelack wird erhitzt, sondern die beiden zu verbindenden Stücke, bis der Lack bei Berührung auf ihnen zerfließt. Dann drückt man die Stücke fest an-, oder in unserem Falle ineinander, und läßt erkalten. Überflüssiger und herausgequollener Siegelack wird zum Schluß mit dem Taschenmesser abgesprengt.

Werkzeuge und Materialien. Nach einem Ausspruche Franklins muß ein Geschickter mit dem Bohrer sägen und mit der Säge bohren können.

Auch wir kommen für den Anfang mit wenig Handwerkszeug aus, aber wir achten darauf, daß das Wenige gut sei, und werden dabei billiger wirtschaften als mit der Anschaffung der vielen zum Teil wenig haltbaren Dinge, wie sie die sogenannten wohlfeilen Handwerkszeugkästen enthalten. Es empfiehlt sich, jedes Stück einzeln in einer guten Eisenhandlung einzukaufen.

Zunächst genügen:

- 1 kleiner Schraubstock,
- 1 Lötkolben mit Zubehör und Spirituslampe,
- 1 Laubsägebügel mit Bod und Sägen,
- 1 mittelgroßer Hammer,
- 1 Flachzange,
- 1 mittelstarker Nagelbohrer,
- 1 mittelgrobe Feile,
- 1 rechter Winkel aus Eisen,
- 1 starke Schere;

später können hinzugekauft werden:

- 1 Beißzange,
- 1 Rundzange,
- 1 Zentrubohrer (Brustleier) mit verschiedenen Einsätzen,
- 1 Raspel,
- 1 Schlichtfeile u. a. m.

An Materialien können vorhanden sein: Einige nicht zu kleine Stücke von Weißblech, Zinkblech und Messingblech (0,5 mm stark); Kupfer oder Messingdraht (1 bis 2 mm stark); diverse Nägel und Schraubchen; 1 Bogen graue, gut geleimte Pappe (1 bis 2 mm stark); Zigarrenkistenholz in verschiedenen Stärken; einige Glasröhren von 4 bis 8 mm Durchmesser und nicht zu starker Wandung (sog. Biege-
röhren); einige Bogen verschieden feines Sandpapier.

Alle sonst etwa erforderlichen Materialien werden nur im Bedarfs-
falle angeschafft.

Erster Abschnitt.

Versuche aus der Mechanik.

Von der Trägheit eines Körpers. Jeder von uns weiß, daß sich ein Pferdegespann am meisten anstrengen muß, wenn es einen Wagen in Bewegung setzen will. Rollt der Wagen erst, dann haben es die Pferde leichter. Auch den Lokomotiven wird es schwer, ihren Zug in Gang zu bringen. Andererseits hört auch ein Zug nicht gleich auf zu laufen, wenn der Lokomotivführer den Dampf auf der Maschine absperrt. Der Zug hat offenbar eine Trägheit, die sich gegen ein Ingangsetzen ebenso auflehnt, wie gegen ein Anhalten. Einmal in Gang gesetzt, etwa von einer Rangierlokomotive abgestoßen, würde der Zug gar nicht aufhören zu laufen, wenn nicht äußere Kräfte, hervorgerufen besonders durch die Reibung der Bremsen an den Radreifen, durch die Reibung der Räder an den Schienen und durch den Luftwiderstand, seine Bewegung allmählich vernichteten.

Wo diese hemmenden Kräfte fehlen, oder doch äußerst gering sind, wie beispielsweise beim Fluge der Planeten durch den Weltraum, sehen wir in der That Bewegungen, die für unsere Begriffe von ewiger Dauer sind.

Die Trägheit der Körper beim Ingangsetzen ist gleichbedeutend mit dem Beharrungsvermögen, das sie im Zustand der Bewegung zeigen. Es handelt sich im Grunde genommen um denselben Begriff. Wir machen mit dieser räthelhaften Eigenschaft sämtlicher Körper überall, oft unangenehme, Bekanntschaft. Wie oft ist nicht schon beim heftigen Bremsen des elektrischen Straßenbahnwagens unser Körper in der Fahrtrichtung durch den Wagen geschleudert worden. Er beharrte eben bei seiner Vorwärtsbewegung. Auch der Reiter, der über den Kopf seines plötzlich im schnellen Laufe anhaltenden Pferdes fliegt, weiß vom Beharrungsvermögen ein Lied zu singen. Solcher Beispiele kann man eine große Reihe aufzählen und einige davon sind so lehrreich und unterhaltend zugleich, daß wir sie unseren jungen Lesern nicht vorenthalten wollen.

Ein lehrreicher Versuch über den Trägheitswiderstand.
Apparate: Ein Besen, ein dickes Buch und etwas Schnur. Wir legen den Besen quer über eine geöffnete Flügeltür und hängen, ganz wie es



Fig. 7. Ein Versuch über die Beharrung.

die Fig. 7 zeigt, ein schweres Buch, etwa ein Lexikon, daran auf. An der Schlinge, die das Buch hält, wird eine zweite, der oberen gleiche Schnur befestigt, und an dieser, bis etwa auf Schulterhöhe herab-

hängend, ein Knebel. Die Schnur muß so dick sein, daß sie das Buch, ohne zu reißen, gerade trägt, aber auch nicht dicker.

Wenn man nun jemand die Frage vorlegt, welche von den beiden Schnüren wohl reißen wird, wenn man an der unteren Schnur zieht, so wird er sicherlich sagen: die obere, denn sie hat außer dem von der Hand ausgeübten Zug auch noch das Gewicht des Buches auszuhalten. Er hat recht, aber er hätte ebenfalls recht, wenn er geantwortet hätte: die untere. Man kann nämlich nach Belieben die eine oder die andere Schnur reißen lassen, wenn man es nur richtig anfängt. Ist die Bewegung der Hand kräftig und schnell, ruckartig, so reißt die untere Schnur; zieht man dagegen langsam, so reißt die obere Schnur. Nach allem, was wir bereits über die Trägheit der Körper wissen, wird uns die Erklärung dieser eigentümlichen Erscheinung nicht schwer fallen. Dem Buche wohnt das Bestreben inne, an seiner Stelle zu verharren. Erfolgt nun der Zug kurz und ruckartig, so kann das Buch sich so schnell nach unten nicht in Bewegung setzen und der untere Faden reißt. Ein langsamer Zug hingegen überwindet die Trägheit, und der bereits durch das Gewicht stark beanspruchte obere Faden reißt.

Dieser Versuch erklärt auch die Schaustellungen von Leuten, die auf ihrer Brust, ohne Schaden zu nehmen, einen schweren Amboß stellen und auf diesem Gegenstände durch Hammerschläge zertrümmern lassen. Der Athlet legt sich dabei auf zwei Stühle, und zwar mit dem Kopf, dem Hals und den oberen Teilen der Schultern auf den einen, mit den Beinen auf den anderen Stuhl, so daß der nach oben durchgedrückte Rücken ununterstützt bleibt und für einen Amboß — der bisweilen die Stelle des Steines vertritt — eine elastische Unterlage abgibt. Unter den Amboß wird ein mehrfach zusammengelegtes weiches Tuch gebreitet, das den Druck gleichmäßig auf die Brust verteilt. So ist es gar kein Kunststück, einen Amboß von 2 bis 4 Zentnern zu tragen. Denn nehmen wir an, der Amboß sei 4 Zentner schwer und habe eine untere Grundfläche von 600 qcm, so drücken auf jeden Quadratcentimeter Brustfläche etwa 333 g, was ein kräftiger Mann schon aushalten kann. Wird nun ein kurzer, kräftiger Schlag mit einem nicht zu schweren Hammer auf den Amboß geführt, so spielt der Amboß die Rolle des Buches im vorigen Experiment. Er kann sich vermöge seiner Trägheit nur schwer — nach unten hin auf die Brust drückend — in Bewegung setzen, und man kann leicht ausrechnen, der wievielte Teil der Wucht des Hammerschlages sich auf

den Amboß überträgt, wenn man erfährt, daß die Wirkungen sich zueinander verhalten wie die Gewichte von Hammer und Amboß. Hat der Hammer ein Gewicht von 5 kg — und das ist schon ein gehöriger Hammer —, so wirkt der Schlag bei unserem Amboß nur mit dem vierzigsten Teil seiner Wucht auf den Körper. Hinzu kommt noch, daß bei derartigen Versuchen, bei denen ein Stück Band Eisen auf dem Amboß durchschlagen zu werden pflegt, sich zwar mit Hilfe eines scharfen Schrothammers die Wucht der Schläge auf eine kleine Stelle des Eisens konzentriert, für die tragende Brust aber auf die untere Fläche des Amboßes verteilt wird, in unserem Falle also auf 600 qcm. Hat der Schrothammer eine Fläche von 0,5 qcm, so wird mithin wegen der Ausbreitung die Wucht des Schlages auf den 1200sten Teil und außerdem wegen der Schwere und Trägheit des Amboßes noch auf den 40sten Teil verringert, so daß der Körper nur den 48 000sten Teil der Kraft des Schlages auszuhalten hat und nichts als eine geringe Erschütterung verspüren wird.

Unsere Leser können sich nun einmal selbst darüber klar werden, wie die Dinge stehen, wenn es sich darum handelt, ein großes Steinstück durch wuchtige Hammerschläge auf der Brust eines Menschen zu zertrümmern.

Postkarte und Münze. Trotzdem bei einiger Vorsicht in der Tat wenig Gefahr dabei ist, wird wohl kaum jemand von uns Lust dazu haben, einen Stein auf seiner Brust zerzuschlagen zu lassen, zumal da Versuche in kleinerem Maßstabe ganz die gleichen Erscheinungen zeigen. Zu ihnen gehört auch das Experiment mit der Postkarte und der Münze (Fig. 8).

Wir legen eine Postkarte so auf den Rand des Tisches, daß sie mit etwa zwei Dritteln ihrer Länge über diesen hinausragt. Bei einiger Geduld kann man es dahin bringen, eine Münze aufrecht auf die Postkarte zu stellen, und zwar so, daß ihr Rand nach der überhängenden Seite der Postkarte zu gerichtet ist. Natürlich muß der Tisch ganz wagerecht stehen. Es fragt sich nun, ob man die Postkarte unter der Münze fortziehen kann, ohne daß diese umfällt oder auch nur wackelt. Wer nicht mit uns schon gewitzigt ist und etwas von der Trägheit der Körper weiß, wird dies für unmöglich erklären. Wir sind uns sofort darüber klar, daß wir die Karte nicht ängstlich und langsam, sondern schnell und mit einem kurzen Ruck entfernen müssen.

Das läßt sich auf sehr einfache Art machen, wenn man in der Richtung des Pfeiles — von oben nach unten — einen kräftigen Schlag mit der flachen Hand auf den hervorstehenden Teil der Karte ausübt. Es wirkt höchst überraschend, die Münze plötzlich ihrer Unterlage beraubt, und ohne daß sie sich auch nur gerührt hätte, auf dem Tische stehen zu sehen. Übrigens gelingt der Versuch am besten mit einer nicht zu steifen Karte.

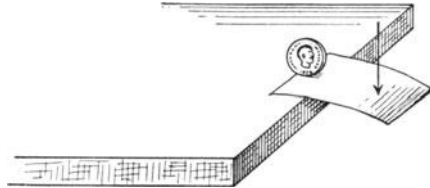


Fig. 8. Postkarte und Münze.

Sehr geschickten und beherzten Leuten soll es gelingen, ein Tisch-
tuch oder eine Serviette mit raschem Ruck unter dem Geschirr hinweg-
zuziehen, doch können wir unseren Lesern zu diesem Versuch aus
begreiflichen Gründen nicht raten.

Münze und Weinglas. Lege eine Visitenkarte über ein Wein-
glas und mitten darauf ein nicht zu leichtes Geldstück. Rnipse mit
den Fingern die Karte seitlich fort und die Münze wird in das Glas
fallen. Die Erklärung ist dieselbe, wie bei dem vorigen Versuch. Ist
das Glas zart und zerbrechlich, so legt man etwas Watte hinein.

**Versuch mit einem Pfeifenstiel und Papierschnitten, die
an Messern hängen.** Recht eindrucksvoll kann die Trägheit eines
Körpers folgendermaßen gezeigt werden. Zwei Gehilfen halten je ein

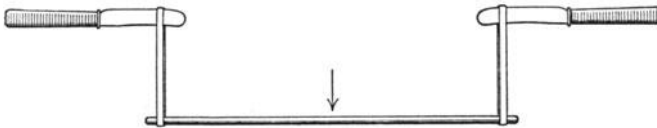


Fig. 9. Pfeifenstiel an Papierschnitten.

Messer in der Hand, und zwar wagerecht mit der Schneide nach oben. Der Stiel einer langen holländischen Tonpfeife, wie man sie bei den
Zigarrenhändlern bekommt, oder ein Glasrohr wird nun, wie es Fig. 9
zeigt, an zwei Schnitten aus Seidenpapier, die man über die Messer-
schneiden schiebt, lose und vorsichtig aufgehängt. Führt man nun

mit einem nicht zu leichten Stoß einen kräftigen Schlag auf die Mitte des Pfeifenstieles, so vermögen seine Enden wegen ihrer Trägheit dem Schläge nicht so schnell zu folgen, als der Stiel zerbricht. Man sieht daher den zertrümmerten Pfeifenstiel herabfallen, ohne daß die Papierstreifen zerrissen sind oder sich an den Messern aufgeschlizt haben. Ja, wenn man einige Übung erlangt hat, kann man die Papierschlengen sogar durch solche aus Haaren ersetzen.

Die wandernde Münze. Es bedarf kaum irgendwelcher Vorrichtungen zu diesem einfachen Versuch. Ein Wasserglas wird umgekehrt mit den Händen auf zwei Bleistifte gestellt, so daß es den Tisch nicht berührt. Unter das Glas auf die Tischdecke legt man ein Geldstück (Zehnpfennigstück), wie es die Fig. 10 veranschaulicht. Damit sind alle Vorbereitungen getroffen und der Versuch kann beginnen.



Fig. 10. Die wandernde Münze.

Es gilt, das Geldstück unter dem Glase hervorzuholen, ohne es zu berühren. Das scheint fast unmöglich, ist aber ganz leicht. Man braucht nur dicht am Glase auf dem Tischtuch kurz und energisch mit dem Fingernagel zu kratzen (in der Pfeilrichtung, siehe Abbildung), um alsbald die Münze unter dem Glase hervormarschieren zu sehen.

Und die Erklärung dieses scheinbar so geheimnisvollen Vorganges? Sehr einfach. Der Nagel zieht das Tuch und zugleich die Münze etwas unter dem Glase hervor. Darauf schnell das gespannte Tuch zurück, die schwere Münze bleibt jedoch wegen ihrer „Trägheit“ an vorgerückter Stelle liegen. Wiederholt sich der Vorgang, so bewegt sich also die Münze unter dem Glase hervor. — Am besten gelingt der

Versuch, wenn das Tischtuch über einer glatten Wachstuchdecke liegt. Warum mißlingt er aber, wenn wir statt der Metallmünze eine leichte Spielmarke aus Pappe nehmen?

★ Allgemeine Betrachtungen. Wir haben bisher mit den verschiedenartigsten Gegenständen experimentiert und sind immer auf das gleiche Gesetz geführt worden. Die „Trägheit“ ist also offenbar eine wenn auch rätselvolle, so doch ganz allgemeine Eigenschaft aller Körper, oder wie man gleich sagen kann, aller Masseteilchen, denn aus diesen sind ja die Körper aufgebaut. Nur durch Einwirkung von „Kräften“ kann die Trägheit einer „Masse“ überwunden werden. Setzt sich die Masse in Bewegung, erlangt dabei, nachdem die Kraft eine Sekunde lang auf sie eingewirkt hat, eine Geschwindigkeit, mit der sie ohne die Kraft, nur infolge ihrer Beharrung, in jeder folgenden Sekunde beispielsweise einen Weg von 100 cm zurücklegen würde, so sagen wir, sie habe eine „Beschleunigung“ von 100 cm erfahren. Wir können dann bei bekannter Masse die Größe der einwirkenden Kraft und umgekehrt, bei bekannter Kraft die beschleunigte Masse bestimmen. Denn je größer die Masse (und damit die Trägheit) ist, desto größer muß auch die Kraft sein, die ihr eine bestimmte Beschleunigung erteilen soll. Als Einheit gilt uns dabei diejenige Masse, die in einem Kubikzentimeter Wasser enthalten ist, Einheit des Weges ist 1 cm, Einheit der Zeit die Sekunde. Die Einheit der Kraft ist also gegeben als diejenige Kraft, die der Einheitsmasse in einer Sekunde eine Beschleunigung von 1 cm erteilt. Unsere jungen Freunde werden im Physikunterricht von diesen wichtigen Größen mehr hören.

Vom Schwerpunkt eines Körpers. Es ist ein merkwürdiger Punkt, von dem wir nun erzählen wollen. Er ist unsichtbar in jedem Körper enthalten und vertritt ihn gewissermaßen in allen seinen Teilen, so daß z. B. ein Körper nicht fallen kann, wenn man nur dafür sorgt, daß sein Schwerpunkt unterstützt ist. Dieser geheimnisvolle Punkt liegt in den Körpern je nach ihrer Gestalt sehr verschieden, bei einer Kugel z. B. fällt er mit ihrem Mittelpunkt zusammen und gibt so den einfachsten Fall für unsere Erörterungen ab.

Betrachten wir einmal eine Kugel, die auf einer ganz wagerechten Unterlage liegt (Fig. 11, 1), so sehen wir, daß ihr Mittelpunkt und also auch ihr Schwerpunkt genau senkrecht über dem Punkt liegt, mit

dem die Kugel auf der ebenen Fläche aufliegt. Man sagt dann, ihr Schwerpunkt sei unterstützt, und die Kugel könne daher von selbst nach keiner Seite hin fallen, d. h. nicht fortrollen, wie man sie auch drehen und wenden möge. Ist die Unterlage aber nicht wagerecht, so ändern sich damit sofort die Verhältnisse (Fig. 11, 2). Der Schwerpunkt liegt nicht mehr senkrecht über der Auflagestelle und ist mithin auch nicht mehr unterstützt. Er kann nach rechts hin fallen, d. h. die Kugel wird nach rechts hin fortrollen.

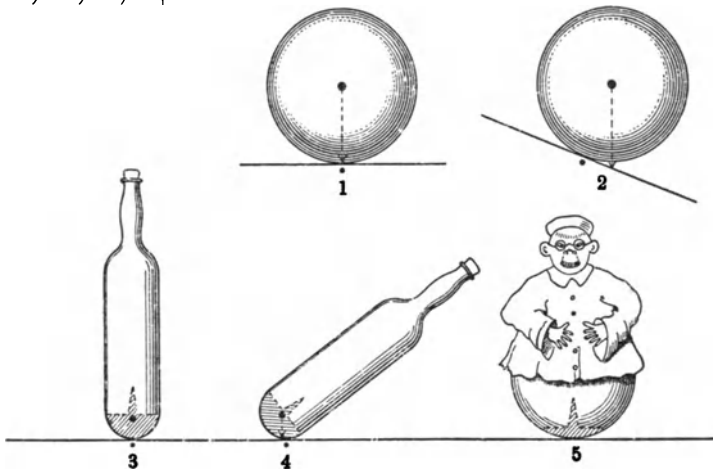


Fig. 11. Der Stehauf.

Der aufwärts rollende Zylinder. Durch tausendfache, wenn auch unbewusste Beobachtungen und Erfahrungen können wir uns sehr schnell ein Urteil darüber bilden, wie bei diesem oder jenem Körper schon nach seiner Gestalt der Schwerpunkt liegt und wie wir ihn halten und unterstützen müssen, damit er nicht fällt. So werden wir gar nicht erst versuchen, eine Weinflasche auf die Kante oder ein Ei auf die Spitze zu stellen.

Alle Scherze und Spiele aus diesem Kapitel beruhen nun darauf, den Schwerpunkt in einigen, dem Außen nach recht bekannten, Körpern da anzuordnen, wo man ihn nicht vermutet. Der Körper wird dann Bewegungen ausführen müssen, die allem zuwiderlaufen, was wir sonst von ihm gewohnt sind. Urteilslose Leute sagen dann, er gehorche den Naturgesetzen nicht mehr. Wir wissen es besser und können sie, nachdem uns der Spaß gelungen ist, über ihren Irrtum aufklären.

Ein sehr einfacher Versuch ist folgender. Wir verfertigen eine zylindrische Röhre aus feinem Papier, am besten, indem wir sie locker über einem Lampenzylinder zusammenleimen. 6 cm ist ein gutes Maß für ihre Länge. Innen an die Wand der Röhre kleben wir mit Siegellack oder Leim eine kleine Münze, etwa ein Fünfpfennigstück, und verbergen es für den Zuschauer, indem wir die Papierröhre rechts und links durch aufgeklebte Böden verschließen. Da man ihr äußerlich nichts besonderes anmerkt, so vermutet jedermann, diese Röhre werde sich so verhalten wie jede andere, nämlich ruhig liegen bleiben, wenn man sie auf einen Tisch legt. Das tut sie aber durchaus nicht in allen Fällen, sondern nur dann, wenn das Geldstück zufällig gerade nach unten ober oben zu liegen kommt. Das Geldstück ist der weitaus

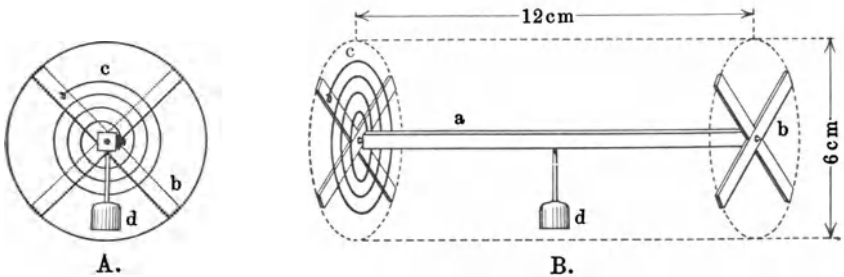


Fig. 12. Der aufwärts rollende Zylinder.

schwerste Teil des Zylinders und dessen Schwerpunkt liegt nicht, wie man glaubt, in der Achse, sondern am Rande. Der Schwerpunkt ist also nur in den beiden angedeuteten Fällen durch den Auflagepunkt senkrecht unterstützt, in allen anderen Lagen wird der Zylinder ins Rollen kommen müssen und sogar auf nicht allzu stark geneigten Unterlagen ein Stück aufwärts laufen. Man sieht aber sofort ein, daß er sich dabei nicht einmal ganz um die volle Hälfte seines Umfanges drehen kann. Viel vollkommener, und zwar so, daß der Zylinder sich mehrmals herumdreht und also eine ganze Strecke weit läuft, gelingt das Experiment auf folgende Weise.

Man macht den Zylinder aus fester, aber geschmeidiger Pappe etwa 12 cm lang und 6 cm im Durchmesser. Bevor er jedoch an den Seiten geschlossen wird, erhält er im Innern eine Einrichtung, wie sie Fig. 12 in Seitenansicht (A) und Längsansicht (B) zeigt.

Quer in die beiden offenen Seiten des Zylinders leimt man je ein Kreuz aus Holz, das zweckmäßig mit der Laubfäge hergestellt wird. Beide Kreuze erhalten ganz genau in der Mitte kleine Durchbohrungen, die später die Achse führen sollen und möglichst glatt und sauber sein müssen. Die Achse *a* kann ein hölzerner Stab sein, rund oder eckig, in welchem zwei Stückchen einer Stricknadel befestigt sind. Mitten an der Achse bringt man ein Querbölzchen oder ein Stück Stricknadel an, so lang, als es der Durchmesser des Zylinders erlaubt. Am Ende dieser Nadel, die mit der Achse zusammen ein halbes Kreuz bildet, wird durch Anbinden oder Ankitten mit Siegelack ein Bleistück *d* befestigt, das nicht zu leicht ist. 200 g genügen.

Nun besorgt man sich von einem Uhrmacher eine schwache Taschenuhrfeder, die man nicht allzu teuer haben kann, und befestigt sie so in dem Zylinder, daß das eine Ende mit einem der Holzkreuze, das andere mit der Achse auf derselben Seite dauerhaft verbunden ist, genau so, wie es unsere Abbildung deutlich zeigt.

Der auf den Tisch gelegte Zylinder bleibt ruhig liegen. Dreht man ihn jedoch, ihn gleichsam in der Luft rollend, zwischen den Fingern herum, so wird die von dem immer nach unten hängenden Gewicht festgehaltene Achse diese Drehung nicht mitmachen und infolgedessen die Uhrfeder aufrollen.

Man beobachtet, wie oft man herumdrehen kann, bis die Feder ganz gespannt ist. Das ist bei einer ziemlich langen Feder etwa zehnmal der Fall. Wir haben also in der kleinen Vorrichtung ein Uhrwerk vor uns, dessen einziges Rad der Zylinder selbst ist.

Setzt man den so „aufgezogenen“ Zylinder auf den Tisch, so hat natürlich die Feder das Bestreben, sich wieder aufzurollen, was sie nicht konnte, solange wir sie einerseits mit dem Zylinder an dem einen Ende festhielten und andererseits das schwere Gewicht dafür sorgte, daß sich das andere Ende nicht bewegen konnte. Lassen wir jedoch los, so ist die Feder zwar nicht stark genug, um das Gewicht im Kreise umherzuerschleudern; es bleibt immer unten, aber der Zylinder rollt fort.

Man neigt nun den Tisch, auf dem der Versuch gemacht wird, so lange, bis man sieht, ob der Zylinder, der ebenso gut wagerecht läuft wie bergauf und bergab, mit hinreichender Kraft steigt. Ist dies nicht der Fall, so muß man an dem Gewicht so lange ändern, bis es zu der Kraft der Feder in richtigem Verhältnis steht. Dann erst leimt

man die beiden Seitendeckel auf und achtet darauf, daß nichts mehr von der inneren Einrichtung sichtbar bleibt, auch nicht die Enden der Achse.

Ein derartiger Zylinder macht nun nicht nur eine halbe Umdrehung, sondern kann ein Brett von fast 1 m Länge aufwärts laufen, sich dabei etwa fünfmal um seine Achse drehend. Niemand wird sich seine geheimnisvolle Kraft erklären können, besonders wenn man zunächst dafür sorgt, daß das Aufziehen unbemerkt geschieht, oder wenn man ihn vom Ende seiner Bahn, ohne ihn aufzuheben, wieder abwärts rollt, zeigend, daß ihm immerfort das Bestreben innewohne, aufwärts zu laufen. Wir werden aber unsere Zuschauer darüber aufklären, daß der Zylinder bei seinen rätselhaften Bewegungen nicht einer geheimnisvollen widernatürlichen Kraft gehorcht, sondern allein der Kraft, die wir selbst ihm mitgeteilt haben, indem wir ihn aufzogen.

Der Stehauf. Es ist ein lustiges, leicht herzustellendes Spielzeug, dieser Stehauf, und kann in so viel verschiedenen Gestalten angefertigt werden, als man nur will. Seine possierliche Wirkung beruht wiederum darauf, daß man den Schwerpunkt ganz wo anders sucht, als da, wo er liegt.

Man fertigt einen Stehauf am besten aus einem Stückchen Holundermark an, dem man etwa, wie Fig. 11, 3 es zeigt, die Form einer 4 cm hohen Bier- oder Weinflasche geben kann. Unter den Boden der Flasche klebt man ein Stückchen Blei, das man zuerst durch Beschneiden mit dem Messer und dann vielleicht noch durch Bearbeiten mit einer Feile unten sehr sauber halbkugelig abrunden muß. Oft tut statt des Bleistückchens auch ein Nagel mit halbrundem Kopf gute Dienste, wenn er nur nicht zu lang ist. Wird die ganze Flasche schwarz oder grün lackiert oder gar noch am Rork rot gestrichen und mit einer Etikette versehen, so kommt so leicht niemand auf den Gedanken, daß fast das ganze Gewicht der Flasche und mithin auch ihr Schwerpunkt unter dem Boden liegt. Und gerade hierdurch wird ihr sonderbares Verhalten bewirkt, daß man doch sonst gewiß an keiner Flasche, deren Schwerpunkt natürlich viel höher liegt, kennt, nämlich sich unter allen Umständen wieder aufzurichten, man mag sie auf die Seite legen, so oft man will. Wer von unsern Lesern alles, was auf S. 25 über den Schwerpunkt gesagt ist, recht genau durchgelesen hat und nun die Darstellung Fig. 11, 4 aufmerksam betrachtet, wird sicher selbst erkennen,

wie hier das Halbkügelchen aus Blei aufrichtend auf die leichte Flasche wirken muß.

Der Versuch Fig. 11, 5 bedarf nach dem, was eben gesagt wurde, wohl keiner besonderen Erläuterung.

Versuch mit einem Doppelkegel. Außerordentlich einfach und wirklich überraschend ist folgendes Experiment.

Vielleicht dreht ein Drechsler uns aus hartem, gutem Holz einen Doppelkegel von etwa 6 cm Durchmesser und etwa 14 cm Länge.

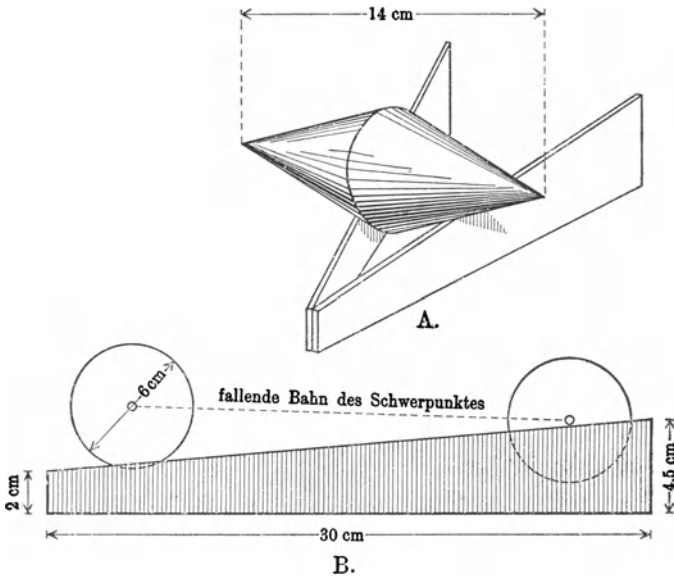


Fig. 13. Scheinbar aufwärts laufender Doppelkegel.

Wir stellen als Bedingung, daß er möglichst genau gearbeitet sei. Fig. 13, A zeigt einen derartigen Doppelkegel. Dann schneiden wir aus gutem Laubsägeholz zwei Brettchen, deren Abmessung in Fig. 13, B angegeben ist. Die obere Kante, welche zur unteren schräg verläuft, muß möglichst gerade und mit Sandpapier sauber geglättet sein. Am besten stößt sie ein Tischler mit dem Hobel zurecht. Wollen wir die Maße der Brettchen anders wählen als angegeben, sie also z. B. länger machen, so müssen wir doch stets beachten, daß der Höhen-

unterschied der beiden kurzen Seiten geringer ist als der halbe Durchmesser des verwendeten Kegels.

Wenn man nun diese beiden ganz gleich geschnittenen Brettchen mit ihren kleinsten Kanten zusammenstellt und, wie es Fig. 13, A veranschaulicht, mit den anderen kurzen Kanten so weit voneinander bringt, als der Doppelkegel lang ist, und diesen dann mit seiner Mitte auf die niedrigste Stelle der durch die oberen Kanten gebildeten Bahn setzt, so wird er sofort anfangen, sich zu drehen und nach der höchsten Stelle der Bahn hinzulaufen.

Mit diesem Versuch hat es offenbar eine ganz besondere Bewandnis. Als wir früher (S. 28) den Pappzylinder scheinbar allen Naturgesetzen zuwider bergauf laufen sahen, wußten wir Eingeweihten wohl, daß es sich um eine Täuschung handele, denn dieser Zylinder lief nicht von selbst, sondern getrieben durch eine Kraft, die wir selbst ihm vorher durch eine versteckte Feder mitgeteilt hatten. Dieser Doppelkegel aber besitzt keine verborgene Triebfeder, es geschieht etwas scheinbar Unmögliches, Unnatürliches — aber in der Tat auch nur scheinbar, denn der Kegel steigt gar nicht, er fällt und sein Schwerpunkt, der hier mit dem Mittelpunkt zusammentrifft, liegt am Ende der Bahn tiefer als zu Anfang, wie wir uns leicht durch die Betrachtung der Fig. 13, B überzeugen können. Wenn man die beiden Brettchen, welche die schiefe Ebene bilden, näher zusammenrückt, so daß der Kegel am Ende der Bahn nicht mehr so tief zwischen sie einsinken kann, dann läuft er auch nicht mehr scheinbar bergauf.

Übrigens hat der Doppelkegel das Bestreben, die beiden Brettchen auseinanderzudrücken. Wir werden daher durch ein kleines hölzernes Querstäbchen dafür sorgen, daß dies nicht geschehen kann. Ganz gut kann man statt der Brettchen auch gerade und glatte Spazierstöcke durch Unterlage von Büchern passend aufbauen und statt des Doppelkegels eine Kugel (Billardkugel) verwenden.

Jemand so zu stellen, daß er das Bein nicht heben kann.
Zu diesem Versuch bedarf es gar keiner Vorbereitungen. Man stellt jemand gerade so an die Wand, daß die Haden die Wand berühren. Wählt man dazu eine Wand, die keine Scheuerleiste hat oder auch eine glatte Türe, so liegt der Schwerpunkt des straff aufgerichteten Körpers so weit nach vorn, daß er nur noch durch die Fußspitzen unterstützt wird. In dieser Stellung kann niemand sein Bein heben, da durch diese Ver-

änderung der Schwerpunkt so weit nach vorn geschoben wird, daß der Körper fallen muß. Bedingung für das gute Gelingen dieses Experimentes ist natürlich, daß das Knie des stehendbleibenden Beines nicht nach vorn herausgedrückt wird.

Jemand so zu setzen, daß er nicht aufstehen kann. Es ist wohl jedem schon einmal aufgefallen, daß es stets erst einiger — meistens unbewußter — Vorbereitungen bedarf, um von einem Stuhl aufzustehen. Man zieht dazu die Füße an den Stuhl heran und streckt meist die Arme etwas nach vorn.

Legen wir nun jemand, der sitzt, die Hände auf die Knie und ziehen ihm die Füße etwas nach vorn, so werden wir bemerken, daß es ihm unmöglich ist, sich aus dieser Stellung zu erheben. Natürlich liegt jetzt der Schwerpunkt des Körpers ganz nach hinten über und wird allein durch den Stuhl unterstützt. Erst wenn es dem Sitzenden gelingt, die Füße heranzuziehen und den Oberkörper so weit vorzubeugen, daß sein Schwerpunkt über die Füße zu liegen kommt, kann er aufstehen.

Ein gewagter Schwerpunktsversuch. Besonderer Vorbereitungen bedarf es nicht, besonderer Apparate auch nicht, denn ein



Fig. 14. Schwerpunktsversuch.

Teller, zwei Schöpfkellen und eine Wasserflasche sind in jedem Haushalt vorhanden. Wir klemmen Teller und Schöpfkellen aneinander, wie es die Fig. 14 zeigt, und stützen dann den Tellerrand ganz vorsichtig auf die Öffnung der Wasserflasche. Möglicherweise ist dann schon der ganze Aufbau im Gleichgewicht und schwebt beinahe in der Luft, ein allerdings etwas beklemmender Anblick. Ist die Tellerseite zu leicht, so wählt man einen

größeren Teller, die Kelle kann man ohne Mühe durch eingelegte Gegenstände beschweren. Sollten die umgebogenen Anhänger der Kellenstiele zu weit offen stehen, so klopft man sie mit dem Hammer etwas zusammen.

* **Vom Gewicht.** Es gibt Dinge, die wir nicht erklären können, obgleich sie zu den alltäglichen Erscheinungen gehören. Niemand kennt z. B. die eigentliche Ursache der hervorragendsten Masseseigenschaft aller Körper, der Trägheit. Auch weiß man bis jetzt nicht, woher jene Kraft stammt, die sowohl zwischen den einzelnen Masseteilchen, wie auch zwischen den Ansammlungen von Masseteilchen, d. h. den Körpern, ja selbst auf unfaßbare Entfernungen zwischen den Gestirnen wirkt und die wir als „Anziehungskraft“ zu bezeichnen pflegen. Wenn ein Körper nach der Erde fällt, so ist dies eben eine Folge der Anziehungskraft und nichts weiter. Jedes Masseteilchen der Erde zieht jedes Masseteilchen des Körpers zu sich heran. Halten wir den Körper in der Hand, so können wir die Anziehung deutlich fühlen. Wir sagen dann, der Körper habe ein „Gewicht“. Dieses Gewicht ist also offenbar nichts anderes als die Anziehungskraft der Erde multipliziert mit der Anzahl der Masseteilchen eines Körpers, oder kurz mit seiner Masse. Ein Körper, der die doppelte Masse hat, besitzt auch das doppelte Gewicht, d. h. er wird doppelt so stark von der Erde angezogen. Wenn trotzdem alle Körper, gleichgültig, wieviel Masse sie besitzen, gleich schnell nach der Erde fallen, so kann uns dies keineswegs überraschen. Denn mit wachsender Masse wächst ja auch die Trägheit und je träger ein Körper ist, desto schwerer läßt er sich in Bewegung setzen und beschleunigen.

Wir können also Massen miteinander vergleichen durch die Anziehungskraft, welche die Erde auf sie ausübt. Alle dazu dienenden Vorrichtungen nennt man Wagen. Als Einheit der Masse hatten wir bereits ein Kubikzentimeter Wasser kennen gelernt (vgl. S. 25); diese Einheitsmasse pflegt man als „Gramm-Masse“ zu bezeichnen. Übt die Erde auf sie eine Anziehung aus, so hat die Gramm-Masse ein Gewicht, das wir dann folgerichtig ein „Gramm-Gewicht“ nennen wollen. Im gewöhnlichen Leben versteht man unter einem Gramm schlechthin immer das Gewicht eines Körpers. Ein tausendmal größeres Gewicht wird als Kilogramm bezeichnet und ist also, um es noch einmal zu sagen, nichts anderes, als die tausendmal größere Masse, wie sie in einem Kubikzentimeter Wasser steckt unter dem Einfluß der Anziehungskraft der Erde.

Billige Wagen. Wir nehmen ein Lineal und hängen es an der Wand auf. Gleich unterhalb des Aufhängeloches wird, wie es die Fig. 15 A zeigt, ein Gummifaden mit einem Reißnagel befestigt und an diesem wieder ein Bügel aus sehr leichtem Draht, groß genug, um

einen Brief gewöhnlichen Formates aufzunehmen. Etwas oberhalb des Bügels erhält der Gummifaden einen Knoten. Der Knoten dient als Marke und hinter ihm wird zunächst ein Skalenstrich auf dem Lineal gemacht, das man vorteilhaft vorher mit weißem Papier überzieht. Legt man irgend einen Brief in den Drahtbügel, so wird der Gummifaden so weit in die Länge gereckt, bis seine elastische Kraft der Anziehungskraft der Erde auf die Masse des Briefes die Wage hält. Je schwerer der Brief ist, desto tiefer sinkt der Knoten herab. Indem wir verschiedene bekannte Gewichtchen mit Zwirnsfäden an den Bügel hängen, können wir leicht eine Skala für die Wage anfertigen, wobei

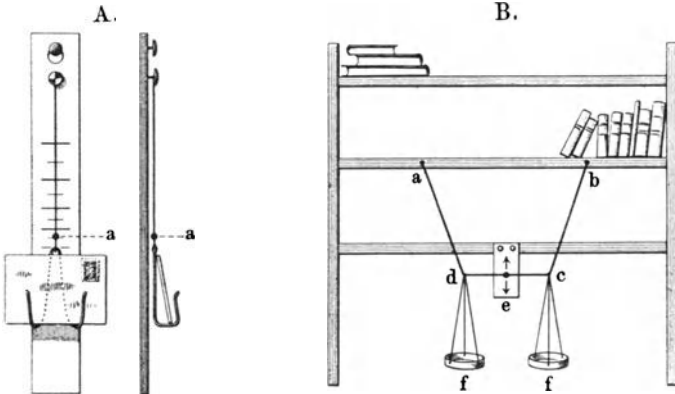


Fig. 15. Briefwaage und Fadenwaage.

die Einteilung nach unten immer enger wird. Um die Tragkraft der Waage zu erhöhen, kann man auch zwei und mehr Gummifäden gleicher Art nehmen. Den Vorgang der Skalenanfertigung mit bekannten Gewichtchen nennt man die „Eichung“ der Waage.

Eine sehr einfache und leistungsfähige Waage mit zwei Schalen fertigt man sich an, indem man nach Fig. 15 B an irgend einer passenden Stelle, etwa an einem Repositorium bei a und b, einen 150 cm langen Bindfaden *adcb*, der genau in seiner Mitte einen Knoten erhält, befestigt. Die Nägel a und b sollen einen Abstand von 100 cm haben. In Abständen von 25 cm vom Mittelknoten rechts und links befestigt man, bei c und d, an drei Schnüren zwei ganz gleiche Deckel von Pillenschachteln als Waagschalen. Große Genauigkeit ist von nöten, namentlich soll das Fadenstück *cd* genau wagerecht sein. Hinter dem

Knoten wird eine Karte mit einem Mittelstrich als Marke befestigt. Immer, wenn die Wage beiderseits gleich belastet ist, steht der Knoten gerade vor dem Strich, sonst rechts oder links davon.

Von der Zentrifugalkraft. Wer hätte nicht schon einmal einen Stein an einer Schnur im Kreise herumgeschleudert und dabei bemerkt, daß der Stein die Schnur um so kräftiger anspannt, je schneller die Schleuder gedreht wird? Der bewegte Stein will nach dem Beharrungsgesetz geradeaus fliegen, die Schnur zwingt ihn jedoch in die Kreisbahn, und so kommt es, daß er seinerseits wieder, in dem Bestreben, sich vom Mittelpunkte der Bahn — also hier von der Hand — zu entfernen, einen Zug auf die Schnur ausübt. Die Physiker nennen diese Kraft eine Fliehkraft oder Zentrifugalkraft, obgleich sie sich wohl bewußt sind, daß es sich nur um eine Folge der Beharrung und nicht um eine „Kraft“ in dem Sinne der uns sonst bekannten Naturkräfte (etwa Anziehungskraft) handelt. In der That haben alle Körper, die eine Bahn um einen Punkt beschreiben, das Bestreben, sich von diesem zu entfernen. „Aber das kann doch nicht überall so sein“ — werden unsere aufmerksamen Leser sagen. „Wir wissen doch, daß die Planeten um die Sonne kreisen, daß der Mond eine Kreisbahn um die Erde beschreibt. Wenn auch hier die Fliehkraft entstände, dann müßten am Ende Planeten und Mond davonfliegen; es wird doch niemand im Ernst behaupten wollen, daß eine Schnur, wie bei dem Stein, sie daran hindere.“ — Und doch ist diese Schnur vorhanden, freilich keine aus gedrehten Hanffäden, auch kein Drahttau. Keines Menschen Auge hat sie je gesehen. Sie ist von der Natur ersetzt durch eine Kraft, die bestrebt ist, die Körper einander zu nähern, eben die schon früher erwähnte Anziehungskraft oder Schwerkraft, die den aus der Hand geworfenen Stein ebenso gut zur Erde heranzieht wie den Mond. Und so sonderbar das klingen mag: der Mond fällt fortwährend in seiner Bahn nach der Erde hin und würde sicherlich bald auf ihr angelangt sein, wenn nicht eben sein kreisender Flug andererseits auch die Fliehkraft wachriefe. So halten sich diese beiden Kräfte schon seit ungezählten Jahrtausenden das Gleichgewicht und werden es nach Jahrtausenden auch noch tun. Wir aber erkennen mit staunender Ehrfurcht, daß sich die Natur bei ihren gewaltigen Experimenten schließlich keiner anderen Mittel bedient wie wir auch, und daß Naturgesetze, die auf unserer Erde gelten, in den ungemessenen Fernen des Himmelsraumes ihre Kraft nicht verloren haben.

Ein Versuch mit der Zentrifugalkraft: ein Gefäß voll Wasser so mit der Öffnung nach unten zu bringen, daß kein Wasser herausfließt. Man nimmt ein zylindrisches, oben offenes Blechgefäß — eine alte Einmachbüchse ist dazu am besten — und schlägt mit einem spitzen Instrument, etwa einen Finger breit vom Rande, zwei Löcher hinein, so daß sie einander gerade gegenüberstehen. Mit Hilfe dieser Löcher befestigt man an dem Blechgefäß einen Bügel aus Draht, wie ihn ein Eimer hat, und in der Mitte des Bügels eine feste Schnur.

Ist das Gefäß zu etwa zwei Drittel seiner Höhe mit Wasser gefüllt, so ergreift man die Schnur und beginnt das Gefäß langsam hin und her zu schwingen. Sind die Schwingungen stark genug, dann schleudert man das Gefäß im Kreise nach oben herum usw., gerade wie den Stein am Bindfaden. Hierbei kommt denn natürlich das Gefäß in seiner höchsten Lage mit der Öffnung nach unten zu stehen, aber ohne daß auch nur ein Tropfen aus ihm ausfließt. Denn das Wasser, das mit dem Gefäß in kreisförmigen Umschwung versetzt wird, hat infolge der Fliehkraft das Bestreben, die Bahn nach außen hin zu verlassen und wird hieran allein durch den Boden des Gefäßes gehindert. Wollen wir uns davon überzeugen, daß es wirklich einen Druck auf den Boden des Gefäßes ausübt, so brauchen wir in ihn nur ein kleines Loch zu schlagen und das Wasser wird ausströmen, gleichgültig, ob sich das Gefäß in der tiefsten Lage mit dem Boden nach unten oder in der höchsten mit dem Boden nach oben befindet.

*** Die Zentrifugalbahn.** In der Form, in der wir das Experiment angeben, ist es verhältnismäßig leicht auszuführen. Es ist dazu nur etwas Kupferdraht nötig, etwa 2 m lang und 2 mm dick und eine nicht zu kleine Kugel, eine sogenannte Murmel.

Wir schneiden von dem Kupferdraht zwei etwa 80 cm lange Stücke ab, hämmern sie recht gerade und legen sie nebeneinander auf den Tisch in einem Abstände, der den Durchmesser der Kugel noch nicht erreicht. Verbinden wir durch Lötung mittels kleiner Kupferdrahtstückchen von 5 zu 5 cm die Kupferdrähte, so wird hierdurch ein fester Schienenweg hergestellt, auf dem die Kugel entlang rollen kann. Wir müssen nur dafür sorgen, daß die Zwischenstücke hierbei der Kugel, die etwas zwischen die Schienen einsinkt, nicht im Wege sind. Fig. 16 zeigt genau, warum sie daher eine nach unten ausgerundete Form erhalten

müssen. Die Figur zeigt auch, wie man mit diesem Schienenweg weiterhin zu verfahren hat. Man biegt nämlich aus ihm eine runde, nicht zu kleine Schleife, deren Enden in die Höhe ragen, und unterstützt das Ganze durch angelötete Drahtbügel in der ebenfalls aus der Figur ersichtlichen Weise.

Setzt man nun die Kugel linkerhand auf den höchsten Teil der Bahn, so stürzt sie das steile Stück herab und durchläuft auch, einmal in Schwung gekommen, die ganze Schleife, ohne herunterzufallen. Und doch steht sie in dem höchsten Teile geradezu auf dem Kopf.

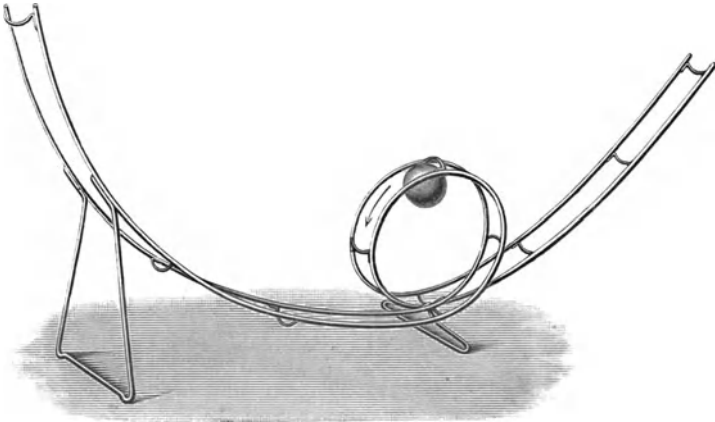


Fig. 16. Die Zentrifugalbahn.

Auch hier ist es wiederum die Zentrifugalkraft, die das Kunststück zuwege bringt. Die im Kreise umlaufende Kugel will die Kreisbahn nach außen hin verlassen, daran hindern sie aber die Schienen, so daß sie stets gegen diese gedrückt wird, auch oben in der Schleife.

Man hat diesen Versuch im großen wiederholt. Es gibt Leute, die im Zirkus derartige Schleifen mit dem Zweirade oder gar im Automobil durchfahren und dabei für einen Augenblick wirklich auf dem Kopf stehen (*loping the loop*). Im Grunde ist auch keine Gefahr dabei. Denn ist der Fahrer nur schnell genug und gegen Entgleisung ausreichend gesichert, so wird er wohlbehalten durch die Schleife hindurchkommen. Auch Flieger haben ähnliches ausgeführt und sich mit dem Flugzeug in der Luft überschlagen.

* **Eine Sekunde.** Wie lange dauert eine Sekunde? Man frage nur einmal herum und man wird über die Antworten staunen. — „So lange, wie der Blitz zuckt“, sagt der eine; „solange ein Aufschlag des Augenlides dauert“ der andere; ein Dritter meint endlich, eine Sekunde sei ganz schrecklich kurz, sie dauere nur einen „Moment“, und ein Moment sei ebenfogut wie gar nichts.

Nein, lieber Leser, eine Sekunde ist, als 3600ter Teil einer Stunde, immer noch eine ganz ansehnliche Zeitgröße. Wir können leicht während einer Sekunde bis 5 oder noch weiter zählen, und was kann nicht alles sonst noch während einer Sekunde geschehen. Hundert oder mehr photographische Aufnahmen kann man während einer Sekunde machen, und der Physiker kennt und mißt Vorgänge, die nur den Bruchteil einer tausendstel Sekunde dauern.

Nun gibt es ein ganz einfaches Instrument, ein wahres Wunder, wie wir sehen werden, das uns erlaubt, ohne alle Mühe, jederzeit eine Sekunde sozusagen „herzustellen“: es ist das Pendel.

Wir nehmen eine Schnur von etwa 1,5 m Länge und hängen daran einen schönen runden Apfel. Bereits ist ein Pendel fertig, und zwar gar kein so schlechtes. Lassen wir den Apfel pendeln, indem wir das obere Ende der Schnur in der Hand halten, so finden wir sehr bald heraus, daß unser Pendel immer gleich viel volle Schwingungen — sagen wir 50 in der Minute — macht. Nun verkürzen wir das Pendel beträchtlich, etwa auf die Hälfte. Sofort schwingt es schneller und macht nun vielleicht 75 Schwingungen in der Minute. Wir finden sehr bald heraus, wie lang wir es machen müssen, damit es gerade 60mal, d. h. also in der Sekunde einmal schwingt. Ein Zufall kommt unserem Gedächtnis dabei zu Hilfe: das Sekundenpendel ist fast genau 1 m lang, gemessen von dem Aufhängepunkt bis zur Mitte des Apfels.

Wollen wir also, annähernd genau, eine Sekunde haben, so brauchen wir nur einen (am besten kugelförmigen Gegenstand) an einer meterlangen Schnur schwingen zu lassen.

Die Pendelgesetze. Unsere Abbildung zeigt eine sehr einfache Aufhängung für Pendel an einem Besenstiel, der über zwei offene Schranktüren gelegt ist (Fig. 17).

Wir sahen bereits, daß ein Pendel regelmäßig schwingt, wir könnten jedoch glauben, die Anzahl der Schwingungen in der Minute müsse wesentlich von der Schwere der Pendelmasse abhängig sein.

Das ist nun durchaus nicht der Fall. Ob wir einen Kork oder einen Ziegelstein anhängen, immer haben wir dieselbe Schwingungszahl. Aber diese schätzenswerte Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Masse gilt nur unter einer Bedingung: die Pendel müssen gleich lang sein.

Daß ein langes Pendel langsamer schwingt als ein kurzes, sahen wir bereits, und zwar müssen wir ein Pendel 4 mal so lang machen, damit es 2 mal so langsam, 9 mal so lang, damit es 3 mal so langsam, 16 mal so lang, damit es 4 mal langsamer schwingt usw. Das Gesetz ist leicht zu erkennen: die Schwingungsdauer verhält sich wie die Quadratwurzel aus den Pendellängen. Unsere Leser mögen sich durch den Versuch überzeugen. Ein Pendel von 25 cm Länge schwingt mithin doppelt so schnell als ein Pendel von 1 m Länge; es führt während jeder Sekunde eine volle Schwingung aus.



Fig. 17. Pendelversuche.

Schließlich ist es nahezu gleichgültig, ob ein Pendel sehr weit oder nur auf eine kurze Strecke schwingt; das macht auf die Schwingungszahl praktisch nichts aus.

Das Pendel ist wahrhaft ein Zauberstab in der Hand des Gelehrten geworden. Nicht allein, daß es der Zeitmessung in exaktester Weise dient, es gestattet durch sein Verhalten an verschiedenen Orten auch einen Rückschluß auf den Bau und die Gestalt unseres Erdballs; es hat uns den direkten, augenfälligen Nachweis der Erdumdrehung erbracht usw. usw. Man könnte viel allein über das Pendel schreiben, aber wir wollen nicht zuviel sagen. Unsere Leser werden gewiß späterhin im Physikunterricht noch manches über das schwingende Wunder hören.

Unterhaltende und lehrreiche Versuche mit dem Kreisel.

Wer hat ihn nicht liebgewonnen, den anspruchlosen Freund mit seinem drolligen Gebrumme und seinen lustigen Sprüngen. Er ist wirklich ein Genie, der Kreisel, und es steckt noch weit mehr in ihm, als man denkt. Ja, als physikalisches Instrument betrachtet, tut er sogar schrecklich wichtig und will sehr ernst genommen sein. Und mit Recht.

Der von uns verwendete Kreisel ist nicht der gewöhnliche, kegelförmige. Wir wählen einen solchen, dessen Achse in einem Metallring zwischen Spitzen läuft und dessen Schwungscheibe hinreichend groß und schwer ist, um genügend viele Umdrehungen zu machen. Es lohnt sich nicht, den Kreisel selbst anzufertigen, da man ihn in jedem Spielwarengeschäft erhält. Zum Aufziehen nimmt man einen recht festen, aber nicht zu dicken Bindfaden von etwa 60 cm Länge.

Dreht sich der Kreisel, so ist sein Wesen wie verändert. Während er vorher, auf einen der beiden Knöpfe seines Ringes gestellt, sofort umfiel, bleibt er jetzt aufrecht stehen, ja er setzt sogar einem Versuch, ihn umstoßen zu wollen, energischen Widerstand entgegen. Nimmt dagegen seine Umdrehungsgeschwindigkeit ab, so verliert er immer mehr und mehr an innerem Halt, beginnt mit seinem oberen Knopf einen Kreis zu beschreiben und fällt schließlich wieder auf die Seite. Dies Verhalten zu erklären, hat den Gelehrten viel Kopfzerbrechen gemacht, bis sie schließlich zur Ansicht kamen, daß auch wohl hier das Beharrungsvermögen mitsprechen müsse, und zwar durch den Umschwung der um die Achse gleich verteilten Massen so, daß immer die Achse das Bestreben habe, mit sich selbst parallel zu bleiben. Daher können wir auch den Kreisel auf einem glatten Tisch — mit einem Stäbchen gegen seinen Fußpunkt drückend — leicht von einer Stelle zur anderen verschieben, denn hierbei bleibt die Achse aufrecht stehen und ist sich mithin bei der Verschiebung immer selbst parallel. Es kostet jedoch, wie wir schon sahen, eine gewisse Anstrengung, die Achse zu neigen. Ist dann einmal der Kreisel in die neue Lage gebracht, so hat er wiederum das Bestreben, in ihr zu verharren. So kommt es, daß man einen Kreisel in Stellungen bringen kann, die ganz wunderbar aussehen, da sie scheinbar allen Gleichgewichts- und Schwerpunktsgesetzen Hohn sprechen. Er ist z. B. fähig, auf der Spitze einer Nähnadel zu balancieren, und nimmt es mit jedem Seiltänzer auf, wenn er in aufrechter Stellung auf einem dünnen Faden hin und her

läuft. Für den ersteren Versuch stecken wir eine Nähnadel umgekehrt in den Kork einer Flasche, so daß ihre Spitze nach oben steht, und setzen den sich drehenden Kreisel gerade und mit möglichster Vorsicht auf. Es ist gut, wenn hierfür der eine Knopf des Ringes eine kleine Vertiefung besitzt, um ein Abgleiten der Nadelspitze zu verhindern. Geben wir dann dem Kreisel eine etwas schiefe Lage, so beschreibt er mit seinem freien Pol einen Kreis, ohne aber herabzufallen. Für den zweiten Versuch ist ein kleiner Einschnitt in einem der Ringknöpfe erforderlich (Fig. 18 A). Man stellt ihn leicht mit der Laubsäge her,

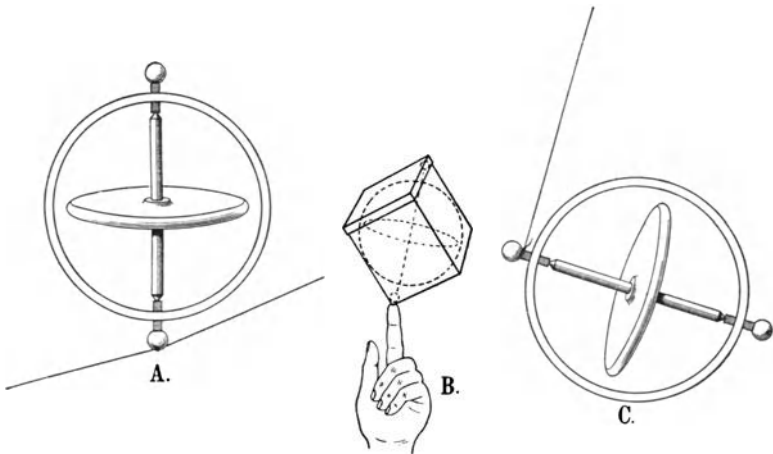


Fig. 18. Kreiselversuche.

falls er nicht bereits vom Fabrikanten vorgesehen ist, um eine Regulierung der Achsenlager mit dem Schraubenzieher zu ermöglichen. Ein dünner, aber fester, am besten gewichster Zwirnsfaden, den man mit dem einen Ende an irgend einem Gegenstande, vielleicht an einer Türklinke, befestigt, gibt das Seil für unseren künstlichen Seiltänzer ab. Das andere Ende halten wir in der Hand und setzen den schnurrenden Kreisel so auf, wie es die Abbildung zeigt. Er bleibt nun auf der schwanken Schnur stehen oder läuft — richtiger gleitet — von der einen Seite zur anderen, je nachdem man die Schnur hebt oder senkt. Ist der Kreisel schwer und kräftig in Gang gebracht, so kann man die Schnur einige Meter lang nehmen und den Kreisel durch die ganze Stube marschieren lassen.

Zur Weihnachtszeit bemerkte der Verfasser dieses Buches einmal einen gewaltigen Menschenauflauf vor einer jener gelegentlich aufgeschlagenen Verkaufsbuden, in denen irgend ein in Massen angefertigtes Kinderspielzeug feilgeboten wird. Die Leute konnten sich gar nicht satt sehen und gar nicht genug staunen, denn auf dem Tische des Verkäufers balancierten auf umgekehrten Gläsern, ja auf seiner Fingerspitze, auf einer ihrer Ecken stehend, kleine Kästchen aus Pappe, in den schier unmöglichsten, allen Gesetzen zuwiderlaufenden Stellungen. Dabei wankten sie brummend hin und her, drehten sich und taumelten, als säße der Teufel in ihnen. Und es war doch nur unser Freund Kreisel, der, in dem Kästchen eingeklemmt, das Wunder vollbrachte, und der Verkäufer war ein Schlaupkopf, denn er wurde den Kreisel, den sonst kein Mensch gekauft hätte, in seiner Verpackung als „allerneuestes Spielzeug“ glänzend los. Wir brauchen unseren aufgedrehten Kreisel nur in schräger Richtung — von einer Ecke zur gegenüberliegenden — in ein gut passendes Kästchen zu stecken, um ebenfalls bei allen Leuten vollen Beifall zu finden, die über das Staunen zu denken vergessen (Fig. 18, B).

Am schönsten kann das Bestreben des Kreisels, seine Achsenrichtung beizubehalten, durch folgenden Versuch gezeigt werden. Man hängt den Kreisel mit einem seiner Knöpfe an einem festen, dünnen Faden auf. Solange seine Scheibe nicht rotiert, hängt er gerade herab, wie es sonst jeder andere symmetrische Körper auch tun würde. Sobald er aber umläuft, erhält seine Achse eine gewisse Steifigkeit der Lage und behält eine ihr gegebene Neigung bei, während sie gleichzeitig einen Kegelmantel beschreibt (Fig. 18, C).

Diese Steifigkeit der Achsenrichtung spielt übrigens auch bei vielen anderen Vorgängen eine bedeutame Rolle. So versieht man die Gewehrläufe innen mit schraubenförmigen Zügen, um dem Geschosß eine Drehung um seine Längsachse zu verleihen und zu bewirken, daß es seine Spitze immer nach vorn gerichtet beibehält.

Man versuche einmal, ein Fahrrad (Zweirad) aufrecht hinzustellen, es wird sicher nicht gelingen. Drehen sich aber die Räder, so wollen die Achsen ihre horizontale Lage nicht verändern und der Radfahrer kommt diesem Bestreben halb unbewußt entgegen, indem er kleine Schwankungen durch Seitwärtsbeugen seines Oberkörpers ausgleicht. Jeder Radfahrer weiß auch, daß er um so leichter das Gleichgewicht erhalten kann, je schneller er fährt, und daß er sogar bei ganz schnellem Tempo die Lenkstange fahren lassen darf, ohne eine

plötzliche Kursänderung des Vorderrades befürchten zu müssen. Jeder schließlich, der in seinem Leben einmal einen Reifen getrieben hat — und wer hätte das nicht — weiß von ähnlichen Erfahrungen zu berichten. Auch der Reifen läuft um so sicherer, je schneller man ihn treibt. Hier hat die Achse ebenfalls das Bestreben, ihre Richtung nicht zu ändern. Aber, werden unsere Leser einwerfen, ein Reifen hat ja gar keine Achse! Nun eine sichtbare Achse natürlich nicht, gerade so wenig, wie etwa unsere Erde; man sagt, er habe eine gedachte Achse, da man weiß, daß es für die von uns beschriebenen Vorgänge ganz gleichgültig ist, ob eine solche Achse wie beim Rade wirklich vorhanden ist oder nur als vorhanden vorgestellt wird.

★ Wir sprachen eben von der Achse unserer Erde. Mit der hat es eine eigene Verwandtnis. Denn sie steht zur Bahn, die die Erde alljährlich um die Sonne beschreibt, nicht senkrecht, sondern schief. Diese Neigung ist, wenn wir einmal von ganz geringen Schwankungen absehen, dem von uns erkannten Gesetz zufolge unabänderlich. Und verdanken wir der Drehung der Erde den wohlthätigen Wechsel von Tag und Nacht, so bringt uns die Schiefe der Achsenlage die Jahreszeiten und ihre Wiederkehr. Wer es nicht glauben will, der mache mit unserem Kreis, der sich ja auch um seine Achse dreht und die Erde vorstellen kann, ein einfaches Experiment.

Eine auf den Tisch gestellte, ohne Glocke brennende Lampe möge die Stelle der Sonne vertreten. Der Kreis wird mit seinem Reifen an einer Schnur befestigt, wie es Fig. 19 zeigt. Wir ziehen ihn stark auf und richten seine Achse etwas schief. Die Richtung behält sie bei, wohin wir den Kreis an seiner Schnur auch tragen mögen. Wir nähern ihn der Lampe und nennen — unter der Vorstellung, daß es sich nun um die Erde handele — den oberen Knopf den Nordpol, den unteren den Südpol. Die Kreisbahn, in der wir den Kreis um die Lampe — wollte sagen die Sonne — führen wollen, nennen wir die Erdbahn und bemerken, daß die durch die Sonne und die Erdbahn als hindurchgelegt gedachte Ebene horizontal liegt und der Ebene des Tisches parallel ist. Ginge der Kreis gerade herunter, so stünde seine Achse senkrecht auf der Erdbahnebene, wir hatten sie jedoch dagegen geneigt. Bei der Erde ist diese Neigung nicht so übertrieben groß, wie wir sie gezeichnet haben, sie beträgt $23\frac{1}{2}$ Winkelgrade.

Führen wir nun unsere künstliche Erde um die Sonne herum, so bemerken wir sogleich folgendes: Nord- und Südhälfte der Erde

sind von der Sonnenstrahlung nicht immer gleich begünstigt. Während einmal (linke Seite der Abbildung) die Südhalbkugel vorzugsweise den Sonnenschein genießt, wird nach einem halben Umlaufe — also nach einem halben Jahre — (rechte Seite der Abbildung) die Nordhalbkugel bevorzugt. Mithin haben die beiden Halbkugeln der Erde nie zugleich Sommer und Winter. Wenn wir im Winter frieren und die Sonne nur kurze Zeit tief am Horizont sehen, haben die Bewohner der südlichen Länder Sommer. Für sie steht die Sonne strahlend und hoch am Himmel. Nach einem halben Jahre ist es umgekehrt.

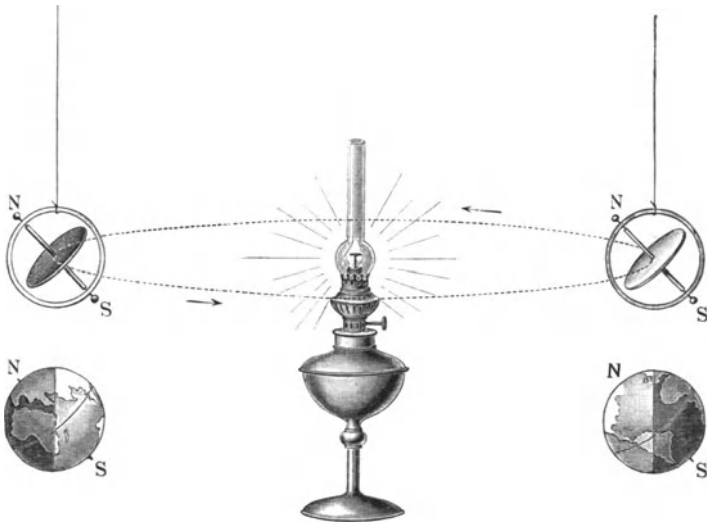


Fig. 19. Kreisel und Erde.

Schnell, ehe der Kreisel erlahmt, bewegen wir ihn von jeder der beiden Stellungen um ein viertel Jahr weiter, also von unserem Standpunkt aus vor und hinter die Lampe. Wir bemerken, daß hier Nord- und Südhalbkugel gleichviel Sonne erhalten. Es vollzieht sich an diesen Punkten für die Nordhalbkugel der Übergang vom Winter zum Sommer, für die Südhalbkugel vom Sommer zum Winter oder umgekehrt; wir sprechen dann vom Frühlings- und vom Herbstanfang. Betrachten wir jede der beiden Erdhalbkugeln allein, so sehen wir im Laufe eines Jahres auf ihnen den Winter dem Frühling weichen, diesem den Sommer und Herbst folgen, bis der Winter wiederkehrt. Noch viele andere Fragen drängen sich uns auf: Warum sind die

Nächte im Winter lang und die Tage kurz und im Sommer umgekehrt, warum sind sie zu Frühlings- und Herbstanfang gleich lang? Es gibt zwei Punkte auf der Erde, für die Tag und Nacht je ein halbes Jahr dauern und zugleich Sommer und Winter sind. Wo liegen diese merkwürdigen Punkte? Und wie kommt es ferner, daß für die Bewohner der nördlichen Halbkugel die Sonne mittags im Süden und für die der südlichen Halbkugel um dieselbe Zeit im Norden steht?

Alle diese Fragen und noch viele andere mehr lassen sich durch den bloßen Anblick des um die Lampe geführten Kreiseles beantworten. Aber wir wollen es unseren lieben Lesern nicht gar zu leicht machen und ihnen einmal selbst überlassen, darüber ins reine zu kommen, es ist gar nicht schwer und die Freude ist dann um so größer. Wer an der Hand des einfachen Experimentes über diese Dinge und alles, was er von ihnen voll und ganz verstanden hat, in netter und verständlicher Rede zu berichten weiß, wird nicht nur bei seinen Kameraden, sondern auch bei vielen Erwachsenen, denen über unsere Erde und ihre Stellung zur Sonne nicht immer alles klar ist, für seine kleine Belehrung des Dankes sicher sein.

Aber, werden unsere Freunde sagen, wir können unmöglich glauben, daß die Lage der Erdatse durch die Drehung der Erde beharrlich und unveränderlich ist, denn wir bemerken beim Kreiseln sofort eine Unstetigkeit der Achse, sobald er sich nicht mehr ganz schnell dreht. Wenn er aber gar, wie die Erde, in 24 Stunden nur eine Umdrehung machte, dann könnten wir die Achse bewegen, wie wir wollen, ohne auf den geringsten Widerstand zu stoßen. Sie vergessen nur, daß die Erde denn doch etwas größer und schwerer ist als unser Kreiseln und daß das Beharrungsvermögen der Achse eines rotierenden Körpers auch zunimmt mit seiner Masse. Ein großer schwerer Körper braucht daher nicht so schnell zu rotieren wie ein kleiner leichter und erzielt doch dasselbe Beharrungsvermögen der Achse wie dieser. Und betrachten wir einmal einen Punkt am Umfange auf dem Äquator der Erde und einen solchen am Umfange eines Kreiseles, so werden wir zudem finden, daß der Erdpunkt eine ungleich größere Geschwindigkeit besitzt. Hat der Kreiseln einen Umfang von 25 cm und dreht er sich in einer Sekunde 30 mal herum — was schon eine anständige Umdrehungsanzahl ist —, so legt ein Punkt seines Umfanges 30 mal 25 cm, d. i. 750 cm oder einen Weg von 7,5 m in der Sekunde zurück. Der Umfang der Erde am Äquator beträgt rund 40 Millionen Meter.

Diese Strecke legt ein Punkt des Äquators in 24 Stunden, also in 86 400 Sekunden zurück, wir brauchen nur die Zahl der Sekunden (86 400) in die während dieser Zeit zurückgelegte Strecke (40 000 000 m) hinein zu dividieren, um sofort die Länge des Weges zu erhalten, den der Erdpunkt in einer Sekunde zurücklegt. Wir kommen dann auf die erstaunliche Zahl von rund 460 m in der Sekunde und sehen, daß die Umfangsgeschwindigkeit der Erde diejenige unseres Kreisel's um mehr als das 60 fache übertrifft.

Vom Luftdruck. Jedes Ding, das Masse und Gewicht hat — und welches Ding hätte das nicht —, strebt nieder zur Erde. Der emporgeworfene Stein fällt wieder herab und das Wasser rauscht von den Bergen zum Tal. Auch unsere Luft hat ein Gewicht und durch eben dies Gewicht ist sie an die Erde gekettet und folgt ihr als schützender Mantel auf ihrem Fluge durch den Weltraum. Das auf der Erdoberfläche, auf allen Gegenständen und auch auf uns lastende Gewicht der Luft ist gar nicht gering. Man kann die Luft wiegen, gerade so gut wie einen Sack Mehl oder ein Liter Milch. An einer sehr feinen Wage wird ein Glasgefäß aufgehängt, das, sagen wir, gerade ein Liter Inhalt hat. Durch Gewichte bringt man die Wage ins Gleichgewicht und macht darauf mit einer Luftpumpe das verschließbare Glasgefäß so luftleer als nur möglich. An der Wage zeigt es sich, daß es nun etwas leichter geworden ist, und zwar um das Gewicht der ausgepumpten Luft, etwa 1,3 g. Somit wiegt ein Liter Luft ungefähr 1 g. Wie schwer mag nun wohl die ganze Luft sein, die sich über uns befindet?*) Oder, wie groß mag etwa der Druck sein, den ein bestimmter Fleck der Erde, etwa 1 qcm, zu tragen hat? Es ist nicht weniger als 1 kg. Nicht möglich, rufen wir ungläubig aus, denn auf unserer ausgestreckten Handfläche fühlen wir nichts, rein gar nichts, und doch sollte, da unsere Hand etwa eine Oberfläche von etwa 120 qcm hat, der unerträgliche Druck von 120 kg auf ihr lasten? Das tut er auch. Nur vergessen wir eines, daß nämlich nach einem wichtigen physikalischen Gesetz der Luftdruck — wie überhaupt der Druck in allen flüssigen und gasförmigen Körpern — sich nach allen Seiten hin fortpflanzt und also ebenso auf dem Handteller wie auf dem Handrücken lastet. Diese beiden Drucke heben sich in ihrer

*) Etwa 103 200 Billionen Zentner.

Wirkung auf, und von einem Herabdrücken der Hand kann also keine Rede sein. Würde die Luft auf der einen Seite der Hand — vielleicht durch eine Luftpumpe — entfernt, so müßte der Luftdruck von der anderen Seite her die Hand zermalmen. Mit unserem Körper steht es gerade so. Die Lungen würden zusammengequetscht werden, wenn nicht in ihnen sich ebenfalls Luft befände. Von dem auf der Brust ruhenden Druck kann man sich leicht überzeugen. Man versuche nur einmal, ohne Luft einzulassen, also mit zugehaltener Nase und geschlossenem Munde, durch die Kraft der Muskeln den Brustkasten zu heben, es wird nicht gelingen, denn der Luftdruck auf ihn beträgt über 1000 kg.

So ist es zu erklären, daß das Wort Atmosphäre nicht nur schlechthin das uns umgebende Luftmeer, sondern in besonderer Bedeutung auch ein Gewicht bezeichnet. Wenn man sagt, ein Dampfkessel habe einen inneren Druck von 12 Atmosphären, so will man damit sagen, daß der eingesperrte Dampf von innen zwölfmal mehr drückt als die Luft von außen, also auf jeden Quadratcentimeter der Kesselwandung etwa mit einem Gewicht von 12 kg.

Wie man sich von der Kraft des Luftdruckes leicht überzeugen kann. Wir beschaffen uns ein nicht zu dickes Brett von einer großen Zigarrenkiste und legen es so über den Tischrand, daß es etwa zur Hälfte hervorsteht. Dann bedecken wir die aufliegende Hälfte des Brettes mit einem großen Blatt Papier, das nicht allzu dünn sein darf und sich überall dem Brett und dem Tisch glatt anschmiegen muß (Fig. 20).

Drückt man nun mit der Hand sanft auf den überstehenden Teil des Brettes, so hebt man mit Leichtigkeit das Papierblatt hoch und spürt dabei kaum einen nennenswerten Widerstand.

Ganz anders aber, wenn man einen raschen und kräftigen Schlag mit der Faust ausführt. Mit lautem Krachen bricht das Brett mitten durch. Die eine Hälfte fällt herab, die andere jedoch bleibt ruhig auf dem Tisch liegen und rührt sich nicht, als wäre sie festgenagelt.

Es ist der Luftdruck, der das kleine Wunder vollbracht hat. Drückt man langsam auf das Brett, so hat die Luft Zeit, durch die kleinen Ritzen und Undichtigkeiten unter das Papier zu strömen, geht's aber schnell, so müßte sich unter dem Papier ein leerer Raum bilden, und dann wirkt natürlich der volle Luftdruck von oben auf das Papier und der ist, wie wir schnell ausrechnen können, wahrlich nicht gering.

Beträgt die Oberfläche des Papiers etwa 1600 qcm, so lastet auf ihm ein Luftdruck von rund 1600 kg. Und nehmen wir wegen der Undichtigkeiten selbst nur die Hälfte davon an, so bleiben immer noch 800 kg übrig, die wir uns als Gewichtsstück auf das Brett gestellt denken können. Was bedeuten dagegen die paar Kilogramm, die in der Wucht unseres Faustschlages enthalten sind.

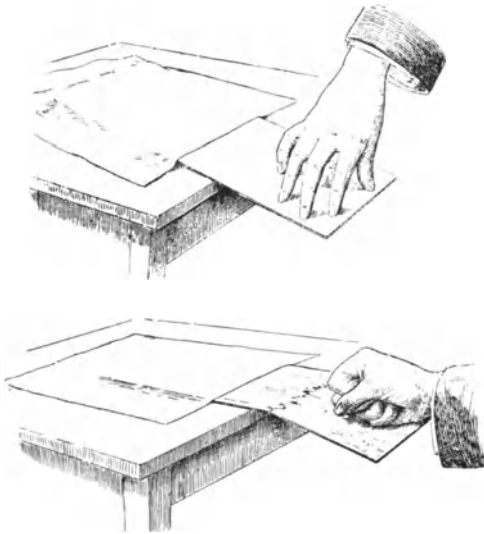


Fig. 20. Versuch über den Luftdruck.

Der Luftballon. Der Schöpfer hat uns Flügel nicht verliehen, aber zu allen Zeiten hat dem Menschen eine unendliche Sehnsucht innegewohnt, sich wie ein Vogel in die Lüfte emporzuschwingen. Dieser Drang ist so alt wie die Menschheit selbst. Er erscheint immer wieder und verdichtet sich zu wunderbaren alten Erzählungen von kühnen und klugen Männern, denen es einst gelungen sein soll, sich Vogelfittiche zu bauen und sich emporzuheben über das Glend der Erde. Man denke nur an den unglücklichen Ikarus und an Wieland, den Schmied.

Den ersten einigermaßen vernünftigen Vorschlag für den Bau einer Flugmaschine, die leichter sein sollte wie die atmosphärische Luft und daher geeignet, in dieser emporzusteigen wie der leichte Kork in dem schwereren Wasser, machte im Jahre 1670 der Jesuit Franzisko Lana. Er hatte neben der Philosophie auch die Naturwissenschaften

studiert, und seine Ideen sind, wenn auch an sich unausführbar, doch immerhin recht beachtenswert, da sie von richtigen Anschauungen und Grundfäßen ausgingen. Er schlug nämlich vor, vier gewaltige Hohlkugeln aus dünnem Kupferblech luftleer zu pumpen und an einem Schifflein zu befestigen, in dem der Luftfahrer Platz nehmen sollte. Es unterliegt keinem Zweifel, daß, wenn die Kugeln groß genug sind und die aus ihnen entfernte Luft mehr wiegt als die Kugeln mit-samt dem Zubehör, das Luftschiff von der Schwere der Luft in die höheren Schichten der Atmosphäre emporgedrängt werden muß, ebenso sicher ist es aber auch, daß man solche Kugeln von genügender Größe, Leichtigkeit und Widerstandsfähigkeit niemals wird herstellen können, d. h. Kugeln, auf deren Oberfläche die Luft mit einem Druck von vielen tausenden von Kilogramm lasten darf, ohne sie zu zermalmen.

Obgleich schon am 8. August 1709 der Portugiese Bartholomeu Lourenço de Gusmao einen kleinen durch erwärmte Luft gehobenen Ballon in Lissabon steigen ließ und obgleich vermutet wird, daß bereits viel früher bei den Chinesen der Aufstieg eines Luftballons eine Volksbelustigung gebildet habe, verlegen wir doch die Erfindung des Luftballons gemeinhin in das Jahr 1783. Die beiden Brüder Montgolfier, Besitzer einer großen Papiermühle in Annonay (Frankreich) — der ältere Physiker, der jüngere von Hause aus Architekt —, waren auf die Idee gekommen, den aus den Schornsteinen aufsteigenden Rauch mit einer leichten Papierhülle zu umgeben. In der That erhoben sich diese künstlichen Wolken, und der Luftballon war erfunden, obgleich sich eigentlich die Gebrüder Montgolfier in einem schweren Irrtum befanden. Sie glaubten nämlich, der Rauch sei leichter als die Luft und erkannten nicht, daß lediglich die durch Erwärmung auf einen größeren Raum ausgedehnte und dabei spezifisch leichter gewordene Luft die zarten Hüllen emportrug. Ihre Ballone hatten die Form eines länglichen Sackes und unten eine Öffnung, die über ein Feuer gehalten wurde, um die Luft im Innern zu erwärmen, oder nach Ansicht der Montgolfiers durch Rauch zu verdrängen. Zum erstenmal erhob sich ein solcher Ballon im Juni des schon genannten Jahres vor einer großen Zuschauermenge. Man kann sich denken, welch ungeheures Aufsehen dieses Experiment machte. Man glaubte, das Fliegen sei nun schon erfunden. Allerorten wiederholte man die Versuche, auch in Paris, wo sich der geistreiche Physiker Charles sehr ernsthaft mit ihnen beschäftigte. Wir werden noch von ihm hören.

Inzwischen arbeiteten die Brüder Montgolfier an ihrer neuen Entdeckung, sie versahen ihre Ballone unten mit einer Heizvorrichtung, die mit emporgehoben wurde und ihnen eine größere Flugzeit verlieh, ja sie banden einen Weidenrutenkorb an dem Ballon fest, der einige Tiere zu Injassen hatte — die ersten Luftreisenden.

So verließ denn wirklich eine von Menschenhand gebaute Maschine die Erde und schwang sich frei in die Lüfte auf, zu den Höhen, in denen der Adler kreist, in die Regionen der Wolken und des Donners. Aber vor dem letzten Schritt graute allen. Sollte der Mensch selbst es wagen, sich der gebrechlichen Maschine anzuvertrauen? Willensstarke Männer, mutige Kämpfer in vielen Schlachten, Leute, bei denen von Feigheit gewiß nicht die Rede sein konnte, wiesen schon den Gedanken weit von sich zurück. Und doch erhob sich bereits am 19. Oktober 1783 ein herrlich geschmücktes, bemanntes Luftschiff und zog in geringer Höhe unter dem Jubel Tausender über Paris fort. Es trug in seiner Gondel Pilâtre de Rozier und den Marquis d'Arlandes, deren Unerforschlichkeit den Menschen das Reich der Lüfte eroberte.

Inzwischen war der Physiker Charles nicht müßig geblieben. Das Studium der Montgolfierschen Versuche hatte ihn veranlaßt, statt der immerhin noch ziemlich schweren erwärmten Luft das ungleich leichtere Wasserstoffgas zur Füllung eines Ballons zu verwenden. — Der vortreffliche Gelehrte hatte zugleich alle jene Ausstattungsgegenstände erfunden, die wir noch heute als die wesentlichsten für die Luftschiffahrt kennen. Reg, Ventil, Ballast, Anker, alles war von ihm vorgesehen. Nachdem vom Marsfelde aus ein kleiner Versuchsballon sich zu großen Höhen erhoben hatte, bestieg Charles selbst am 1. Dezember 1783 mit dem Mechaniker Robert die Gondel einer größeren Maschine. Der Auftrieb des Wasserstoffgases — 14 mal leichter als Luft — gestattete ihm mit einem kleineren Ballon größere Höhen zu erreichen als Pilâtre de Rozier.

Unsere modernen Freiballone sind zumeist viele hunderte, ja bisweilen tausende von Kubikmetern haltende Kugeln aus stark gefirnisset, möglichst gasdichter Seide oder gummiertem Baumwollstoff, unten offen und mit einem Schlauchansatz versehen, durch den das Gas eingeleitet wird. Die Füllung geschieht meist nicht mit Wasserstoffgas, sondern mit Leuchtgas, das in großen Mengen durch die Gasfabriken geliefert wird, und dessen allerdings gegen das Wasserstoffgas nur halb so große auftriebende Kraft eben durch seine größere Wohlfeilheit

und seine Eigenschaft, die Ballonhülle weniger schnell zu durchdringen, wieder aufgewogen wird. Handelt es sich jedoch darum, die meteorologischen Verhältnisse, etwa Temperatur, Feuchtigkeit, Schwere der Luft und andere Dinge zu wissenschaftlichen Zwecken in den allerhöchsten Höhen zu studieren, dann wendet man nach wie vor Wasserstoff an, nur verfährt man dabei nicht mehr so umständlich wie damals Charles, der eine große Batterie von Holzfässern mit Schwefelsäure und Eisenfeilspänen füllte und das sich entwickelnde Gas durch Röhren zum Ballon leitete. Auch braucht man zur Wasserstofffüllung nicht mehr Tage, sondern nur noch Viertelstunden, da man das Wasserstoffgas im voraus in der Fabrik erzeugt und in starke, stählerne Flaschen auf einen kleinen Raum zusammengesperrt, zum Aufsteigeort bringt und dort in kurzer Zeit aus vielen Behältern zugleich in die Ballonhülle entläßt.

Die Luftschiffer nehmen unterhalb der Ballonkugel in einem Korbe Platz, der mit mehreren haltbaren Stricken und unter Vermittlung eines Ringes an einem großen Netz befestigt ist, das man vor der Füllung über den Ballon wirft. Wenn nun die Insassen eines Freiballons auch kein Mittel haben, ihr Fahrzeug zu lenken, so können sie doch bis zu einem gewissen Grade bestimmen, ob es seinen Flug in höheren oder tieferen Luftschichten nehmen soll, und zwar durch die Wirkung des Ventils und den Gebrauch des Ballastes. Der Ballon hat stets so viel Tragkraft, daß er außer den Passagieren und Instrumenten noch eine Anzahl von schweren Sandsäcken — den Ballast — mitführen kann. Verliert der Ballon während der Fahrt Gas und droht zu sinken, so erleichtert der Luftschiffer ihn durch Ausschütten eines der Sandsäcke, ebenso wenn er in höhere Luftschichten aufsteigen soll. Will er ihn dagegen tiefer gehen oder landen lassen, dann bedient er sich des Ventils, einer Klappe am oberen Ende des Ballons, aus der er nach Belieben Gas ausströmen lassen kann. Die Wechselwirkung zwischen Ballast und Ventil bestimmt den Höhenflug des Ballons und bedarf der Regelung durch einen erfahrenen Mann.

Sollten unsere Leser selbst einmal späterhin Gelegenheit haben, eine Freiballonfahrt zu machen — die Gefahr ist ja bei dem guten Material unserer Ballone und der erprobten Tüchtigkeit unserer heutigen Ballonführer nicht mehr so groß, als man meint —, so wünschen wir ihnen dazu gutes Wetter und ein herzliches „Glück ab!“

Nun wir etwas über die Geschichte der Luftschiffahrt und über ihre physikalischen Grundlagen erfahren haben, wird es uns doppelte Freude bereiten, selbst einmal mit einfachen Mitteln einen kleinen Ballon zu bauen und ihn an einem ruhigen Tage zu den Wolken aufsteigen zu lassen. Und zwar wollen wir sowohl eine Montgolfière wie eine Charlière anfertigen.

Eine Montgolfière muß allemal ziemlich groß sein, da die immerhin doch nur schwach erwärmte Luft im Innern des Ballons eine geringe auftreibende Kraft besitzt. Wir fertigen ihn deswegen auch aus recht leichtem Material, am besten aus dünnem, aber doch nicht porösem Seidenpapier an, das jeder Buchbinder führt. Wollen wir unserem Ballon ein recht schönes Aussehen geben, so wählen wir Bogen von verschiedener Farbe. Nicht zu grelle Farben sehen am vornehmsten aus, z. B. hellgrün, rosa und weiß, oder hellblau, lichtgelb und weiß.

Es ist nun bei einiger Geschicklichkeit und Geduld gar nicht so schwer, aus diesen Seidenpapierbögen einen kugelrunden Ballon, unten mit einer Öffnung versehen, herzustellen. Wir schneiden zwölf Streifen aus dem Seidenpapier (abwechselnd in verschiedenen Farben), so wie wir sie in Fig. 21, A gezeichnet sehen, oben spitz und unten zu einem engeren Streifen verjüngt verlaufend, in der Mitte ein Sechstel so breit wie lang. Um die Länge heraus zu bekommen, werden wir zwei Bogen aneinander kleben müssen. Die Maße können wir dann nach der Abbildung wählen, also die Gesamtlänge zu $180 + 16 = 196$ cm, die Mitte zu 30 cm und den unteren Teil, der später den Hals des Ballons bilden soll, 16 cm lang und 8 cm breit. Es versteht sich von selbst, daß alle Streifen ganz genau und einer wie der andere geschnitten sein müssen, was durch Aufeinanderlegen leicht zu erreichen ist. Klebt man alle Streifen aneinander, so erhält man einen wundervoll runden Ballon von 120 cm Durchmesser und Höhe mit einer unteren Öffnung von 32 cm Weite, wie ihn die Darstellung B unserer Figur zeigt. Allerdings ist die Fertigstellung dieser Klebearbeit gar nicht so leicht. Vor allem klebe man nicht mit Gummi, sondern mit einem guten Kleister, den man sich auf folgende Art leicht bereitet. In einen Topf schüttet man einen gehäuften Eßlöffel voll Stärke (die Stärke bricht man vorher in kleine Stückchen) und gießt darauf zwei Weingläser voll kaltes Wasser. Rührt man auf dem Herdfeuer mit einem Quirl tüchtig um, so geht beim Kochen die

milchige Flüssigkeit in einen durchscheinigen Kleister über, der nach dem Erkalten ein vorzügliches, nicht schmutzendes Klebemittel abgibt. Die ersten drei oder vier Streifen werden sich leicht und genau aneinander kleben lassen, dann wird die Arbeit schwieriger, da sich nun die Streifen zur Kugel zu wölben beginnen. Man muß schließlich mit der linken Hand von unten her in den Ballon fassen und die Streifen von außen mit einem reinen Tuche antupfen. Am schwierigsten läßt sich die Spitze herstellen, aber einige Geduld und vor allem peinliche Genauigkeit im Kleben hilft auch hier über die Schwierigkeiten hinweg. Am Ende kann man eine kleine Kappe von Papier auf die Spitze setzen. In die untere Öffnung wird, um sie auseinander zu halten,

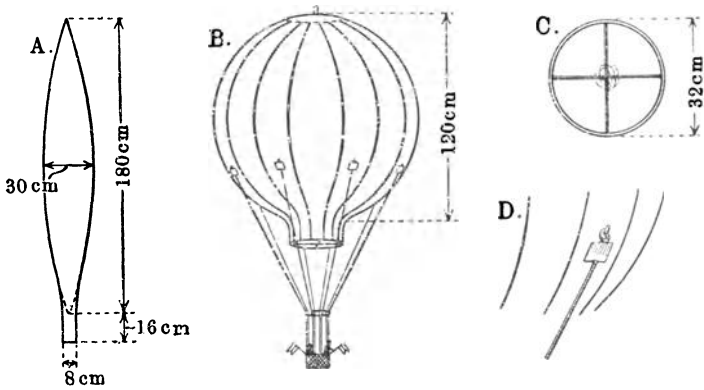


Fig. 21. Zur Anfertigung eines Luftballons.

ein leichter Reifen aus Rohr oder aus einer Weidenrute eingeklebt. Dieser Reifen muß mit einem Kreuz von dünnem Eisendraht versehen sein (Darstellung C der Figur).

Soll der Ballon noch eine kleine Gondel tragen, was jedenfalls sehr hübsch aussieht, so haben wir dafür zu sorgen, daß alle ihre Teile und die Aufhängung sehr leicht werden. Ein Papierkästchen eignet sich am besten. Um die Ähnlichkeit mit einem großen Ballon recht deutlich hervortreten zu lassen, befestigen wir leichte, aber feste Zwirnsfäden durch Knotung am Ende und durch Ankleben mit einem Papierstückchen an der unteren Hälfte des Ballons, wie die Darstellungen B und D es zeigen. Sämtliche sechs Fäden laufen erst in einem kleinen Ring aus Pappe zusammen und werden dann an der Gondel befestigt. Alle diese Arbeiten erleichtert man sich sehr, wenn man am Scheitel

des Ballons eine kleine Schleife aus Schnur anbringt und an dieser den Ballon, etwa an einem durch eine Stehleiter gesteckten Stock oder an einem Kronleuchter, in der Mitte der Stube aufhängt.

Nun ist das Kunstwerk zum Fluge bereit!

Da es sich bei der Füllung darum handelt, mit Feuer zu hantieren, bezähmen wir unsere Ungeduld so lange, bis ein recht windstillter Tag die Gewähr dafür bietet, daß unser Ballon nicht durch ein unglückliches Hin- und Herschwanken in Flammen gerät. Wir werden uns selbstverständlich auch einen Ort aussuchen, an dem durch Feuer ein Schaden nicht angerichtet werden kann.

Die Füllung geschieht, am besten unter Beihilfe eines Kameraden, auf folgende Weise. Unser Freund stellt sich auf einen Stuhl und hält den Ballon an der oberen Öse mit ausgestrecktem Arm. Wir überzeugen uns, daß an den Gondelschnüren nichts verworren ist, und befestigen dann am Drahtkreuz des Ringes ein halb-faustgroßes Stück mit Spiritus getränkter Watte. Es ist nicht ratjam, dies Wattestück sofort anzuzünden, da die schlaff zusammenliegenden Wände des Ballons leicht Feuer fangen. Die Gefahr läßt sich jedoch leicht vermeiden, wenn wir folgendermaßen verfahren. Wir halten ein Spirituslämpchen mit der rechten Hand so tief unter die Öffnung, daß die Watte nicht anbrennt. Die linke Hand hält den Sperring fest. Der Ballon beginnt sich sofort aufzublähen und schließlich straff und faltenlos zu werden. Jetzt entzünden wir mit Hilfe der Lampe das Wattestück, setzen die Lampe beiseite (immer mit der Linken den Sperreifen festhaltend) und greifen auch mit der Rechten zu. Unser Freund gibt den Ballon oben frei, wir warten noch einen Augenblick und lassen dann ebenfalls los. Ist das Luftschiff gut und leicht gebaut, so wird es sich nun ruhig und majestätisch in die Lüfte erheben.

War das Wattestück nur mäßig groß, so geht der Flug nicht weit und wir können vielleicht unseren Ballon wieder zurückholen. Auf alle Fälle geben wir ihm aber eine Postkarte mit unserer Adresse nebst einem daran gehefteten Zettelchen an den ehrlichen Finder mit, mit der Bitte, uns über den Verbleib des Ballons zu benachrichtigen.

Charlièren, mit Wasserstoffgas gefüllte Gummiballons, kann man heutzutage, wenigstens im Sommer und in größeren Städten jederzeit bei den Straßenhändlern kaufen. Unsere Freude an ihnen wird aber gesteigert, wenn wir sie selbst anfertigen. Die Bereitung des Wasserstoffgases finden unsere Leser im letzten Abschnitt des Buches

besprochen. Jede mit Wasserstoff gefüllte Seifenblase erhebt sich und ist eine kleine Charlière. Einen haltbareren Ballon verfertigt man am besten aus Kolloidium, dessen Eigenschaft, schnell zu verdunsten und eine feine Haut zurückzulassen, bekannt ist. Das nicht zu dickflüssige Kochkolloidium, wie wir es bei jedem Drogisten bekommen (eine Auflösung von Schießbaumwolle in Aether), ist gut für unseren Zweck. Eine etwa 1 bis 2 Liter haltende, innen ganz glatte Kochflasche, wie man sie für chemische Zwecke kaufen kann, und zwei Glasröhrchen, von denen das eine oben zugeschmolzen und etwa 30 cm lang ist, vervollständigen unsere Versuchsausrüstung. Bei einiger Übung werden wir mit diesen Geräten ohne große Mühe einen Ballon herstellen können, der noch den Vorzug hat, öfter gebraucht werden zu können.

Wir gießen etwa ein halbes Weinglas voll Kolloidium in die Flasche und schwenken diese schnell so herum, daß die Wandungen (die ganz trocken und rein sein müssen) an allen Stellen bedeckt werden. Nachdem wir den Rest der Flüssigkeit, immer unter Drehen der Flasche, damit auch der lange Hals innen benetzt wird, wieder ausgegossen haben, führen wir einen kleinen Blasebalg, wie er sich in vielen Haushaltungen vorfindet, vorsichtig in den Hals ein und trocknen die Wandungen etwas durch Anblasen. Es bildet sich sehr schnell ein Kolloidiumhäutchen, das wir an der Öffnung des Halses, noch ehe es trocknet, ringsum ablösen. Der sich ablösende Kolloidiumschlauch, ein Abklatsch des Flaschenhalses und die Gaseinführungsöffnung des entstehenden Ballons, wird dann mit einer Schlinge aus Baumwolle an einem Glasröhrchen befestigt. Durch Saugen an diesem — wir hüten uns dabei, die Atherdämpfe einzuatmen! — und durch vorsichtige Nachhilfe mit dem oben gerundeten Glasröhrchen löst sich die Kolloidiumhaut von den Wänden als schlaffer Sack ab, den man leicht aus dem Flaschenhals herausziehen kann. Wir blasen ihn stark auf, hängen ihn zum Trocknen hin und unser Luftballon ist fertig. Von dem unteren Ende des Schlauches, der meist durch sich wulstig anhäufendes Kolloidium zu dick und schwer wird, entfernen wir mit der Schere ein kleines Stück.

Nichts ist nun leichter als die Füllung dieses Ballons. Wir legen ihn flach auf den Tisch und entfernen durch Andrücken mit der Hand alle Luft aus ihm. Das Gas führen wir ihm mit dem Glasröhrchen zu, indem wir gleichzeitig eine leichte Schlinge um den Hals

legen, die später dazu dient, den von dem Füllröhrchen vorsichtig entfernten, ganz straff aufgeblasenen Ballon zu schließen. Ist der Ballon groß und leicht genug, so steigt er schon mit gewöhnlicher Leuchtgasfüllung, ganz sicher aber mit Wasserstoffgas.

Die einfachste und billigste Charlière ist aber eine Seifenblase, die man mit Leuchtgas füllt (man steckt die Tonpfeife an den Gasschlauch) und steigen läßt. Man öffne den Gashahn vorsichtig und vergesse nicht ihn wieder zu schließen.

*** Ein Versuch mit dem Barometer.** Mögen auch dicke Wolkenschleier dem Luftschiffer den Anblick der Erde ganz entziehen, mag er auch dann völlig im unklaren sein, wohin ihn der launische Wind treibt und wie schnell seine Fahrt geht, eines weiß er in jedem Falle mit Sicherheit: wie hoch er sich über dem Erdboden befindet. Unsere Leser werden sich die Frage vorlegen, wie dies möglich sei, denn daß der Luftfahrer gleich dem Seefahrer Leine und Lot zur Orientierung benutzt, werden sie nicht glauben können, da offenbar — ganz abgesehen von der Umständlichkeit einer solchen Messung — die Leine fortwährend Gefahr laufen würde, sich an Gebäuden, Zäunen, Bäumen und anderen Dingen mehr, zu verfangen. Nein, aller dieser verwickelten Vorrichtungen bedarf es nicht. Gibt es doch ein Instrument, das in jedem Augenblick anzeigt, wie schwer die Luftsäule ist, die auf ihm lagert. Es ist fast in jedem Haushalt zu finden und längst ein Freund der Menschen geworden, die ihm nicht ganz mit Unrecht eine vorher sagende Kraft über das Wetter zuschreiben. Wer von uns kennt nicht das Barometer, das doch nichts anderes ist als eine feine Wage, auf der der jeweilige Druck der Luft gegen das Gewicht einer Quecksilbersäule abgewogen wird?

Das Barometer nun ist das Lot des Luftschiffers, denn die Quecksilbersäule wird fallen, wenn der Ballon sich erhebt und die über ihm befindliche Lufthöhe immer geringer wird. Man kennt den zahlenmäßigen Zusammenhang zwischen der Anzeige des Barometers und der Höhe, in der es sich befindet, und teilt seine Skala dann nicht in Wetterprophезeigungen, sondern nach einem Maßstab ein, auf dem die Höhe über dem Erdboden in Metern angegeben ist.

Aus praktischen Gründen nimmt der Luftschiffer in seine Gondel nicht ein Quecksilberbarometer mit, sondern eins der bekannten runden Zeigerinstrumente, ein sogenanntes Aneroidbarometer, und wenn wir

zufällig ein solches besitzen, dann können wir uns leicht von der Richtigkeit des vorher Gesagten überzeugen. Denn bei einem einigermaßen empfindlichen Instrument bedarf es gar keiner Höhenunterschiede von vielen hundert Metern, um eine Veränderung der Zeigerstellung zu bemerken, unser Haus ist für den lehrreichen Versuch hoch genug.

Wir gehen nun mit dem Barometer vor die Haustüre, es aufrecht haltend und leicht mit dem Finger dagegen klopfend. Dann merken wir uns den Stand des Zeigers, wobei darauf zu achten ist, daß das Auge sich genau dem Zeiger gegenüber befindet. Wiederholen wir denselben Versuch auf dem ersten Treppenabsatz, so werden wir zu unserem Erstaunen bemerken, daß der Zeiger zurückgegangen ist, und begeben wir uns gar auf den Boden, so ist die veränderte Zeigerstellung nicht mehr zu verkennen. Bleiben wir dagegen immer auf derselben Höhe, gehen wir also etwa durch die Zimmer desselben Stockwerkes, so rührt sich das Barometer nicht. So redet dieses kleine Instrument eine deutliche Sprache für jeden, der beobachten gelernt hat und seine Erfahrungen klug auszunutzen weiß.

Schließlich können wir uns statt des Aneroidbarometers auch eines einfachen Apparates bedienen, den jeder sich leicht selbst anfertigen kann und der noch dazu den Vorteil hat, viel empfindlicher zu sein. Eine sehr große Flasche mit dem Mindestinhalt von zwei Litern erhält einen feststehenden doppelt durchbohrten Stopfen (Fig. 22). In die Durchbohrungen werden zwei Glasröhrchen gesteckt, von denen das eine *abc* wagerecht mit leichter Durchbiegung nach unten verläuft, das andere *d* zur Spitze ausgezogen und so weit zugeschmolzen ist, daß kaum noch Luft hindurchtritt. Gibt man dann in das größere Röhrchen einen Tropfen von Spiritus oder Petroleum, der sich bei *b* aufhält, so ist das Barometer fertig. Wird der äußere Luftdruck größer, so rückt er den Tropfen nach rechts, wenn kleiner, dann überwiegt der Druck in der Flasche und der Tropfen verschiebt sich nach links. Stellt



Fig. 22. Einfaches Barometer.

man den Apparat auch nur vom Tisch auf den Fußboden, so sieht man die Druckzunahme schon ganz deutlich. Das Röhrchen *d* vermittelt den Ausgleich bei langsamen Druckschwankungen und bei Ausdehnung der in der Flasche abgeschlossenen Luft durch Erwärmung. Es sorgt also dafür, daß der Flüssigkeitstropfen sich nach einiger Zeit immer wieder auf die Mitte einstellt. Tut er das zu schnell, so muß man die Öffnung von *d* enger machen. Um eine Erwärmung zu verhüten, umwickelt man die Flasche vor dem Versuch mit Tüchern.

Der Bau eines „Motorluftschiffes“. Wer sich noch vor wenigen Jahrzehnten mit Plänen für ein lenkbares Luftschiff beschäftigte, galt für einen ausgemachten Narren. Wir denken heute anders darüber. Die Erfindung des Automobilmotors, jenes Zwergen mit den Kräften eines Riesen, hat den lenkbaren Motorballon möglich gemacht. Mit einer elektrischen Maschine konnten die Franzosen Renard und Krebs bereits 1884, allerdings nur bei windstillem Wetter einen kurzen Rundflug machen, und im Jahre 1900 begannen die großartigen und von einem wahrhaften Patriotismus getragenen Versuche des Grafen Zeppelin auf dem Bodensee. Die Eltern unserer jungen Freunde werden von dem greisen, furchtlosen Helden erzählen können, den kein Schicksalschlag zu Boden drückte und der im Frühjahr 1909 unter dem Jubel des Volkes seine denkwürdige Fahrt vom Bodensee nach Berlin ausführte. Die staunenerregenden Erfolge der Zeppelinkreuzer im Weltkriege sind noch in aller Erinnerung. Ihnen allen war die sogenannte „starre“ Konstruktion gemeinsam, bei der eine Reihe runder Ballone durch ein Gerüst aus Aluminium zusammengehalten wurde, das außen von einer geschlossenen Leinwandhülle umspannt war. Unstarre Lenkballone, bei denen der künstlich gesteigerte Gasdruck im Innern den gerüstlosen Ballon prall und steif hielt, wurde von Major v. Parzeval 1906 konstruiert. Beide Systeme haben ihre Vorzüge und sind vorbildlich für alle Lenkballonkonstrukteure der Welt geworden.

Wir wollen nun selbst ein Motorluftschiff bauen, bei dem der ExploSIONsmotor durch aufgedrillte Gummifäden ersetzt ist. Hauptsache ist, daß wir alle Konstruktionsteile so leicht als möglich machen.

Zuerst bauen wir ein Gerüst aus zwei Holzstäbchen (Fig. 23 *aa*) und zwei halbierten und flach geschnittenen Korkscheibchen *bb'*, in die wir die Stäbchen (als Wurfspießer beim Schlächter erhältlich) ein-

leimen. Durch b' wird ein leichter Drahthafen gesteckt — am besten aus Aluminiumdraht — und außen umgebogen, so daß er sich nicht drehen kann. Das halbe Korkscheibchen b wird durchbohrt, am besten mit einer glühenden Stricknadel, und in die Bohrung ein Federkiel als Röhrchen und Führung für einen zweiten Drahthafen gesteckt, der vorn den Propeller trägt. Dieser besteht aus einem leichten Kartestreifen von etwa 1 cm Breite und 5 cm Länge, das in ein Korkstückchen eingeleimt wird und dessen Enden in entgegengesetztem Sinne etwas gebogen werden, wie die Flügel einer Windmühle. Damit der

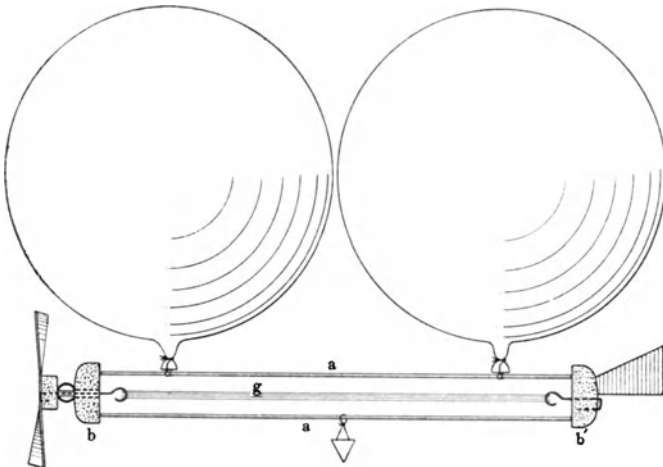


Fig. 23. Motorluftschiff.

Propeller sich leicht dreht, fügt man zwischen die Korkstücken b und c eine Glasperle ein. Zwischen die beiden Hafen werden darauf etwa vier oder fünf nicht zu breite Gummibänder aus schwarzem Gummi aufgespannt, wie man sie in den Gummihandlungen zum Zusammenhalten der Papierumhüllungen von Paketen erhält. Sie dürfen nicht allzu straff gespannt sein.

Damit ist die Motorenanlage für unser lenkbares Luftschiff fertig. Es fehlt nur noch der Tragkörper, der Ballon. Diesen müssen wir uns freilich schon kaufen und bilden ihn aus den auf den Straßen feilgebotenen bunten Gummiluftballonen, von denen wir sicher zwei, prall aufgeblasene und steigkräftige, brauchen. Sie werden, wie aus der Zeichnung ersichtlich, am Motorgestell festgebunden. Damit

die Maschine nicht davonfliegt, machen wir alle Versuche im Zimmer. Aus der Hand gelassen, sollte der Apparat möglichst schweben, d. h. weder steigen noch fallen. Dazu muß er, wie der Luftschifferausdruck lautet, „abgewogen“ werden. Wir befestigen dazu mit einer Fadennöse am unteren Holzstäbchen ein kleines Papierdütchen, das wir hin- und herschieben und durch kleine Gegenstände, zuletzt vielleicht Sandkörnchen belasten können. Ist das Gleichgewicht erreicht, so kann man daran-gehen, den Motor aufzuziehen. Man faßt das Gestell vorsichtig mit zwei Fingern in der Mitte und dreht mit dem Zeigefinger der anderen Hand den Propeller herum, bis die Gummischnüre sich zu Knoten beginnen. Losgelassen, wird sich der Propeller nun drehen und das Schiff durch die Luft ziehen. Wir sorgen nämlich dafür, daß der Propeller infolge seiner Drehrichtung durch die Luft vorangeht. Richten wir es ferner so ein, daß das Luftschiff an sich leise Neigung zum Sinken zeigt und machen wir es gleichzeitig durch Verschieben des Ballastgewichtes etwas hinterlastig, so wird es der Propeller im Fluge schräg nach oben ziehen. Der Ballon kehrt dann stets zur Erde zurück, wenn der Propeller zu laufen aufhört. Durch ein am Heck schräg eingeleimtes leichtes Papierblättchen kann man dem Luftschiff ein Seitensteuer geben und es zum Kreisflug zwingen.

Auf Leichtigkeit der Konstruktion, wie gesagt, kommt alles an. Drei Ballone wird man kaum anwenden können, da das Motorgestell dann wegen seiner Länge zu gebrechlich wird.

Der Drache. Gründete sich die Konstruktion des Luftballons auf das Vorhandensein eines Luftgewichtes, so benutzen die in folgendem beschriebenen Vorrichtungen die treibende Kraft des Luftstromes oder den Widerstand der Luft, um sich vom Erdboden zu erheben.

Was ein Papierdrache ist, brauchen wir unseren jungen Lesern nicht erst zu sagen. Man kauft ihn zwar heutzutage in allen Spielwarenhandlungen, aber das wäre kein rechter Junge, der sich seinen Drachen nicht selbst anfertigte. Der Bau ist einfach genug und die Freude eine doppelte, ein eigenes Erzeugnis in die Lüfte steigen zu sehen.

Der Drache ist nicht an eine bestimmte Form gebunden, es gibt deren sehr viele und jede hat etwas für sich. Die quadratische Drachenfläche wird bisweilen ihrer Einfachheit wegen vorgezogen. Die nach-

stehend beschriebene Form ist jedoch die am häufigsten vorkommende und auch zur Selbstanfertigung gut geeignet.

Ein Drache soll vor allen Dingen möglichst fest, aber auch möglichst leicht sein. Seine Größe kommt weniger in Betracht. Man baut Drachen bis zu mehreren Metern Höhe, aber auch Drachen von der Größe eines Quartblattes steigen bereits, wenn sie nur leicht genug sind. Der Verfasser hat in seinen Knabenjahren gefunden, daß Größen von 1 bis 1,3 m recht gut geeignet sind.

Zunächst handelt es sich darum, das Gerippe anzufertigen, das die Segelfläche tragen soll (Fig. 24, A). Eine leichte Latte aus

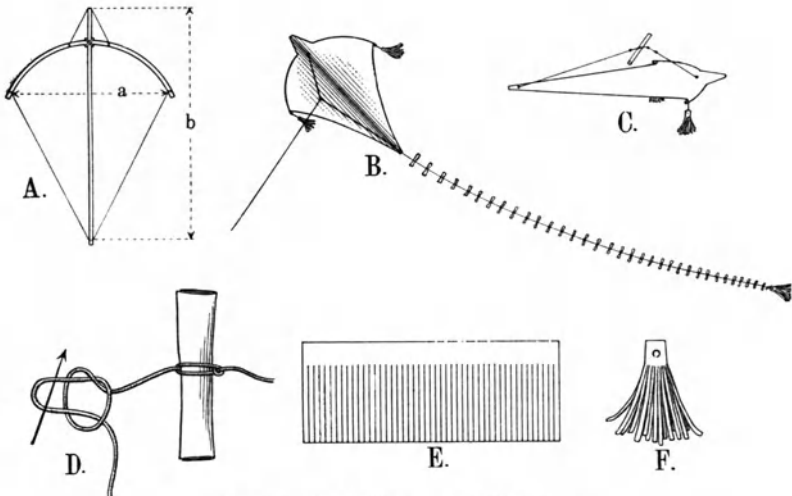


Fig. 24. Herstellung eines Drachen.

Tannenholz, etwa 2 bis 2,5 cm breit und 0,8 bis 1 cm stark, wird in $\frac{1}{7}$ ihrer Länge durch schwache Einkerbung und kreuzweises Verschneiden rechtwinkelig so mit einem biegbaren Stabe, etwa einer strammen Haselnußgerte oder einem Rohrstock, verbunden, daß des Stockes Enden nach beiden Seiten gleich weit überstehen. Die Länge des gestreckten Querstabes zu dem Tannenholzstabe soll sich etwa verhalten wie 7:8. An diesem Holzgerippe werden nun folgende Einkerbungen vorgenommen, aber nur so tief, daß an ihnen befestigte Schnüre eben vor dem Abgleiten sicher sind. Je eine Einkerbung erfolgt, rechts wie links von der Verbindungsstelle der beiden Hölzer, auf der biegbaren Gerte in einem Abstände, der etwa $\frac{1}{5}$ der halben

Gertenlänge ist. Zwei weitere Einkerbungen sind etwa 1 cm von den Enden der Gerte nötig. Das längere Stück des Tannenzholzstabes erhält eine Einkerbung 2 cm von seinem Ende entfernt. Unter Benutzung der vorgenannten Einkerbungen werden dann die beiden Enden der Quergerte mit Hilfe von haltbaren, aber nicht zu starken Bindfäden so weit halbkreisförmig herabgezogen, daß (vergleiche die Figur) die Strecke a etwa $\frac{2}{3}$ der Länge von b ausmacht. Außerdem wird eine Schnur straff von der einen Einkerbung der Rute über die Spitze des Tannenzholzstabes nach der anderen Einkerbung herübergezogen. Hierzu erhält auch der Tannenzholzstab oben in der Richtung der Gerte einen Einschnitt.

Nun ist das Gestell fertig zum Überziehen mit einem luftundurchlässigen leichten Stoff. Man kann hierfür mehrere Bogen Konzeptpapier aneinander kleben. Die Bereitung eines guten Kleisters findet der Leser auf S. 52 beschrieben. Man breitet die aneinander geklebten Papierblätter auf der Erde aus, legt das Gestell darüber und zeichnet seine Konturen nach, jedoch nach allen Seiten etwa um zwei Finger breit größer. Die überstehenden Streifen werden mit Kleister gut bestrichen und durch Umlegen nach innen über die Schnüre des Gestelles herübergeklebt. Der Mittelstab braucht nicht festgeklebt zu werden, doch empfiehlt es sich immerhin, durch Überkleben einiger Papierstreifen für eine Befestigung zu sorgen. Um den Stoff glatt über den Bügel kleben zu können, muß der Rand etwas breiter stehen bleiben und mit der Schere auf den Bügel zu von Zeit zu Zeit eingeschnitten werden.

Ist der Überzug trocken, so kann man daran gehen, eine lockere Schnur am Fußende und am Hals des Drachen — dort, wo die Stäbe sich kreuzen — zu befestigen. An dieser Schnur wird die Drachensfläche zunächst ins Gleichgewicht gebracht, eine Arbeit, auf die man alle Sorgfalt verwenden sollte. Durch einen unter die Schnur gehaltenen Stab — oder den Finger (Fig. 24, C) — sucht man diejenige Stelle heraus, bei deren Unterstüzung der Drache in bezug auf das Fuß- und Kopfende wagerecht liegt. Rechts und links von dieser Stelle wird je ein Knoten in die Schnur geschlagen und nach dem Kopfende zu noch ein oder zwei Knoten in gleichem Abstände. Da aber die Schultern des Drachen auch wagerecht schweben sollen — was meist zunächst nicht der Fall sein dürfte —, so hat man einen Belastungsausgleich durch an die Gertenenden angehängte Troddeln

herbeizuführen. Diese Troddeln fertigt man aus Schreibpapier, indem man einen oder mehrere Streifen daraus — so breit, wie die Troddel lang werden soll — bis auf einen 2 cm breiten Streifen fannartig einschneidet und dann aufrollt (Fig. 24, E und F). Durch Abstreifen zwischen Daumen und Messerrücken können die Papierstreifen gekräuselt werden. Sind beide Troddeln beweglich durch ein Stückchen Schnur an dem Drachen befestigt, so kann leicht das völlige Gleichgewicht durch Herausschneiden einiger Papierstückchen links oder rechts erreicht werden.

Ein derartiger Drache würde aber an seiner Schnur wild in der Luft herumwirbeln, wenn man ihm nicht einen Ballast in Gestalt eines Schwanzes mitgäbe. Dieser Schwanz soll nicht schwer sein, aber unbedingt lang, mindestens achtmal so lang als der Drache selbst. (In der Figur ist der Schwanz wegen des Raummangels im Verhältnis viel zu kurz gezeichnet.) Der Schwanz wird durch einen Bindfaden gebildet, in den quer zu ihm und in Abständen von etwa 8 cm gut fingerlange und etwa 2 bis 3 cm breite Papierstücke aus mehrfach zusammengefaltetem Papier eingeknüpft sind. Fig. 24, D zeigt deutlich, wie die hierzu erforderlichen Schlingen im Bindfaden gebildet werden. Der Pfeil gibt an, an welcher Stelle das Papierstück durch die Schlinge gesteckt werden muß. An seinem Ende erhält der Schwanz eine Troddel.

Zum Auflassen wählen wir einen recht festen, aber nicht zu dicken Bindfaden. Zwei bis drei Knäuel von je 100 m genügen. Ein starker, in der Mitte eingekerbter Stock dient zur Befestigung des Bindfadens und zum Aufhaspeln.

Am einem schönen, windigen Herbsttage wandern wir mit unserem Drachen auf das freie Feld. Zum Transport wird der Schwanz um den Drachen gewickelt und er selbst an seiner Schnur über die linke Schulter genommen. Untermwegs werden wir uns noch einmal darüber klar, daß wir eine hohe Strafe zahlen müssen, wenn sich unser Drache irgendwie in Telephon- oder Telegraphenleitungen verwickelt.

Auf dem Felde angelangt, besteht unser erstes Geschäft darin, die Windrichtung zu bestimmen, was bei starkem Winde kein Kunststück ist und bei schwachem dadurch geschieht, daß man den befeuchteten Finger emporhält. Ist der Wind aber gar so schwach, so sollte man sich bezwingen und von unnützen Versuchen, die den Drachen nur verderben, lieber absehen.

Man verfährt nun folgendermaßen. Der Drache wird platt auf die Erde gelegt und zunächst das Ende der Halteschnur an der Drachenschnur zwischen zwei der oben beschriebenen Knoten befestigt, und zwar um so weiter nach dem Kopf zu, je schwächer der Wind ist. Je höher wir die Schnur unter sonst gleichen Umständen befestigen, desto steiler steigt der Drache auf. Dann wird die Halteschnur auf eine Strecke (etwa 40 bis 50 m) weit ausgelegt und zwar gegen den Wind. Das Knäuel wird dort fest in die Erde gesteckt oder man gibt es bei schwachem Winde einem Gehilfen zu halten. Ist dann noch der Drachenschwanz in der Richtung des Windes ausgelegt, so ergreift man den Drachen beim Fußende und hält ihn, einen kräftigen Windstoß abwartend, empor. Dann läßt man ihn, ohne ihn zu werfen, aus der Hand. Ein gut gebauter Drache erhebt sich rauschend in die Lüfte und entschädigt durch das hübsche Schauspiel reichlich alle auf ihn verwandte Mühe. Ist der Wind zu schwach oder erst in den oberen Regionen zu finden, dann muß der Gehilfe eine Strecke weit laufen, um den Drachen in die Höhe zu bringen. Später kann dann die Schnur mehr und mehr nachgelassen werden.

Schlägt der Drache mit seinen Schultern hin und her, so sind die Troddeln ungleich schwer; fährt er unstet in der Luft herum oder zeigt er gar die Neigung, mit der Spitze nach unten auf die Erde herabzufahren, dann ist der Schwanz zu leicht und muß verlängert werden. Am besten ist es, wenn man bei starkem Wind gleich ein Reservestück von einigen Metern Länge mit auf das Feld bringt.

Eins der unterhaltendsten Spiele, das man mit dem Drachen anstellen kann, ist das Emporschicken von Briefen oder sogenannten „Aposteln“. Sie sind nichts anderes als ein einfaches Stück Kartonpapier von etwa Quadratdezimeter Größe, in der Mitte mit einem Loch versehen, gerade so groß, daß man den Haltestecken der Drachenschnur hindurchstecken kann. Um den Apostel auf die Schnur zu bringen, muß der Stecken so geneigt werden, daß die Schnur an ihm anliegt und man das Pappstück über beides streifen kann. Selbstverständlich muß dazu bereits die ganze Schnur bis auf den letzten Rest dem Drachen übergeben sein. Durch den Wind getrieben, läuft der Apostel an der Schnur empor, und zwar immer schneller und schneller, bis er, schließlich fast dem Auge entschwunden, beim Drachen anlangt. Ungeschickte Knoten in der Schnur hindern natürlich den Lauf oder stellen ihn überhaupt in Frage.

Sehr vollkommene Apostel, die nicht die Neigung haben, sich unter dem Wind flach gegen die Schnur zu legen, erhält man auf folgende Weise. Ein Glasröhrchen von etwa 5 cm Länge und etwa 3 bis 4 mm lichter Weite wird in der Mitte durch ein entsprechend starkes, am besten kreisrundes Kartonblatt von 10 bis 20 cm Durchmesser gesteckt und senkrecht zu ihm durch beiderseits aufgeleimte und ebenfalls durchlöchernte dicke Korkscheiben befestigt. Um auch den Knoten in der Leine den Durchgang durch das Röhrchen zu ermöglichen, bündelt man seine Ränder trichterförmig auf (siehe S. 15). Derartige Apostel werden auf die Leine gebracht, indem man diese unter allen Vorichtsmaßregeln, die ein Entweichen des Drachen verhüten, von dem Haltestecken löst und durch das Glasröhrchen fädelt. Ein so vorge richteter Apostel bewegt sich mit überraschender Geschwindigkeit und wird bei seinem heftigen Anprall von dem Drachen meist durch ein Kopfnicken begrüßt. Man kann ein leichtes Püppchen an ihn hängen und die Luftreise mitmachen lassen. Der Verfasser weiß sich zu erinnern, daß er als Knabe an Apostel von großer Fläche (30 cm Durchmesser) kleine chinesische Papierlaternen — kugelförmige Lampions —, mit Wachslichtchen versehen, anband und des Abends aufsteigen ließ, was einen reizenden Anblick bot, besonders wenn der durch den anlangenden Lampion erleuchtete Drache plötzlich aus der Dunkelheit hervortrat. Zu allen diesen Versuchen gehört aber neben einem ziemlich großen Drachen und stetigem Wind auch ein großes, in der Richtung des Windes völlig freies und abgeerntetes Feld, so daß jede Feuergefährdung von vornherein ausgeschlossen ist.

Im Laufe der Zeit hat man an den Drachen, die eine chinesische Erfindung sein sollen, allerhand Verbesserungen angebracht, die sie weit über den Wert einer Kinderspielerei erheben. Wir wollen hier nicht reden von den Drachen, deren sich Schmuggler bedient haben, um, indem sie diese in großen Höhen von ihrer Schnur befreiten und durch den Wind forttreiben ließen, Waren über die Zollgrenzen zu schaffen, auch nicht von den Drachen zur Rettung Schiffbrüchiger und zum Photographieren feindlicher Festungswerke aus der Vogelschau, sondern unseren Lesern ins Gedächtnis zurückrufen, daß vor fast 200 Jahren eine der bedeutungsvollsten naturwissenschaftlichen Aufklärungen durch den Drachen erfolgte. Im Jahre 1752 ließ der Amerikaner Franklin aus Philadelphia während eines Gewitters einen Drachen empor, da er auf Grund seiner Experimente an der Elektrifizierung

maschine vermutete, daß auch der Blitz eine elektrische Erscheinung sei und die Gewitterwolken Elektrizität führen müßten. Das Glück schien ihm zunächst nicht hold, denn mehrere Wolken zogen wirkungslos vorüber. Da bemerkte er, als leichter Regen fiel und die Schnur besser leitend machte, daß sich ihre Fasern sträubten und ein leichtes Knistern hörbar wurde. Er näherte ihr den Finger und ein Funke sprang über — die aus der Wolke zur Erde herabgeleitete Elektrizität. „Der Blitz ein gewaltiger elektrischer Funke“, das war das Resultat des Franklinschen Experiments, eines Experimentes, das bald überall mit Eifer und mehr oder weniger Verständnis und Geschick wiederholt wurde. Die durch die Drachenschnur herabgeleitete Elektrizitätsmenge steigt enorm, wenn sich in ihr ein leitendes Fädchen aus Metall befindet. Mit Hilfe einer solchen Vorrichtung kann man auch nachweisen, daß die Luft nicht nur beim Gewitter einen elektrischen Zustand besitzt, sondern daß elektrische Entladungen auch bei hellstem Sonnenschein und blauem Himmel — natürlich viel schwächer — auftreten können, aber immer noch stark genug, um den Drachen oft einer Elektrifiziermaschine überlegen sein zu lassen. Man kann dann mit der atmosphärischen Elektrizität alle Versuche anstellen wie mit der künstlich erzeugten, es besteht zwischen beiden kein Unterschied.

So wurde der Drache durch Benjamin Franklin — den Erfinder des Blitzableiters — zu einem wissenschaftlichen Instrument, und er hat als solcher seine Rolle heute noch keineswegs ausgespielt. Im Gegenteil. Es wird sogar in der Nähe von Berlin auf Staatskosten ein Institut unterhalten, dessen Mitglieder unter der Führung eines namhaften Gelehrten sich damit beschäftigen, Drachen zu bauen und aufsteigen zu lassen. Diese Tätigkeit erscheint uns sehr vergnüglich, aber die Männer der Wissenschaft nehmen es damit sehr ernst. Unter ihren geschickten Händen und unter dem Einfluß scharfsinniger Rechnungen haben die Drachen eine Form angenommen, in der wir sie kaum noch wiedererkennen. Sie sehen aus wie übereinandergesetzte, mit Wollstoff überzogene Kasten von leichtem Lattenwerk. Aber diese Drachen nehmen einen erstaunlich sicheren und hohen Flug. Während wir unsere Drachen nur bei bestem Bau und sehr gutem Wind etwa 300 m über den Erdboden emporbringen, steigen jene wissenschaftlichen Drachen bis 4000 m, ja selbst bis 5000 m empor und lassen, die Höhe des Montblanc überschreitend, die dichteren Wolkenschichten hinter sich, so daß sie bei bedecktem Himmel dem Auge gänzlich entweichen.

Sie werden durch eine elektrisch getriebene Winde an einem sehr dünnen und sehr festen Stahldraht gehalten und wieder zurückgeholt. Man kann sich denken, daß es keine Kleinigkeit ist, bisweilen einen zehn oder mehr Kilometer langen Draht aufzuwickeln. Auch würde sicherlich, trotz seines geringen Durchmessers, der Draht dem Drachen zu schwer werden, wenn man nicht einen Kunstgriff anwendete. Nachdem ein Drache eine Strecke — sagen wir 200 m — weit aufgelassen worden ist, wird ein zweiter Drache an dem Draht befestigt, der dem ersten gewissermaßen den Haltedraht trägt, nach weiteren 200 m folgt noch ein Drache usw., bis schließlich eine Kette von mehreren Drachen in der Luft steht, die dann natürlich auf den Draht einen gewaltigen Zug ausübt. Der höchste Drache trägt eine Anzahl wissenschaftlicher Instrumente, die den Luftdruck, die Luftfeuchtigkeit, die Temperatur u. a. m. messen sollen, und alle diese Instrumente sind selbstregistrierend, d. h. so eingerichtet, daß sie ihre Beobachtungen aufschreiben und nach ihrer Rückkunft dem Gelehrten ein zuverlässiges Bild der atmosphärischen Zustände in jenen Höhen liefern, die sonst nur unter Aufwendung ungleich größerer Kosten dem Luftballon zugänglich sind. Man hat auch Menschen mit dem Drachen emporgehoben. Die Luftreise soll aber nicht gerade sehr behaglich sein.

Der Kastendrache. Fast noch einfacher als der vorherbeschriebene Drache ist der Kastendrache anzufertigen. Er steigt sehr gut, sieht aber nicht so vornehm aus und hat auch keinen Schwanz. Vier ganz leichte und möglichst gleiche Holz- oder Rohrstäbe von etwa 60 cm Länge ($abcd$, Fig. 25) werden am oberen und unteren Ende ringsherum mit 21 cm breiten Schürtingstreifen so bespannt, daß, wie man es in der Figur sieht, ein in der senkrechten Achse offener Kasten entsteht. Zur Aussteifung klemmt man

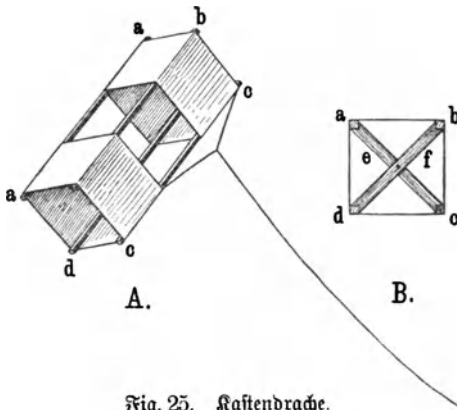


Fig. 25. Kastendrache.

federnd zwei leichte, flache Stäbchen *e* und *f* ein (Darstellung B). Sind diese in der Mitte durch einen Nagel drehbar miteinander verbunden, so kann man sie als Ganzes aus dem Drachen herausnehmen, zusammenlegen und auch den Drachen zum Transport um einen seiner Stäbe einfach aufwickeln.

Die Schnur wird so befestigt, wie es die Abbildung zeigt. Der Schnuransatz wird so gewählt, daß der Drache weder zu steil noch zu flach in der Luft steht, sondern mit dem Erdboden etwa einen Winkel von 45° bildet.

Derartige Rastendrachen sind mehrfach zu wissenschaftlichen Untersuchungen verwendet worden.

Die Flugschraube und der Bumerang. Bei dem Drachen bewegt sich die Luft und der Drache steht fest. Indem die Luft an der schrägen Fläche nach unten abgleitet, hebt sie zugleich den Drachen. Derselbe Effekt wird erreicht, wenn die Luft ruhig ist und der Drache sich gegen die Luft bewegt, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man mit dem Drachen läuft.

Es findet überhaupt stets ein Steigen statt, wenn die schrägen Flügelflächen irgend einer Vorrichtung in geeigneter Weise gegen die Luft bewegt werden. Eine derartige Vorrichtung, die man sich mit ganz geringer Mühe selbst herstellen kann — und die man bereits zu den Flugmaschinen rechnen muß —, ist die Flugschraube.

Auf einem Handgriff von Holz (Fig. 26) — etwa dem Heft einer Feile — wird mit einem starken, langen Nagel ein Garnröllchen so befestigt, daß es sich um den Nagel als Achse drehen kann. Der Kopf des Nagels, der so groß sein muß, daß er das Röllchen am Abgleiten hindert, muß flach gefeilt sein, da später die Flugschraube glatt an ihm anliegen soll. Außerdem werden in den Kopf der Rolle zwei ziemlich dünne Drahtstifte von etwa 1 cm Länge eingesezt, am besten durch Einkitten (mit Siegellack) in vorher gebohrte oder ausgebrannte Löcher. Die Figur zeigt den Querschnitt der ganzen Einrichtung.

Die Luftschraube schneidet man mit der Schere aus dünnem Eisenblech aus, indem man ihr etwa die zweiflügelige Gestalt B gibt. Sie erhält im mittleren Teil zwei Löcher, die auf die Drahtstifte der Drehvorrichtung passen. Damit sie, in Umdrehung versetzt, in die Höhe steigt, müssen die Flügel schraubenförmig zueinander verdreht werden, was am einfachsten geschieht, wenn man die Flügel zwischen

Daumen und Zeigefinger der rechten und linken Hand nimmt und dann die Hände gegeneinander dreht, doch höchstens so weit, daß die beiden Flügelflächen miteinander einen rechten Winkel bilden. Die Länge der Flugschraube kann 5 bis 10 cm betragen.

Legt man die Flugschraube auf die Drehvorrichtung und setzt diese — sie senkrecht in der linken Hand haltend — durch einen aufgewickelten und dann rasch abgezogenen Bindfaden in schnelle Umdrehungen, so erhebt sie sich von ihrer Unterlage und steigt, immerfort Schraubenbewegungen ausführend, bei ruhigem Wetter hoch in die Luft empor, so hoch wie ein Haus und vielleicht noch höher.

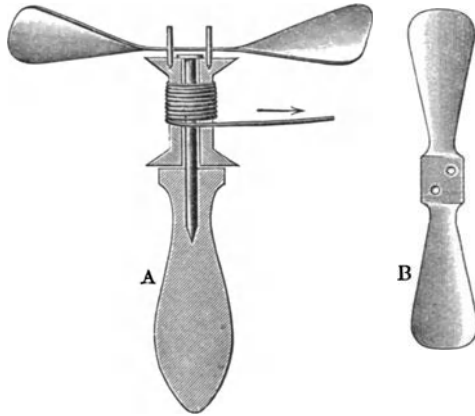


Fig. 26. Flugschraube.

Der Bumerang ist nicht eigentlich als eine Flugschraube zu betrachten und könnte am ehesten noch an derjenigen Stelle dieses Buches Erwähnung gefunden haben, wo von dem Bestreben eines sich drehenden Körpers, die Richtung seiner Achse beizubehalten, gesprochen wurde (S. 40). Will man den Versuch mit dem Bumerang im Zimmer ausführen, so bedarf man dazu kaum irgendwelcher Vorbereitungen, da jede Postkarte oder Visitenkarte das erforderliche Material abgibt. Man schneidet aus ihr ein rechtwinkeliges Gebilde, dessen einer Schenkel etwas länger und daher auch schwerer sein kann als der andere. Fig. 27 veranschaulicht die Form des Ausschnittes, dessen Größe ziemlich gleichgültig ist. Legt man den so hergestellten Bumerang, wie es die Figur angibt, auf die schräg nach oben gerichtete Fläche eines Buches und schlägt mit einem Stäbchen gegen den überstehenden Schenkel, so fliegt

der Bumerang, während er sich schnell dreht, schräg aufwärts in das Zimmer hinein und wendet dann plötzlich, um in leichtem Bogen zu seinem Ausgangspunkte, oder zu einer Stelle etwas unterhalb, zurückzukehren. Die Erklärung des hübschen Experimentes ist leicht. Da der Bumerang wegen seiner drehenden Bewegung das Bestreben hat, seine Flügelfläche immer in derselben, schräg nach oben gerichteten Ebene zu bewegen, so gleitet er auf der Luft hin wie anfangs auf dem Deckel des Buches. Sobald seine Kraft nachläßt, gleitet er wieder

zurück auf einer Luftschicht, die zu der ersten in einem geringen Winkel geneigt ist.

In den Spielwarenläden erhält man den Bumerang aus Holz in der Größe eines gebogenen Armes und kann mit ihm dann die Versuche im Freien wiederholen, indem man, den einen Schenkel mit der rechten Hand ergreifend, das Instrument nahezu waagrecht fort schleudert und ihm dabei eine drehende Bewegung mitgibt. Der freie Schenkel muß nach links gerichtet sein. Der Bumerang eilt dann zunächst am

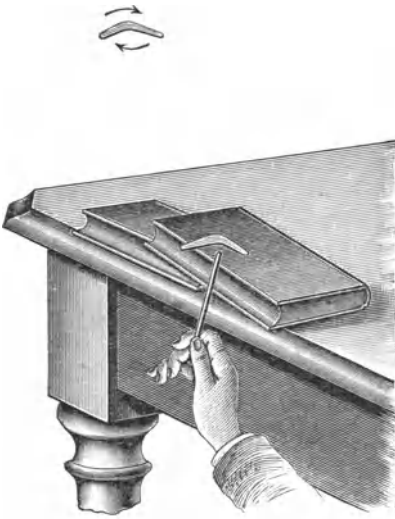


Fig. 27. Bumerang.

Boden hin, erhebt sich aber plötzlich — namentlich, wenn der Wurf gegen den Wind geschieht —, steigt ziemlich steil auf und kehrt dann, allmählich ermattend, in weitem Bogen zu dem Werfer zurück. Es ist erstaunlich, bis zu welcher Höhe und Weite bei einiger Übung der Wurf gelingt.

In der Hand der Wilden von Australien bedeutet der Bumerang — der Name stammt von den Eingeborenen — eine Waffe, und zwar eine äußerst gefährliche, die sie mit erstaunlicher Treffsicherheit gegen Tier und Mensch zu gebrauchen wissen. Man erzählt, daß sie mit ihr den Vogel auf 50 und mehr Meter Entfernung vom Baume herabholen. Verfehlt das mörderische Wurfgeschöß sein Ziel, so steigt es in leichtem Bogen aufwärts und kehrt in die Hand des Schützen zurück.

* Ein künstlicher Schmetterling erregte vor einigen Jahrzehnten bei seinem ersten Erscheinen in den Spielwarenläden großes Aufsehen. Das anmutige physikalische Spielzeug flatterte aus der Hand des Experimentators auf und huschte, unsterk hin und her stoßend, eine Zeitlang an der Zimmerdecke hin, ganz das Bild eines scheuen, großen, ausländischen Schmetterlings bietend. Heute trifft man das

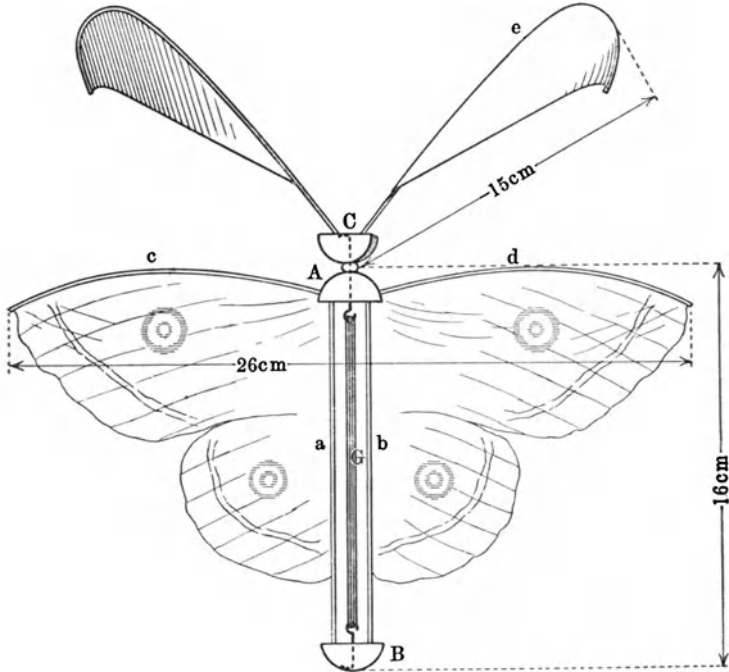


Fig. 28. Künstlicher Schmetterling.

allerliebste Spielzeug nur noch selten an, und es ist vielleicht angebracht, darauf von neuem hinzuweisen, da es auch belehrend ist und ohne allzu große Mühe angefertigt werden kann.

Wir wollen versuchen, an der Hand der Fig. 28 eine Beschreibung des Schmetterlings zu geben. Der Körper des künstlichen Tieres wird aus zwei Holzstäbchen *a* und *b* gebildet, die, parallel miteinander verlaufend, in die Horkstücke *A* und *B* eingeleimt sind. Derartige Holzstäbchen erhält man unter dem Namen „Wurfspeiler“ bei jedem größeren Schlächter. Man wähle die dünnste Sorte. Die Abmessungen ergeben

sich aus den der Figur beigefügten Zahlen. Für die Korke wähle man nur gute Sorten und stelle sich die erforderlichen Stücke durch Zerteilen etwa 3 bis 4 mm starker Scheibchen her. Das Körpergestell trägt beiderseits große Flügelflächen aus Seidenpapier. Die Rippen *c* und *d* dieser Flügel werden aus gebogenen Holzstäbchen hergestellt. Es ist nicht schwer, ihnen dauernd die gewünschte Form zu verleihen, wenn man folgendermaßen verfährt: Die Stäbchen werden 12 Stunden lang in Wasser gelegt und dann einige Minuten gekocht, worauf sie geschmeidig geworden sind und sich, ohne zu brechen, in jede gewünschte Form bringen lassen. In dieser müssen sie, etwa durch Belastung mit Gewichten, festgehalten und getrocknet werden. Am besten ist es, sie dabei auf ein Blech zu legen und auf der Herdplatte am Feuer rasch auszutrocknen. Die so vorgerichteten Holzstäbchen werden rechts und links in den Schulterfork des Schmetterlings eingefügt. Sie müssen gleich lang sein und dieselbe Form haben. Das Seidenpapier der Flügel wird an *a* und *c*, bezüglich an *b* und *d* festgeleimt, wobei es nicht nötig ist, daß die Flügelflächen straff gespannt sind, sie können sogar etwas locker sitzen, wodurch sich die Luft besser in sie hineinsetzt.

Kopf und Fühler bilden zugleich den Flugapparat des Schmetterlings, die eigentliche Luftschraube. Sie bestehen aus dem Korstück *C* und den beiden schräg eingeleimten gebogenen Stäbchen *e* und *f*. Die Stäbchen sind in der Art, wie es die Figur angibt, mit Seidenpapier straff bespannt. Diese Flügelflächen sind gegeneinander um etwa einen rechten Winkel gedreht, gerade so wie die Flügel der vorbeschriebenen Flugschraube.

Die schraubenförmige Bewegung der Fühlerflügel wird nun auf folgende sinnreiche Weise bewirkt. Der Kork *A* wird in der Längsrichtung der Körperachse durchbohrt, so daß sich ein Eisendraht von 0,5 mm Stärke leicht in ihm drehen läßt. Dieser Draht steht mit dem Kork *C* durch Einstecken und Umbiegen in fester Verbindung. Dreht sich *C*, so macht diese Drehung auch ein Haken mit, der vor der Einführung des Drahtes an ihn angebogen war und der sich nun unterhalb des Korkes *A* befindet. Um die Drehung der Korke gegeneinander zu erleichtern, muß zwischen ihnen eine kleine Glasperle eingefügt werden. Am besten ist es, wenn sich außerdem auf jeder Seite der Perle noch ein kleines durchlöcheretes Scheibchen aus dünnem Weißblech befindet. Der Kork *B* erhält ebenfalls einen mit ihm fest verbundenen, also nicht drehbaren, Haken aus Eisendraht. Zwischen den

Haken werden darauf etwa vier oder fünf nicht zu breite Gummibänder aus schwarzem Gummi aufgespannt, wie man sie in den Gummihandlungen zum Zusammenhalten der Papierumhüllungen von Paketen erhält. Sie dürfen nicht allzu straff gespannt sein, müssen also in ungedehntem Zustande fast die Entfernung zwischen den Haken ausfüllen.

Diese Gummibänder bilden den Motor für unsere kleine Flugmaschine. Hält man nämlich den Körper des Schmetterlings zwischen Daumen und Zeigefinger der linken Hand und dreht mit der rechten die Fühler herum, so drehen sich die Gummibänder umeinander auf und haben dann das Bestreben, sich wieder aufzuwickeln und die Fühlerflügel in entgegengesetztem Sinne zu drehen. Diese Drehung benützt der künstliche Schmetterling zum Fluge, indem er sich mit seinen Flügeln gleichsam in die Luft emporschraubt. Die unteren breiten Flügelflächen sollen lediglich verhindern, daß der Körper sich ebenfalls dreht.

Eine Hauptbedingung für das Gelingen des Experiments ist die größtmögliche Leichtigkeit der ganzen Maschine. Diese muß man in allen Teilen anzustreben suchen, im Korf, in den Hölzchen, im Seidenpapier ußf. Man versuche auch den Apparat mit verschiedenen Gummibändern und habe keine Furcht, daß durch ihren Zug das Gestell zusammenbrechen könne. Dieses hält, wenn nur die Stäbchen *a* und *b* gerade sind, erstaunlich viel aus, es ist so stabil, daß man sogar die Anzahl der Umdrehungen bis zur Bildung von Knötchen längs der ganzen Gummischnur treiben kann. Sollten die Holzstäbchen nicht dünn genug und daher zu schwer sein, so kann man sie mit einem Stück Glas und unter Zuhilfenahme von Sandpapier vorsichtig dünner schaben.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß wir das „Aufziehen“ des Schmetterlings stets in dem richtigen Sinne vornehmen müssen, da er anderenfalls durch seine Flügelbewegung nicht gehoben, sondern zur Erde herabgedrückt wird.

*** Das Flugzeug.** Viele von uns haben die Geburt der Flugmaschine mit erlebt. Nachdem schon in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts unser Landsmann, der Ingenieur Otto Lilienthal, den man mit Recht den Vater der Aviatik nennt, seine berühmten Schwebeflüge ausgeführt und dabei grundlegende Gedanken

über die zweckmäßigste Form der Flügelflächen entwickelt hatte, waren es im Jahre 1903 die Brüder Wilbur und Orville Wright in Amerika, die sich zum erstenmal mit einer motorgetriebenen Flugmaschine in die Luft erhoben. Man nannte sie wohl später die fliegenden Brüder, obgleich sie natürlich nicht wie die Vögel durch den Ather flogen. Aus eigener Kraft, mit Flügeln, die er seinem Körper anheftet, ist noch kein Mensch geflogen und wird wohl auch niemals ein Mensch fliegen. Immer sind es entweder Windstöße oder eine vielstärkere Maschine, die dem Menschen ihre Kräfte leihen und die er nach seinem Willen ausnutzt und lenkt. Die Franzosen wußten den amerikanischen Brüdern ihre Künste sehr bald nachzumachen. Der erste Deutsche, der sich mit seinem Motorflugzeug (1909) über die Erde erhob, war Hans Grade. Seitdem hat der Flug mit Maschinen, schwerer als die Luft (im Gegensatz zu den Ballonen), jene ganz beispiellosen Erfolge gehabt, die wir alle kennen. Tausende von Kilometern sind von Flugzeugen ohne Erdbührung durchflogen worden, und gewaltigen Geiern gleich kreisen die Maschinenvögel in eisigen Höhen, die auch die höchsten Berggipfel der Erde weit unter sich lassen. Noch mehr: das Flugzeug ist heute bereits ein Verkehrsmittel geworden, das an Sicherheit dem Eisenbahnzuge und dem Automobil kaum noch nachsteht, an Schnelligkeit sie aber bei weitem übertrifft.

Für den Bau eines Flugzeuges können wir im wesentlichen auf das hinweisen, was schon beim Bau des künstlichen Schmetterlings (auf S. 71) gesagt wurde. Auch das Material der Flugmaschine sind festes Seidenpapier, Holzstäbchen und Kork. Der Antrieb geschieht genau wie dort durch starke, aufgedrehte Schnüre von schwarzem Gummi. Nur daß die Schraubenflügel im Verhältnis kleiner sind und daß die ganze Maschine nicht vertikal, sondern in horizontaler Lage fliegen soll. Im übrigen muß sie so leicht als nur irgend möglich sein, federleicht; ein plumper Bau hat niemals Aussicht, sich in der Luft zu halten.

Unser Maschinenchen ist ein Vogel ins Technische übersetzt, d. h. wir haben keine auf und nieder schlagenden Flügel, dafür aber große Schwebeflächen (Fig. 29, *F*) und eine vorwärtstreibende Luftschraube *A*. Man kann die ganze Vorrichtung auch einen Drachenvogel nennen, denn im Grunde genommen läuft es auf dasselbe hinaus, ob wir einen Drachen an seiner Schnur gegen den Wind

führen oder ob wir die Schwebeflächen der Flugmaschine mit einer wirbelnden Schraube durch die Luft ziehen.

Wir empfehlen für das Holzgerippe jene leichten Stäbchen, aus denen die chinesischen und japanischen Holzdecken (Tischläufer) geknüpft

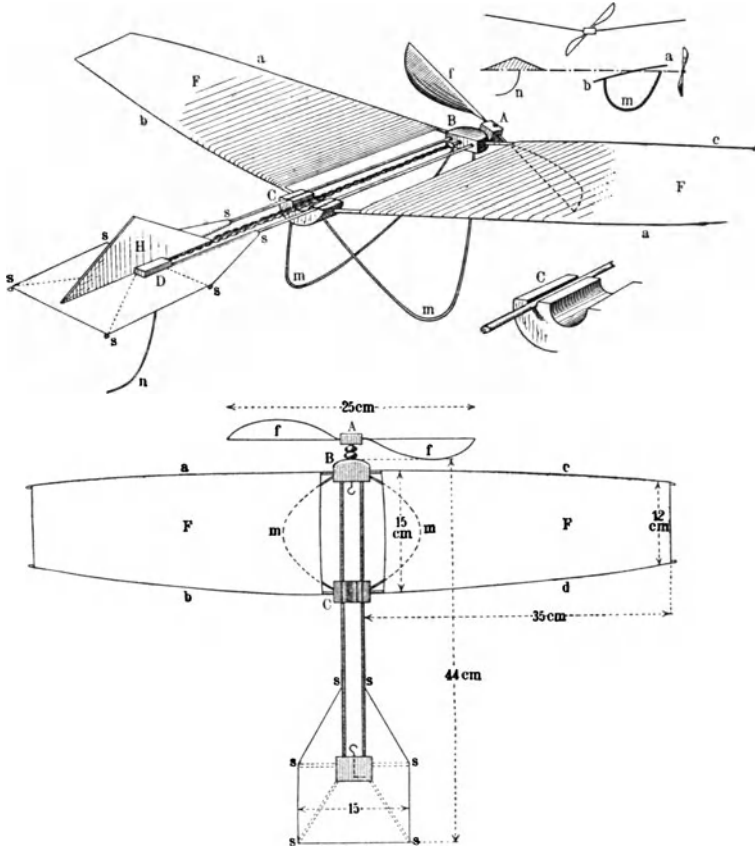


Fig. 29. Flugmaschine.

sind. Sie werden in die Rörte eingeleimt. Am meisten Schwierigkeiten bereitet der Bau der Schwebeflächen (der sogenannten „Flügel“). Die Holzstäbchen *a, b, c, d* müssen so eingeleimt werden, daß die Schwebeflächen etwas angelüftet und gleichzeitig nach vorn etwas aufgerichtet sind, wie es die Darstellungen links oben zeigen. Die Rippenhölzer werden an ihrem freien Ende durch einen Faden etwas

zusammengezogen, so daß die Flächen an der Wurzel etwa 15 cm, an der Spitze etwa 12 cm breit ausfallen. Größte Genauigkeit und Symmetrie des Baues ist dabei vorzuziehen. Eine schiefe Maschine fliegt niemals.

Im übrigen muß bezüglich des Gummiantriebes auf das verwiesen werden, was schon beim Bau des künstlichen Schmetterlings gesagt wurde. Die Flügelschraube stellt man am besten aus zwei starken, passend beschnittenen Gänsefedern her, die ebenfalls in ihren Rork eingeleimt werden. Man hat darauf zu achten, daß sie im richtigen Sinne gegeneinander verdreht werden.

Damit die Maschine beim Flug nicht sofort kentert, gibt man ihr eine „Stabilisierungsvorrichtung“, ganz ähnlich der Befiederung eines Pfeiles, d. h. eine horizontale und vertikale Fläche am hinteren Ende (*V* und *H*). Bei den großen Flugmaschinen dienen diese Flächen gleichzeitig zum Steuern seitlich und nach der Höhe. Gerade diese Schwanzflossen müssen so leicht als möglich sein. Sollten Rippen aus Holz zu schwer ausfallen, so wählt man statt dessen starke Strohhalme, wie man sie etwa zum Trinken von Limonade benutzt. *H* wird aus ganz dünnem Kartonpapier gemacht (Wissitenkarte).

Die „aufgezogene“ Maschine (vgl. wieder den Abschnitt „Künstlicher Schmetterling“) wird nun aber keineswegs in die Luft geworfen, sondern soll wie die großen Flugzeuge vom Boden oder doch vom Tisch auffliegen. Dazu erhält sie zwei Bügel *mm* und einen Sporn *n* aus sehr leichtem und steifem Draht, mit denen sie in etwas emporgerichteter Haltung auf der polierten Tischplatte ruht. Läuft die Schraube, so gleitet die Maschine über die glatte Unterlage hin, um sich schließlich, sobald sie die genügende Geschwindigkeit erlangt hat, schräg in die Luft zu erheben.

So steht es geschrieben. Aber, lieber Leser, in Wirklichkeit kommt es meist anders. Vorausgesetzt, daß der Gummimotor überhaupt stark genug und die Maschine leicht genug ist, pflegt sie meist, gleich nach dem Abflug vom Tisch, zur Erde herabzustoßen. Dann muß das hintere Ende des Höhensteuers *V* etwas emporgerichtet werden. Oft bäumt sich auch die Flugmaschine auf oder hat die Neigung, Bogen zu beschreiben und seitlich zu kentern. Und doch ist sie richtig konstruiert. Wir dürfen eben nicht vergessen, daß sie ohne Führer ist, der durch zielbewußte und geschickte Steuerung allen unliebsamen Störungen begegnen könnte. Ein Automobil lassen wir doch auch nicht ohne Lenker davonlaufen.

Damit der sehr zerbrechliche Apparat nicht gleich beim Probeflug zerstört wird, Sorge man für das nötige Fluggelände. Am besten experimentiert man im Garten an einem windstillen Tage.

Es ist unmöglich, ein Licht durch eine Papierdüte auszublasen, wenn man durch die Tülle gegen das Licht bläst: eine Behauptung, die uns so ohne weiteres niemand glauben wird. Wir gehen aber jede Wette ein und lassen den Versuch machen. Es ist erheiternd, zu bemerken, wie man sich abmüht und die ganze Kraft der Lungen daranwendet, während sich das Licht ganz ruhig verhält oder kaum etwas hin und her flackert. Wenn man entmutigt aufhört, geben wir die Erklärung des Versuches.

Bläst man nämlich durch ein überall gleichweites Rohr — sagen wir durch ein Garnröllchen —, so entsteht ein in allen seinen Teilen gleich gerichteter Luftstrom, der sich auf eine ziemlich große Strecke hin fortpflanzt und noch in einiger Entfernung ein Licht zu löschen vermag. Anders beim Trichter, bei dem sich die austretende Luft nach allen Seiten hin ausbreitet und das Licht nicht mehr mit der nötigen Kraft treffen kann. Unter Umständen nimmt auch die äußere Luft an der Bewegung teil, und dann entsteht ein Wirbel, der die Flamme sogar in den Trichter hineinsaugt. Auf dieser Erscheinung beruhen auch die folgenden zwei, geradezu überraschenden, Experimente.

Eine Kugel, die auf einem Luftstrahl tanzt. Viele unserer jungen Leser haben sicherlich schon einmal in einer Schießbude ein Ei oder eine Kugel auf einem Wasserstrahl tanzen sehen und sich Gedanken darüber gemacht, warum wohl die Kugel aus dem Wasserstrahl nicht seitlich herausgeschleudert wird. Nach dem, was in den vorigen Abschnitten gesagt wurde, kann ihnen jedoch die richtige Erklärung kaum schwer werden.

Die Kugel liegt zunächst auf dem Grunde eines trichterförmigen Drahtkorbes, gerade über der Ausflußöffnung für das Wasser. Sobald der Wasserstrahl zu spielen beginnt, nimmt er die Kugel mit empor, wobei er sich an ihr nach allen Seiten hin zerteilt. Während die Kugel also vorher in einem Drahtkorb lag, liegt sie nun in einem Wasserkorb und auch fast ebenso sicher. Sollte irgendwie ihr Gleichgewicht gestört werden, so wird sie trotzdem das Bestreben haben, sich wieder auf die Mittellachse einzustellen, wie man leicht bei Betrachtung

der Fig. 30 A, die eine Kugel auf einem Wasserstrahl darstellt, einsehen kann. Wir wollen annehmen, daß die Kugel auf einen Augenblick aus ihrer Gleichgewichtslage nach rechts heraustritt. Dann verändert sich die Form des seitlich abfließenden Wassers und hört auf, symmetrisch zu sein, da links dem Strahl die Bahn geöffnet und rechts mehr versperrt wird. In dieser Stellung liegt auch die Kugel nicht mehr ruhig, sondern beginnt sich rechts herum in der Richtung des gebogenen Pfeiles zu drehen, ein Beweis, daß die beiden Teile des gespaltenen Wasserstrahles in verschiedener Weise auf sie einwirken. Sie liegt auf dem rechten Teile wie auf einem elastischen Kissen, das

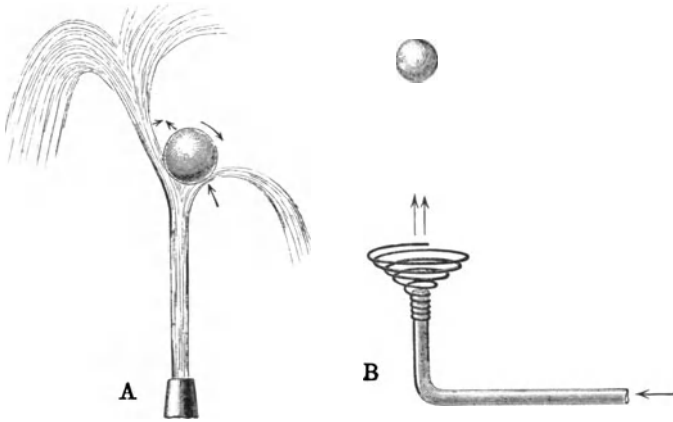


Fig. 30. Kugel auf einem Luftstrahl.

sie nach aufwärts drückt, während der links abgelenkte Teil des Strahles saugend auf die Kugel einwirkt. Was nun geschieht, liegt auf der Hand: Die Kugel wird wieder nach der Mitte befördert und nimmt ihre alte Lage ein. Eine kleine Überlegung lehrt, daß ähnliche Verhältnisse auch eintreten können, wenn man den Wasserstrahl etwas neigt.

Es ist für den Verlauf der Erscheinung nun gleichgültig, ob der tragende Strahl für das Auge sichtbar oder unsichtbar ist. Am überraschendsten gestaltet sich der Versuch, wenn man den Wasserstrahl durch einen Luftstrahl ersetzt. Eine einfache Vorrichtung für dieses Experiment zeigt Fig. 30 B.

Eine Glasröhre, im ganzen etwa 25 cm lang und 2 bis 3 mm weit, wird auf eine kurze Strecke rechtwinklig umgebogen (vgl. S. 15) und erhält an ihrer Mündung, d. h. am Ende des kürzeren Schenkels,

einen Auffangkorb aus Draht, der am leichtesten durch spiral- und trichterförmiges Aufdrehen eines etwa 1 mm starken Eisendrahtes hergestellt werden kann. Der Korb wird durch Umwickeln des Drahtendes um die Röhre und durch Versiegeln mit dieser fest verbunden. Das zum Versuch erforderliche Kügelchen darf nicht zu schwer und nicht zu groß sein. Als Material eignet sich Holundermark vortrefflich, der Durchmesser kann 1 cm betragen.

Legt man die Kugel in das Körbchen und bläst einen Luftstrom erst schwach und dann allmählich stärker nach oben, so erhebt sie sich und bleibt schließlich unter leichten Drehungen und Wendungen in der Luft schweben, wie gehalten von einer geheimnisvollen und unsichtbaren Macht, ein sonderbarer Eindruck, der noch stärker wird, wenn man die Blasevorrichtung durch einen Schlauch verlängert und in unauffälliger Weise in irgend einem Gegenstand verbirgt. Man kann dann zweierlei beobachten: einmal, wie schwer es den meisten wird, gerade für einen einfachen Vorgang eine Erklärung zu finden, weil sie es versäumt haben, Erfahrungen zu sammeln, und dann, wie viele sich mit der Erscheinung zufrieden geben und es nicht der Mühe für wert erachten, über Dinge, seien sie auch noch so wunderbar, nachzudenken.

Ein Ei aus einem Eierbecher in den anderen zu blasen.

Zwei weite Eierbecher werden nach Fig. 31 dicht nebeneinander aufgestellt. In den einen von ihnen legt man ein mittelgroßes gekochtes Ei mit der Spitze nach oben, beugt sich über den Eierbecher und bläst plötzlich sehr kräftig in den Raum zwischen Rand und Ei hinein. Sofort hebt sich das Ei aus dem Becher, macht einen Satz und läßt sich im anderen Becher nieder. Offenbar ist der Luftstrom unter das Ei geraten und hat es emporgehoben, aber wo hat er die Kraft dazu hergenommen?



Fig. 31.

Einfacher Luftdruckversuch.

Nun überlege man sich einmal folgendes: Der Durchmesser des Eies in der Querrichtung beträgt etwa 40 mm, der Inhalt des größten Querschnitts also 1200 qmm, das Gewicht des Eies 50 g. Wir brauchen mithin auf jeden Quadratmillimeter des Querschnittes, den wir in der Wirkung für die Oberfläche der unteren

Gioberfläche setzen können, nur einen Druck von etwa 0,04 g auszuüben, um das Ei zu heben. Das gelingt uns natürlich ganz leicht.

Sind weite Eierbecher nicht zur Stelle, so kann man auch etwas größere Stengelgläser nehmen, wie man sie etwa für Portwein benutzt, nur empfiehlt es sich dann, in das zweite Glas Watte zu legen. Wählt man für den Versuch ein ausgeblasenes Ei, dann kann man bei einiger Geschicklichkeit die Entfernung der Becher auf 10 und mehr Zentimeter vergrößern.

Rauchringe in der Luft und Lustringe im Rauch. Wir haben im ersten Abschnitt dieses Buches (auf S. 2) gelernt, Papparbeiten anzufertigen, und benutzen unsere Kenntnisse und Fertigkeiten nun zur Herstellung eines einfachen würfelförmigen Kastens mit einer Seitenlänge von etwa 15 cm. Aus der einen Seitenwand schneiden wir vor dem Zusammenkleben ein Quadrat von 12 cm Seitenlänge heraus und verkleben das so entstandene Fenster von innen her mit einer entsprechend großen Glasscheibe. Der Deckel erhält in der Mitte ein kreisförmiges Loch von 3 oder 4 cm Durchmesser.

Bläst man Zigarrenrauch in die Schachtel und schlägt dann seitlich mit dem Finger oder einem Hämmerchen gegen eine der Wände, so tritt Rauch aus der Öffnung aus, aber nicht, wie man annehmen sollte, in Gestalt eines Strahles, sondern in der Form eines vollendeten Ringes, dessen Rauchmassen sich von innen nach außen drehen. Solche Ringe kann man einander mehrere folgen lassen. Indem sie fortteilen, werden sie größer und größer, worauf dann meistens irgend ein Luftzug ihre Gestalt zerstört.

Unsere Lokomotiven machen bisweilen dasselbe Experiment im großen, indem sie Rauchmassen aus ihrem Schornstein hervorstoßen. Verfasser erinnert sich, einmal einen Rauchring gesehen zu haben, der, an Größe immer wachsend, schließlich einen Durchmesser wohl von 15 m hatte und in der ruhigen Luft noch nach 4 Minuten sichtbar war.

Da unser Kasten einen Einblick in sein Inneres gestattet, so können wir eine Erscheinung beobachten, die uns sofort auffallen muß. In demselben Augenblick nämlich, wo ein heller Rauchring die Öffnung verläßt, tritt ein dunkler Ring in den Kasten ein, der nach Größe und Bewegung sich wie ein Spiegelbild des Rauchringes ausnimmt. Er besteht aus Luft. Der durch Eindringen der Kastenwandung aus dem Kasten vertriebene Rauch wird durch eindringende Luft ersetzt, sobald

der Druck nachläßt, und es liegt gar kein Grund vor, warum die Luft im Rauch sich anders benehmen sollte wie der Rauch in der Luft, ja es ist nicht daran zu zweifeln, daß Luftringe nach beiden Seiten eilen, wenn der Kasten nicht mit Rauch angefüllt ist. Durch die Füllung wird der äußere Luftring durch Rauch ersetzt, der innere wird im Rauch sichtbar. Verzichtet man auf eine Sichtbarmachung des Luftringes, so kann die Glasscheibe fortbleiben.

Ein mit Wasser gefülltes Glas umzukehren, ohne daß ein Tropfen herausläuft. Dieses Experiment ist ganz leicht auszuführen, wenn man ein am Rande eben geschliffenes Weinglas von nicht zu großer Öffnung und ein Blatt glattes Schreibpapier zur Hand hat. Man füllt das Glas völlig mit Wasser und schiebt das Blatt von der Seite her über die Öffnung, so daß auch nicht das kleinste Luftbläschen zwischen Papier und Flüssigkeit mehr vorhanden ist. Drückt man dann die flache Hand auf das Papier, so kann man das Glas umkehren und die Hand fortnehmen, ohne daß ein Tropfen ausfließt. Der von unten her auf dem Papier lastende Luftdruck hindert das Herausfallen des Wassers und das Papier würde schließlich überflüssig sein, wenn dann nicht leicht das Wasser zu den Seiten herausfließen und dafür Luft eindringen könnte.

Bei einem Glase mit weiterer Öffnung gelingt der Versuch in der Regel nicht, man kann aber damit ein ähnliches Experiment anstellen und ihm dabei in gefelligem Kreise eine etwas scherzhafte Form verleihen. Man wettet mit einem Freunde, daß er ein Glas voll Wasser nicht vom Teller nehmen könne, ohne seinen ganzen Inhalt auszugießen. Geht der Freund auf die Wette ein, so füllt man das Glas völlig mit Wasser, legt ein Blatt Papier darauf, deckt einen sehr ebenen Teller darüber, kehrt das Ganze schnell um, so daß die Mündung des Glases unten steht, und zieht das Papier behutsam fort, ohne dabei das Glas anzuheben, denn sowie das kleinste Luftbläschen in das Gefäß kommt, tritt ein Teil des Wassers heraus.

Sind diese Vorkehrungen ohne Wissen des Wettenden so weit gebiehen, so kann er allerdings das Glas nicht vom Teller nehmen, ohne den ganzen Inhalt auszugießen.

*** Der intermittierende Brunnen — eine Fontäne, die angeblich auf Kommando fließt.** Eine seitwärts mit einer Ausflußöffnung (Tubus) versehene Glasflasche, von etwa 1 Liter Inhalt, wie

sie in Handlungen für chemische Glaswaren käuflich ist (Fig. 32, A), wird, durch einen Holzklötz — Bücher tun es natürlich auch — erhöht, auf einem Tisch aufgestellt.

In die Flasche münden, am besten durch Gummistopfen luftdicht eingeführt, die beiden gebogenen Glasröhren *a* und *b*. Über das Abschneiden und Biegen von Glasröhren finden die Leser alles Nötige auf S. 15. Unterhalb der Flasche *A* wird ein Blechgefäß *B* — das nur halb so groß zu sein braucht, als in der Zeichnung angegeben — aufgestellt, so zwar, daß die Röhre *a* nicht bis auf den Boden der Flasche reicht. *B* hat einen Ausfluß, durch den das Wasser mittels

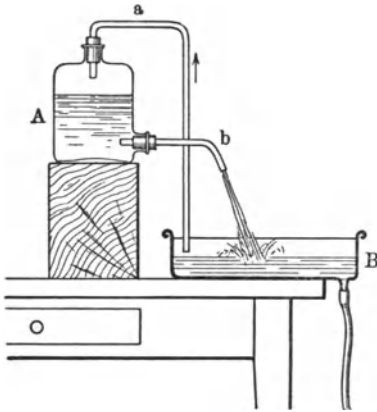


Fig. 32. Der intermittierende Brunnen.

eines Gummischlauches in einen Eimer abfließen kann. Wird *A* nach Abnahme des oberen Stopfens, und unter Zuhalten der Öffnung von *b*, mit Wasser gefüllt, darauf der Stopfen luftdicht wieder eingesetzt, so kann offenbar aus *b* nur dann Wasser ausfließen, wenn durch *a* Luft nachdringen kann, wovon man sich leicht durch zeitweises Verschließen der Öffnung von *a* mit dem Finger überzeugt.

Dieser Verschuß kann auch

durch das Wasser im Gefäß bewirkt werden, wenn es nämlich bis zur Mündung des Röhrchens steigt, und das tut es, sobald man durch Klemmen des Schlauches mit einer Haarnadel dafür sorgt, daß die aus *B* abfließende Wassermenge stets geringer ist als der Zufluß.

Wie der Brunnen arbeitet, ist nun leicht einzusehen. Das aus *A* abfließende Wasser läßt den Spiegel in *B* allmählich steigen, der dann schließlich die Öffnung von *a* abschließt, worauf der Brunnen stockt. Doch wird er nicht lange im Lauf aufgehhalten. Ohne Zufluß sinkt das Wasser in *B*, gibt die Öffnung wieder frei, der Brunnen beginnt zu spielen und derselbe Vorgang wiederholt sich so lange, als noch Wasser in der Flasche vorhanden ist. Soll der Brunnen sein Spiel recht oft unterbrechen — intermittieren, wie man sagt —, so muß das Gefäß *B* klein und der Abfluß aus ihm gering gewählt werden.

Unsere Freunde werden nicht in Verlegenheit sein, das kleine Experiment auszuschnücken, indem sie den Mechanismus verbergen und etwa die Flasche mit dem abwärts gehenden Rohre mit Baumrinde (wenn auch nur auf Pappe gemalt) verkleiden und das Auffangegefäß durch einen kleinen Holztrog ersetzen, so daß das Ganze den Eindruck jener einfachen Röhrenbrunnen macht, wie man sie im Gebirge auf den Bauernhöfen und an der Landstraße findet.

Von einem solchen Brunnen kann man dann vorgeben, er laufe und stoße auf Kommando. Nur muß dann jemand, der die Einrichtung kennt, das Kommando aussprechen; soll der Brunnen aufhören zu fließen, so muß man damit warten, bis die Wasserfläche in dem Gefäß *B* sich so weit gehoben hat, daß die Öffnung des Rohres *a* beinahe verdeckt ist. Dann sagt man „Halt!“, etwas langsam und gedehnt — und der Brunnen stöckt. Sieht man dagegen, daß der Wasserspiegel genug gesunken ist, um die Öffnung wieder frei zu geben, so ruft man „Vorwärts!“ und mit dem sich öffnenden Rohre fließt auch wieder der Brunnen. Später können wir dann zur allgemeinen Belustigung verraten, daß wir gar nicht dem Brunnen kommandierten, sondern — er uns.

Der Heber. Wer von physikalischen Gesetzen noch nicht viel versteht, wird uns kaum zugeben wollen, daß Wasser in einer Rohrleitung von selbst, d. h. ohne ein Pumpwerk, über einen Berg fließen könne. Und doch ist dies möglich, freilich nur unter zwei Bedingungen, daß nämlich erstens das Gefäß, in welches das Wasser abläuft, niedriger stehe als das Gefäß, aus dem es entnommen wird, und dann, daß der Berg nicht höher sei als 10 m. Die Leitung über den Berg von einem Gefäß in das andere bezeichnet man als einen Heber.

Der Heber ist allgemein gesprochen eine gekrümmte Röhre (*a b c*, Fig. 33, A), deren beide Schenkel, vom Scheitel der Röhre aus gerechnet, ungleich lang sind und wovon der kürzere in das zu entleerende Gefäß, der längere in das zu füllende reicht.

Füllt man nun den Heber, bevor man ihn in die Gefäße legt, mit der abzuleitenden Flüssigkeit, oder steckt man ihn in das obere Gefäß und saugt dann an dem längeren Schenkel, bis die Flüssigkeit heraustritt, so läuft sie ununterbrochen fort, solange der Inhalt in dem oberen Gefäß reicht.

Die Wirkungsweise des Hebers wird dem leicht verständlich sein, der die früheren Auseinandersetzungen über den Luftdruck gut verfolgt

hat. Auf beiden Schenkelöffnungen des Hebers ab und bc lastet der Luftdruck in gleichem Maße und die Flüssigkeit würde im Gleichgewicht sein, wenn die Schenkel gleich lang wären. Da nun der Schenkel bc länger ist als der andere, ist auch die Flüssigkeitssäule bc schwerer als die Säule ab und unterstützt daher in ihrer Wirkung den auf der Öffnung des kürzeren Schenkels liegenden Luftdruck, der dann die Flüssigkeit in der Richtung $\rightarrow abc \rightarrow$ in Bewegung zu setzen vermag.

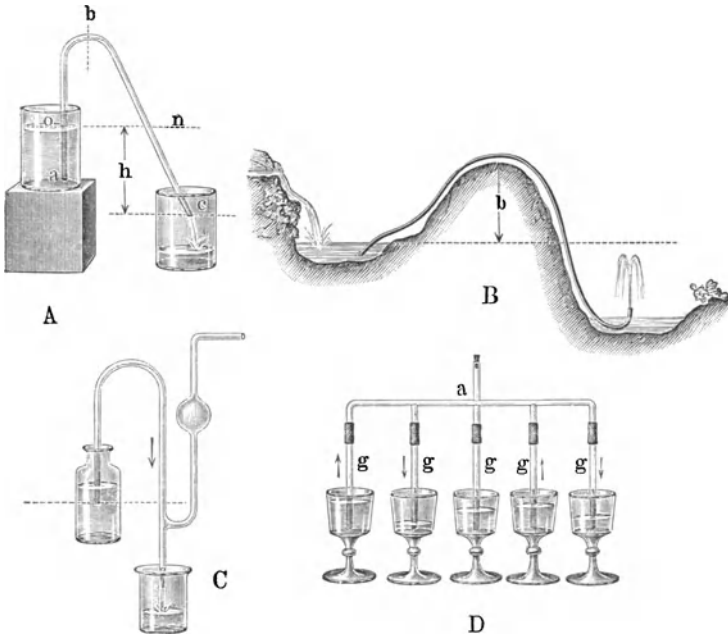


Fig. 33. Versuche mit dem Heber.

Offenbar hat dabei der Luftdruck noch einen zweiten Bundesgenossen, das ist die in dem Gefäß befindliche Wassersäule oa , die ja ebenfalls auf die Öffnung a einen Druck ausübt, so daß für die Wirkung des Hebers nicht der Unterschied in den Schenkellängen allein, sondern insbesondere die Höhendifferenz h zwischen der Oberfläche des Wassers und der Ausflußöffnung des anderen Schenkels in Frage kommt. Sind in bezug hierauf die Schenkel gleich lang, d. h. wird der längere Schenkel bis zu n , der Oberflächenhöhe des Spiegels, gekürzt, so hört der Heber auf zu fließen.

Die beweisenden Versuche kann man leicht anstellen, wenn man den gläsernen Heber durch einen Gummischlauch ersetzt. Die Flüssigkeit strömt um so schneller aus, je tiefer die Ausflußöffnung liegt, sie hört auf zu fließen, wenn diese bis zur Höhe der Flüssigkeitsoberfläche gehoben wird, und strömt schließlich in das Gefäß zurück, wenn die Ausflußöffnung höher zu liegen kommt, wodurch dann der Heber entleert und unwirksam wird. Stellt man zwei Gläser, ungleich hoch mit Wasser gefüllt, nebeneinander und verbindet sie mit einem Heber — den man natürlich vorher füllen, auf beiden Seiten zuhalten muß und erst öffnen darf, wenn die Öffnungen sich in den Flüssigkeiten befinden, oder den man ansaugen muß —, so gleichen sich die Wasserhöhen aus, indem der höhere Spiegel sinkt und der tiefere steigt. Sobald die Oberflächen gleich hoch stehen, kommt allein nur noch der auf beiden Seiten gleich wirkende Luftdruck zur Geltung und der Heber stellt so lange seine Tätigkeit ein, als nicht das eine oder andere Gefäß gehoben wird. Gerät auf irgend eine Weise Luft in den Heber, so hört er natürlich sofort auf zu fließen.

In der Darstellung B unserer Fig. 33 wird gezeigt, wie man Wasser aus einem höher gelegenen, von einem Wasserfall gespeisten See über einen Berg nach einem tiefer gelegenen leiten und dort einen Springbrunnen betreiben kann. Freilich ist die Höhe des Berges, wie schon angedeutet, nicht unbegrenzt.

Da man oft Flüssigkeiten abzuhebern hat, die man, wie z. B. die Säuren, nicht gern in den Mund bekommt, was beim Saugen an dem Heber jederzeit geschieht, so hat man dem Heber, den man dann als „Säureheber“ bezeichnet, auch folgende Gestalt gegeben. An einem gewöhnlichen Heberrohre (Fig. 33, Darstellung C) ist tief am längeren Schenkel, jedenfalls aber tiefer, als auf der anderen Seite die Einflußöffnung liegt, ein Seitenrohr angefügt, das sich nach oben abbiegt und irgendwo eine Kugel von einigem Raumgehalt enthält. An diesem Rohre saugt man, während man gleichzeitig die Ausflußöffnung mit dem Finger oder mit einem Hahn verschließt. Ein Ubertreten der Säure in den Mund ist dabei nicht zu befürchten, da sie erst die Kugel anfüllen muß und man Zeit gewinnt, mit dem Saugen aufzuhören. Wird die untere Öffnung frei gemacht, so fließt die Säure durch den Heber aus.

Ein Experiment, dessen Erklärung dem schwer fallen würde, der den Heber nicht versteht, kann man leicht auf folgende Weise anstellen.

Es stützt sich auf die uns bereits bekannte Tatsache, daß ein Heber so lange fortläuft, bis in den beiden Gefäßen, in denen seine Schenkel ruhen, die Flüssigkeitsoberflächen im Niveau, d. h. in gleicher Höhe stehen. Eine Metallröhre (Fig. 33, D) von etwa 30 cm Länge wird (vom Klempner?) mit sechs Ansatzröhrchen versehen, von denen, wie es die Abbildung zeigt, fünf nach unten, eines aber in der Mitte nach oben gerichtet ist. Letzteres ist mit einem Kork dicht zu verschließen; es kann jedoch länger sein, als die Zeichnung angibt. Mittels kurzer Gummischlauchstücke werden fünf Glasröhren an die abwärts gerichteten Metallstutzen ange setzt. Damit ist der Apparat, der übrigens auch von einem Glasbläser ganz aus Glas angefertigt werden kann, wodurch er entschieden lehrreicher, aber auch zerbrechlicher ist, schon fertig. Um ihn in Betrieb zu setzen, senkt man die fünf Röhrchen in fünf nebeneinander gestellte, aber zu ungleicher Höhe gefüllte Weingläser und saugt die Flüssigkeit durch den oberen Stutzen bis zur Mündung hinauf, worauf man den Kork so schnell als möglich feststeckt, jedenfalls dabei aber nicht so viel Zeit verstreichen läßt, daß die Flüssigkeit bis zum Querrohre sinkt. Ein Hahn an Stelle des Korkes, den man während des Saugens und sobald man Flüssigkeit in den Mund bekommt, schließen kann, leistet daher die besten Dienste.

Nun überläßt man den Apparat sich selbst und jeder, der sein Wirken nicht kennt, wird mit Verwunderung bemerken, wie sich die Flüssigkeit aus den mehr angefüllten Gefäßen verliert, dagegen die beinahe leeren oder weniger gefüllten sich nach und nach füllen, bis in allen die Höhe ganz gleich ist.

Dies hübsche Experiment ist schon recht alt und hat einen sonderbaren Namen erhalten zu einer Zeit, da man noch nicht so rein verstandesmäßig beobachtete wie heute und gegenüber der selbstlosen Gerechtigkeit, mit der die Gläser ihren Besitz untereinander teilen, ein laises Gefühl der Rührung nicht unterdrücken konnte. Man nannte es *Fraterna caritas* oder „Die brüderliche Liebe“.

Von der Zusammendrückbarkeit der Gase. Atmosphärische Luft hat nicht allein ein Gewicht und einen Widerstand, sie besitzt auch die Eigenschaft, zusammendrückbar zu sein. Man kann z. B. in einem durch einen beweglichen Kolben verschlossenen Zylinder zwei Liter Luft auf einen Liter und noch viel weniger zusammendrängen, freilich nicht, ohne dabei auf einen immer mehr wachsenden Widerstand

zu stoßen. In dem Maße, wie das Volumen abnimmt, nimmt der Druck, den die eingeschlossene Luft auf die Gefäßwände ausübt, zu, und zwar stehen diese beiden Größen zueinander in einem sehr einfachen Verhältnis, das der Physiker Mariotte zuerst richtig erkannte. Es besagt das von ihm gefundene Gesetz, daß man ein Gas doppelt so stark zusammendrücken müsse als vorher, um sein Volumen auf die Hälfte, dreimal so stark, um es auf ein Drittel, viermal so stark, um es auf ein Viertel zu verringern usw. Ebenso wird natürlich der Druck zunehmen müssen, wenn man das Volumen — also z. B. die Flasche, in der sich die Luft befindet — unverändert läßt, aber eine größere Menge Luft in sie einpreßt.

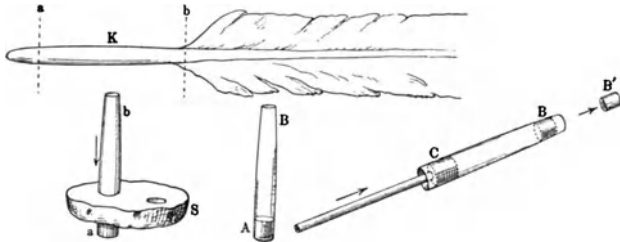


Fig. 34. Luftpistole aus einem Gänsekiel.

Von der Zusammendrückbarkeit der Gase und ihrem Bestreben, sich wieder auf ihr ursprüngliches Volumen auszudehnen, hat man vielfach Gebrauch gemacht, z. B. preßt man Wasserstoff unter großem Druck in Stahlflaschen zusammen, um ihn dann zur Ballonfüllung zu versenden. Viele Tausende von Kubikmetern finden so auf einem einzigen Eisenbahnwagen Platz.

Hier wollen wir uns von den eigenartigen physikalischen Verhältnissen durch den Bau einer Luftpistole überzeugen, die den Vorzug hat, wirklich billig zu sein. Wir brauchen dazu eigentlich nur einen schönen, starken, runden Gänsekiel und eine Kartoffel. Fig. 34 zeigt, wie man aus dem Kiel ein Röhrchen schneidet, das an der einen Seite (a) etwas stärker ist als an der anderen, und wie man mit ihm aus einer Kartoffelscheibe einen Pflock heraussticht, der dann in dem weiteren Ende (a) des Röhrchens sitzen bleibt. Mit Hilfe eines Holzstäbchens schiebt man den Pflock A nach der engeren Stelle B hinauf und sticht abermals in die Kartoffel. Nun ist die Pistole fertig zum Abfeuern.

Man stößt dazu mit dem Holzstäbchen den Pflock *C* kräftig in die Röhre hinein, drückt die Luft zwischen *B* und *C* zusammen, die nun ihrerseits den Pflock *B* als Geschloß mit großer Gewalt heraustrreibt. Ein neuer Stich in die etwa $\frac{1}{2}$ cm starke Kartoffelscheibe macht unsere Waffe sofort wieder schußfertig. — Da die kleine Pistole stets funktioniert, sogar knallt und manchmal auch trifft, kann man nicht mehr von ihr verlangen.

Der Heronsball. Etwas minder einfach, aber recht eindrucksvoll kann man die Ausdehnung zusammengedrückter Luft mit dem Heronsball zeigen, dessen Erfindung übrigens fälschlich dem berühmten Mathematiker und Physiker Heron von Alexandria (100 v. Chr.) zugeschrieben wird. Eine Medizinflasche, ein gut schließender Kork und ein oben zu einer Spitze ausgezogenes Glasröhrchen genügen als Material für das Experiment. Das Röhrchen reicht durch den Kork fast bis auf den Boden der zu etwa ein Fünftel mit Wasser gefüllten Flasche (Fig. 35, A). Vorerst besitzt noch die eingeschlossene Luft denselben Druck wie die äußere und hat das Bestreben, die Flüssigkeit mit derselben Kraft aus dem Röhrchen herauszutreiben, wie die äußere Luft nach innen. Die Folge davon — beide Kräfte heben sich ja auf — ist ein unveränderter Stand des Wassers in dem Röhrchen.

Um den Apparat in Tätigkeit zu setzen, nimmt man die Spitze der Röhre in den Mund und bläst so stark hinein, als irgend möglich; man wird dann Wasser durch die Röhre zurücktreiben und Luft in einzelnen Bläschen zu der in der Flasche schon vorhandenen hinzutreten sehen. Jede vermehrt den Druck der eingeschlossenen Luft. Vermag man durch Blasen keine Luft mehr einzutreiben, so schließt man das Rohr innerhalb des Mundes mit dem Finger, stellt die Flasche in eine Schüssel und nimmt dann den Finger von der Mündung fort. Die eingeschlossene, jetzt mit einem höheren Druck als die äußere ausgestattete Luft sucht sich dann sofort zu befreien und treibt das Wasser in einem feinen und ziemlich hohen Strahle aus dem Rohre hervor. Dies dauert so lange fort, bis kein Wasser mehr vorhanden ist und die noch übrige gespannte Luft entweicht, oder bis die eingeschlossene ihren alten Druck wieder erreicht hat.

Das Prinzip des Heronsballes wird in der Technik vielfach angewendet und hat in letzter Zeit in den bekannten Bier-siphons einen neuen Triumph gefeiert. Allerdings wird in diesen Vorrichtungen das

Bier nicht durch zusammengedrückte Luft ausgetrieben, sondern durch Kohlensäure, die dann noch die besondere Eigenschaft hat, das Bier frisch zu erhalten.

* **Der Heronsbrunnen** ist nichts anderes als die bereits beschriebene Vorrichtung, nur mit dem Unterschiede, daß die Luft nicht mit dem Munde, sondern durch den Druck einer Wassersäule komprimiert wird. Dieser Apparat verdient seinen Namen, da er in der Tat von

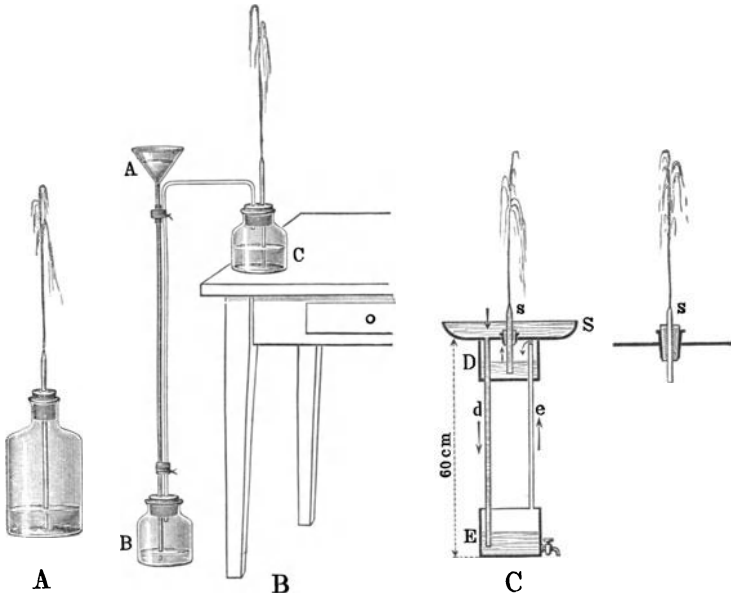


Fig. 35. Heronsball und Heronsbrunnen.

Heron von Alexandria angegeben wurde. Ein auf einem Tische erhöht stehendes Glasgefäß C (Fig. 35, B) ist fast ganz mit Wasser gefüllt und in der schon vom Heronsball her bekannten Weise mit einem Stopfen und einem fast bis auf den Grund reichenden, oben mit einer Spitze versehenen Glasröhrchen ausgerüstet. Das Gefäß darf indessen nicht zu enghalsig sein, damit durch die Öffnung noch eine zweite Glasröhre geführt werden kann, die nach zweimaliger Biegung lang genug ist, um durch den Stopfen eines auf dem Fußboden oder einem Stuhle stehenden zweiten Glasgefäßes gerade hindurch-

zureichen. Auch in dem Gefäße *C* schneidet sie dicht unter dem Stopfen ab. Man biegt diese Glasröhre über dem Gasschnittbrenner oder über einer großen Spiritusflamme um (vgl. S. 15) und berichtigt dann erst ihre Länge, oder man setzt sie aus zwei Theilen mit einem Stück Schlauch zusammen.

Auch der Stopfen des Gefäßes *B* erhält zwei Löcher und nimmt andererseits ein gerades, unten bis auf den Boden reichendes und oben mit Schlauchstück und Trichter versehenes Glasrohr auf. Man wählt es am besten so lang, daß es, mit dem anderen Glasrohr durch Schnur verbunden, den Trichter gerade über der Biegung hervorstehen läßt. Damit ist der Apparat schon fertig und kann nach Füllung des Gefäßes *C* sofort in Betrieb gesetzt werden.

Bläst man in den Trichter hinein, so preßt man die Luft sowohl in *B* wie in *C* zusammen, und ein Wasserstrahl schießt springbrunnenartig aus der feinen Glasspitze hervor. Derselbe Effekt wird durch Eingießen von Wasser in den Trichter *A* erreicht. Man halte beim Füllen zunächst die Glasspitze mit dem Finger zu und bemerke, wie das nach *B* einströmende Wasser die in dem Gefäß enthaltene und am Entweichen verhinderte Luft zusammenpreßt, wie dann das Wasser im Trichterrohr mehr und mehr steigt, um schließlich im Trichter selbst zu stehen. Da nun kein Wasser mehr in das Gefäß läuft, so besitzt die eingeschlossene Luft offenbar den Druck der auf ihr lastenden Wassersäule *BA*. Denselben Druck hat natürlich auch die Luft in dem Gefäße *C* angenommen, da sie mit derjenigen in *B* durch das Knierohr in Verbindung steht, und mit diesem Druck wird das Wasser aus dem Gefäße emporgetrieben, sobald man die Öffnung des Springröhrchens freigibt. Ein hübsches Experiment, das aber unseren Eltern nur dann ebenfalls Freude macht, wenn unter dem Gefäß *C* zum Auffangen des Wassers eine Schale aufgestellt wird. Wir brauchen natürlich kaum zu erwähnen, daß der Versuch nur so lange weitergeht, bis das Gefäß *B* voll und das Gefäß *C* leer ist. Das weitere Nachgießen von Wasser in den Trichter aber kann man dadurch vermeiden, daß man das ausströmende Wasser in diesen hineinfallen läßt, wie es auch bei der nun zu beschreibenden Anordnung geschieht, in welcher der Heronsbrunnen zwar weniger leicht verständlich ist, dafür aber recht gefällig wirkt und sogar etwa für Blumentische als Zimmerfontäne dienen kann. Für die Ausführung tut man schon am geschicktesten, die Hilfe des Klempners in Anspruch zu nehmen.

Zwei zylindrische Blechgefäße *D* und *E* (Fig. 35, C) stehen senkrecht übereinander und sind durch die Metallröhre *d* und *e* verbunden. Die Röhren dürfen, um dem Ganzen Halt zu verleihen, nicht zu dünnwandig sein und können einen Durchmesser von 2 cm haben. Die Gefäße nimmt man jedenfalls nicht zu klein — nicht unter zwei Liter Inhalt —, damit die Fontäne nicht gar zu sehr zur Spielerei wird. Die Röhre *d* kommt vom Grunde des Gefäßes *E*, geht luftdicht durch dessen Wandung, ebenso durch das Gefäß *D* und mündet am oberen Deckel ins Freie. Die Röhre *e* kommt vom oberen Deckel des Gefäßes *E* und mündet im Gefäß *D* gleich unterhalb des Deckels. *d* heißt die Wasserdruckröhre, *e* die Luftdruckröhre. Um das ausfließende Wasser aufzufangen und dem unteren Gefäß zuzuführen, erhält das obere Gefäß einen tellerförmigen Aufsatz aus Blech. In der Mitte des Tellers kann ein fast bis auf den Grund des oberen Gefäßes führendes, oben zugespitztes Glasröhrchen *s* mit einem Gummistopfen luftdicht eingesetzt werden, wie es auch die rechts stehende Zeichnung noch einmal deutlicher zeigt.

Um den Brunnen zum Betriebe fertig zu machen, nimmt man das Springröhrchen *s* heraus und füllt das obere Gefäß mit Wasser, doch nur so weit, daß nichts davon durch die Luftdruckröhre in das untere Gefäß gelangt, und setzt darauf die Springröhre wieder fest ein. Soll die Fontäne springen, so braucht man nur Wasser in die Schüssel zu gießen und sofort wird sich ein zierlicher Strahl aus der Mündung erheben.

Der Vorgang ist im wesentlichen derselbe wie im vorigen Experiment und braucht daher hier nicht noch einmal beschrieben zu werden. Da immerfort Wasser in die Schüssel tritt und zu dem unteren Gefäß herabfließt, die Luft daraus nach dem oberen Gefäß vertreibend, so hört das Spiel nicht eher auf, als bis aus dem oberen Gefäß alles Wasser vertrieben und in das untere gelangt ist. Dann muß *E* entleert und *D* mit dem Inhalt desselben gefüllt werden, bis auf einen Rest, der, um den Brunnen in Gang zu setzen, in die Schüssel geschüttet wird. Zur Entleerung des unteren Gefäßes dient am besten ein Hahn.

Haben die Gefäße je zwei Liter Inhalt und hat die Springröhre eine Öffnung von einem halben Millimeter, so wird das Spiel des Brunnens immerhin etwa eine halbe Stunde dauern. Je höher der ganze Apparat ist, desto höher ist die auf der Luft lastende Wassersäule und desto höher springt auch der Strahl.

Der kartesianische Taucher ist ein physikalisches Spielzeug, das ebenso lehrreich und unterhaltend ist, wie leicht herzustellen. Es beweist, ebenso wie die vorangegangenen Versuche, die Zusammendrückbarkeit der Luft und noch etwas anderes, worauf wir dann gleich zu sprechen kommen.

Über ein ziemlich hohes Standglas, fast bis an den Rand mit Wasser gefüllt, wird straff und luftdicht ein Stück Schweinsblase gebunden. In Ermanglung dieses Materials reicht eine Flasche mit weitem Hals und etwas Pergamentpapier für den Zweck auch aus.

In dem Gefäß befindet sich eine Vorrichtung, die einfach genug ist. Sie besteht in der Hauptsache aus einem kleinen nicht zu schweren Fläschchen mit etwas weitem Halse, an dem mit drei Fäden oder Drähtchen ein kleines Gefäß, etwa ein Fingerhut, befestigt ist, wie die Gondel an einem Luftballon (vgl. die Fig. 36).

Mit dieser Vorrichtung — wir wollen sie gleich den Taucher nennen — macht man nun einige Vorversuche folgendermaßen: Man bringt den Taucher mit der Mündung nach unten in das große Standglas und drückt ihn unter die Wasseroberfläche. Die hierdurch in dem Taucher abgesperrte Luft drängt in dem schwereren Wasser nach oben und hebt das Fläschchen kräftig mit empor, das sich dabei auf die Seite legt und etwas Luft entweichen läßt. Man läßt nun so viel Luft heraus und Wasser hinein, daß der Taucher mit abwärts gerichteter Mündung ins Schwimmen kommt, und belastet dann die Gondel so weit mit Schrotkörnern, daß schon der geringste Anstoß genügt, um das Fläschchen unter die Oberfläche tauchen zu lassen. Etwas Geduld trägt dabei gute Früchte. Darauf wird das Standglas zugebunden.

Sobald man nun mit dem Zeigefinger einen leichten Druck auf die Mitte der Blase ausübt, geht der Taucher unter das Wasser bis zum Grunde und bleibt dort so lange, als der Druck dauert. Der erhöhte Luftdruck über dem Wasser nämlich teilt sich dem Wasser mit und pflanzt sich in diesem nach einem bekannten physikalischen Gesetz nach allen Seiten hin fort. Er dehnt die Wände des Standglases aus (natürlich in einer für unser Auge nicht wahrnehmbaren Größe) und treibt auch das Wasser in den Taucher hinein, indem er die in ihm enthaltene Luft zusammendrückt. Der Taucher wird dadurch schwerer und muß sinken.

Läßt der Druck nach, so vertreibt die im Innern zusammengepreßte Luft das eingedrungene Wasser wieder und der Taucher, leichter geworden, erhebt sich aufs neue.

In den Wahrsagebuden der Jahrmärkte, deren Besitzern daran liegt, ihre Kunden mehr zu verwirren als aufzuklären, trifft man den kartesianischen Taucher fast überall. Möglich, daß die Leute gerade dieses Experiment für geeignet halten, den unwissenden Beschauer an eine übernatürliche Abhängigkeit des auf- und niederschwebenden Gebildes von einer der Hand entströmenden geheimnisvollen Kraft glauben zu lassen. Um den mystischen Eindruck noch zu erhöhen, färben sie das Wasser rot und geben dem Taucher die Gestalt eines bössartig blickenden Teufelchens. Derartige Teufelchen aus schwarzem Glase erhält man bei den meisten Mechanikern. Sie bestehen aus einem Hohlkörper mit einem Schweiß, der, die Eintrittsöffnung bildend, mit dem unteren Teile des Körpers in Verbindung steht. Ein Kopf mit Hörnern gehört natürlich dazu und eine lange rote Zunge. Aus dem kartesianischen Taucher ist dann ein kartesianisches Teufelchen geworden; es trägt aber auch noch unter dieser Benennung den Namen seines Erfinders, des Philosophen Descartes, der sich, der Sitte seiner Zeit folgend, den lateinischen Namen Kartesius beilegte.

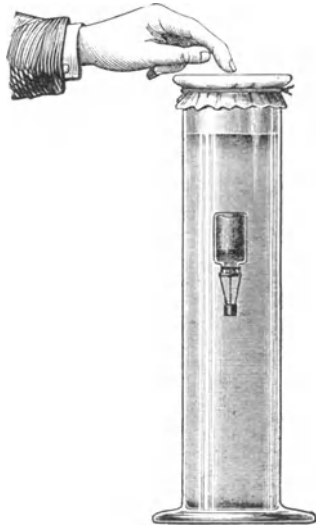


Fig. 36. Kartesianischer Taucher.

Merkwürdig ist es jedenfalls, daß es unmöglich erscheint, die Figur durch eine ganz bestimmte Stärke des Druckes in der Mitte des Glases schwebend zu erhalten. Alle Mühe ist hier umsonst. Es ist bekannt, daß jeder Körper in bezug auf seine Größe ein ganz bestimmtes, ihm allein in der Welt zukommendes Gewicht besitzt. Man hat dieses Gewicht das eigentümliche oder „spezifische“ des Körpers genannt (siehe dieses). So hat auch das Wasser ein ganz bestimmtes Gewicht, und jeder Körper, mag er sonst heißen wie er will, ist entweder schwerer oder leichter als das Wasser, das er verdrängt, er sinkt in ihm unter oder steigt. Denken kann man sich freilich einen Körper, der genau dasselbe spezifische Gewicht hat wie das Wasser, herstellen kann man ihn aber nicht, auch nicht mit den allerfeinsten Mitteln. So befindet sich denn auch unser Taucher

entweder an der Oberfläche, oder er sinkt, und dann geht er — vorausgesetzt, daß sich der Druck inzwischen nicht ändert — bis auf den Grund.

Man hat es trotzdem an Versuchen in dieser Richtung nicht fehlen lassen und den drückenden Finger durch eine feine Schraube — eine sogenannte Mikrometerschraube — ersetzt, deren Spitze sich bei einer ganzen Umdrehung nur um 1 mm vorwärtschob. Da der Schraubenkopf eine große Scheibe besaß, die an ihrem Rande einem feststehenden Zeiger gegenüber eine Teilung in 1000 Teile aufwies, von denen man noch Zehntel ablesen konnte, so war man imstande, noch eine zehntausendstel Umdrehung der Schraube und mithin ein Vorrücken der Schraubenspitze um ein zehntausendstel Millimeter auszuführen und nachzuweisen. Und doch genügte diese für unser Auge völlig unmerkliche Veränderung, um den Taucher, der sich vorher noch an der Oberfläche befand, zum Herabsteigen bis auf den Grund zu veranlassen.

Ganz anders aber würden die Verhältnisse liegen, wenn das Wasser wie die Luft in praktisch merkbarer Weise zusammendrückbar wäre. Je tiefer wir in das Wasser hinabsteigen, desto größer treffen wir ohne Zweifel den Druck an, der hervorgerufen wird durch das Gewicht der überlagernden Wassermassen, gerade so wie wir den Luftdruck immer größer finden, wenn wir von den hohen Bergen zum Tal herabsteigen (vgl. S. 56). Aber die Luft wird unter ihrer eigenen Last auch zusammengedrückt und ist daher am Boden spezifisch dichter und auch schwerer als in der Höhe, und somit kann man sich denn ohne weiteres vorstellen, daß ein Körper, der schwerer ist als die Höhenluft, aber leichter als die Luft am Erdboden, in der Mitte irgendwo eine Luftschicht antrifft, in der er schwebt, weil er gerade ebenso schwer ist wie jene.

Das Wasser jedoch ist so gut wie nicht zusammendrückbar, und daher ist denn auch 1 ccm Wasser auf dem Meeresgrunde trotz des ungeheuren auf ihm lastenden Druckes nicht wesentlich dichter und schwerer als 1 ccm an der Oberfläche. Das lehrt auch unser Experiment mit dem kartesianischen Taucher.

Übrigens muß man auch berücksichtigen, daß die wachsende überlagernde Wasserfülle die Luft im sinkenden Taucher mehr und mehr zusammendrückt und daß der Taucher schon aus diesem Grunde bis auf den Boden gehen muß, wenn er einmal zum Sinken gekommen ist.

Künstliche Bluteigel, sogenannte Schröpfköpfe, beruhen auf einer Eigenschaft der Luft, die in den Lehrbüchern der Physik nicht in dem Kapitel von der Mechanik, sondern in dem von der Wärme besprochen zu werden pflegt, nämlich darauf, daß die Luft, wie beiläufig alle Gase und fast alle Flüssigkeiten und festen Körper, sich bei ihrer Erwärmung ausdehnt und einen größeren Raum einnimmt als vorher. Ihr spezifisches Gewicht wird dadurch geringer, denn wenn man durch Erwärmung 1 cbm Luft auf 2 cbm ausdehnt, so kann zweifellos 1 cbm von dieser ausgedehnten Luft nicht mehr so viel wiegen, wie vorher von der dichteren und kälteren.

Auf dieser Ausdehnung nun beruht folgende kleine physikalische Spielerei. Es handelt sich darum, eine Münze aus einem Schälchen mit Wasser zu holen, ohne sich die Finger zu benehen. Die Lösung dieser Aufgabe läuft natürlich auf einen Scherz hinaus. Zunächst sorge man dafür, daß die Münze nicht gerade auf den tiefsten Punkt der Schüssel zu liegen kommt und verfähre dann folgendermaßen: Ein Gefäß mit etwas enger Mündung, sagen wir eine Wasserflasche, wird über einem Herd oder einer Flamme so stark erhitzt, daß man sie gerade noch berühren kann und darauf umgekehrt mit der Mündung in die Schüssel mit Wasser gehalten, und zwar auf die tiefste Stelle.

Die Luft in der Flasche war durch die Wärme stark ausgedehnt und zum Teil aus der Flasche vertrieben. Kühlt sich nun die Luft ab, so nimmt sie einen kleineren Raum ein und der Luftdruck von außen treibt das Wasser in die Flasche hinein. Die Schüssel entleert sich und man kann dann allerdings die Münze trockenen Fingers aus ihr entfernen.

Bluteigel sich ansetzen zu lassen, die dazu bestimmt sind, dem Patienten auf Verordnung des Arztes überflüssiges Blut abzusaugen, ist nicht jedermanns Sache. Künstliche Bluteigel tun dieselben Dienste, sind weit appetitlicher und nichts anderes als kleine erwärmte Fläschchen, die nacheinander fest auf eine vorher mit einer kleinen Stichwunde versehene Hautstelle aufgesetzt werden. Indem die Luft erkaltet und sich zusammenzieht, saugt sie das Blut nach.

Ein ganz einfacher Zimmerspringbrunnen, der ohne Pumpwerk und Vorrichtung nach Art des Heronsbrunnens seine Wasser spielen läßt, kann leicht auf folgende Art hergestellt werden: Ein Gefäß, das groß genug ist, um einige Liter Wasser zu fassen, wird

genügend hoch, also etwa auf dem Schrank oder dem Ofen aufgestellt und erhält eine über seinen Rand gelegte Ω -förmig umgebogene Glasröhre, also einen Heber, dessen einer Schenkel bis auf den Grund des Gefäßes reicht. Der andere Schenkel wird durch einen aufgesteckten Gummischlauch bis zu derjenigen Stelle des Zimmers verlängert, wo man die Fontäne springen lassen will. Dort erhält er — aufwärts gerichtet — eine Glasspitze. Ist das Wasser einmal angesaugt, so spritzt es in einem Strahle aus, dessen Stärke sich nach der Ausflußöffnung und dessen Höhe sich nach dem Standort des Wassergefäßes richtet. Natürlich muß man für einen geeigneten Wasserabfluß sorgen und auch dafür, den Springbrunnen absperrern zu können, was ganz gut durch eine auf den Schlauch gedrückte Draht- oder Wäscheklammer geschehen kann. Wenn wir dafür sorgen, daß das Wassergefäß wieder gefüllt wird, ehe es ganz ausgelaufen ist, so brauchen wir den Heber nicht wieder anzusaugen.

Höher als das Wasser in dem Gefäß sich befindet, kann der Strahl nicht springen. Aus besonderen Gründen erreicht er diese Höhe nicht einmal. Und doch gibt es eine Ausnahme — freilich eine nur scheinbare. Setzt man an den langen Heberschenkel unten einen Hahn und ordnet das Springröhrchen *S* seitwärts nach oben gerichtet an (Fig. 37, A), so hat man alle Vorkehrungen für den Versuch getroffen. Man öffnet den Hahn und das Wasser schießt in breitem Strahl aus dem Rohr hervor. Wird der Hahn dann plötzlich geschlossen, so erhält das in seinem heftigen Laufe aufgehaltene Wasser einen Stoß, und vermöge dieses Stoßes sehen wir aus dem Springröhrchen auf einen Augenblick einen Strahl hervorschießen, der höher steigt als das Wassergefäß. Dann geht er sofort in den ruhig springenden tieferen Strahl über, und wir müssen den Hahn von neuem öffnen und Wasser herauslassen, um den Versuch zu wiederholen. Es wird mithin nicht alles in dem Gefäß befindliche Wasser bis zu der außergewöhnlichen Höhe gehoben, sondern nur ein ganz geringer Teil durch Ausnutzung der Stoßwirkung des Wassers, der wir hier zum erstenmal begegnen.

*** Der Stoßheber oder hydraulische Widder.** Die im vorigen Paragraphen beschriebene Stoßerscheinung hat man dazu benutzt, um Wasser auf größere als Quellenhöhe ohne Pumpwerk zu heben, was allemal dann angängig ist, wenn Wasser von der Natur

kostenlos und so reichlich geliefert wird, daß es auf einen Verlust nicht ankommt. Am besten geht unser Versuch im vorigen Abschnitt, wenn man abwechselnd Ausflußhahn und Springöffnung verschließt. Beides erreicht man bei den „Stoßheber“ genannten Maschinen durch das Spiel von Ventilen.

Es soll nun ein mit verhältnismäßig einfachen Mitteln herzustellender Stoßheber zum Betriebe eines kleinen Springbrunnens

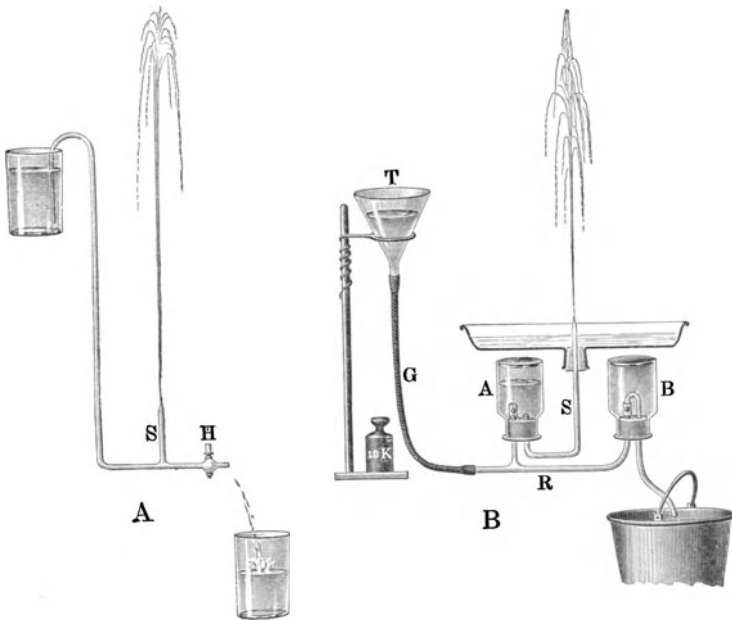


Fig. 37. Der hydraulische Widder.

beschrieben werden, wir wollen aber unseren jungen Lesern nicht anraten, viel Zeit mit der Herstellung einer solchen Vorrichtung zu verlieren, da wir schließlich wichtigeres zu tun haben.

Die von einem erhöht aufgestellten Wassergefäße *T* (Fig. 37, B) herabströmende Wassermenge verteilt sich in die mit dem Stopfen nach unten gefehrten Flaschen *A* und *B*. Flasche *A* dient als Windfessel, *B* ist als eine erweiterte Stelle der Leitung anzusehen. Man sieht, daß durch sie das Wasser mittels Krümmrohres in den Eimer weiterfließen kann, falls nicht eine durch die Wucht der Wasserströmung

emporgeschnellte Kugel den Ausweg verschließt. Dieses Kugelventil ersetzt den Absperrhahn. Erfolgt die Absperrung, so wird durch die Kraft des Rückstoßes das Kugelventil in *A* gehoben und es tritt Wasser in den Windkessel. Sobald der Stoß vorbei ist, fallen beide Kugeln wieder herab, der Ausfluß wird frei und das Spiel wiederholt sich. Auch hier zeigt sich dieselbe Erscheinung, es fließt der größte Teil des Wassers in den Eimer ab und ein geringer Teil wird emporgeschleudert, dieser allerdings höher, als das Wassergefäß sich befindet. Der Windkessel gleicht die einzelnen Stöße zu einem zusammenhängenden Strahl aus, der freilich in Übereinstimmung mit der geringen zur Verfügung stehenden Wassermenge nur sehr schwach sein darf. Man hat den Anprall des immer von neuem abgesperrten Wasserstromes mit dem Stoß eines beharrlichen Widder verglichen und der ganzen Vorrichtung den recht bezeichnenden Namen „hydraulischer Widder“ beigelegt. Hydor ist ein griechisches Wort und bedeutet Wasser.

*** Der Rückstoß.** Der Druck des Wassers in einem Gefäß hängt ab von der Höhe der Wassersäule. Er äußert sich aber nicht allein gegen den Boden des Gefäßes, sondern auch gegen die Seiten-

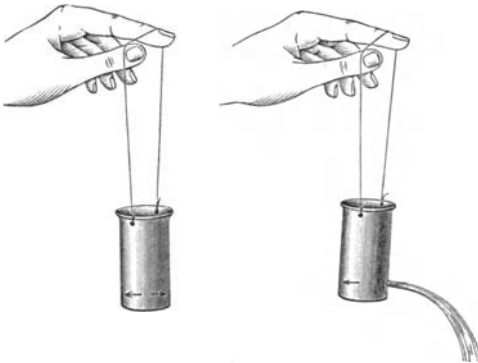


Fig. 38. Der Rückstoß.

wände. Betrachten wir das Blechgefäß, das mit Wasser gefüllt von der Hand des Experimentators an zwei Schnüren herabhängt (Fig. 38). Das Wasser drückt sowohl auf den Boden als auf die Seitenwände und von den Seitendruck sieht man — durch Pfeile angedeutet —, daß sie entgegengesetzt ge-

richtet sind und sich in ihrer Wirkung auf das ganze Gefäß aufheben. Die Verhältnisse ändern sich aber sofort, sobald man den einen der Drucke durch Einstoßen eines Loches in die Wand beseitigt, so daß das Wasser herausströmt. Der übrig bleibende Druck treibt dann das

Gefäß nach der anderen Seite hinüber, wodurch es schief an den Schnüren hängt und damit zugleich das Vorhandensein des Wasserdruckes beweist.

Man hat diesen Rückstoß mit Erfolg zum Treiben von Wasserrädern benutzt, die nur unter dem einen Uebelstande leiden, daß es schwer ist, einem sich drehenden Rade in der erforderlichlich sicheren Weise Wasser unter hohem Druck zuzuführen.

*** Ein horizontal laufendes Rückstoßrad** können wir mit geringer Mühe anfertigen, sofern wir darauf verzichten, ihm eine Achse zu geben, von der man durch Nillenscheibe und Schnurlauf Arbeit an andere Maschinchen übertragen kann.

Fig. 39 veranschaulicht ein Rückstoßrad oder richtiger eine Rückstoß-turbine. Sie besteht aus einer etwa 20 cm hohen Glasröhre — je höher übrigens, desto besser — von beiläufig etwa 3 cm Öffnung. Durch einen Stopfen *K* am unteren Ende werden zwei Glasröhrchen *G* geführt und entgegengesetzt rechtwinklig an ihren Enden umgebogen. Die Austrittsöffnung kann etwa 1 mm betragen. Das große Glasrohr wird, wie es die Abbildung zeigt, an einer Schnur aufgehängt.

Wird die vertikale Glasröhre mit Wasser gefüllt, so tritt dieses an den Röhrchen seitlich aus und treibt die Vorrichtung nach der entgegengesetzten Richtung herum. Es empfiehlt sich, die Schnur in der Hand zu halten und den Versuch über der Badewanne anzustellen.

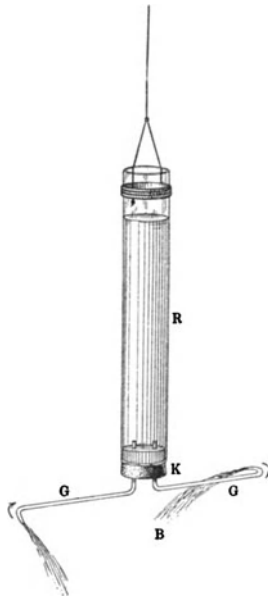


Fig. 39. Das Rückstoßrad.

Ähnliche Rückstoßturbinen kann man häufig bei Springbrunnen-auffäßen sehen, deren anmutig zu den verschiedensten Figuren verschlungene Wasserstrahlen einen reizenden Anblick gewähren. Selbstverständlich läuft eine derartige Turbine auch unter Dampfdruck, und der schon oft genannte Heron von Alexandrien soll bereits nach dem Prinzip des Rückstoßes ein Dampfrad konstruiert haben. Sei dem

nun wie ihm wolle, zweifellos ist eine solche Vorrichtung die einfachste Dampfmaschine, die man sich denken kann, wenn sie auch, in großen ausgeführt, in bezug auf Wirtschaftlichkeit nicht den Anforderungen entspricht, die man an eine gute Dampfmaschine stellen muß.

Eine Dampfmaschine der genannten Art kann für wenig Geld hergestellt werden. Ein nicht zu enges Messingrohr von vielleicht 5 cm Länge (Fig. 40) erhält beiderseits einen gut schließenden Korkstopfen, der genau in der Mitte durchbohrt sein muß, um ein zweimal rechtwinklig gebogenes und vorn zu einer Spitze ausgezogenes Glasröhrchen aufnehmen zu können. Jeder Kork erhält ein solches Röhrchen.

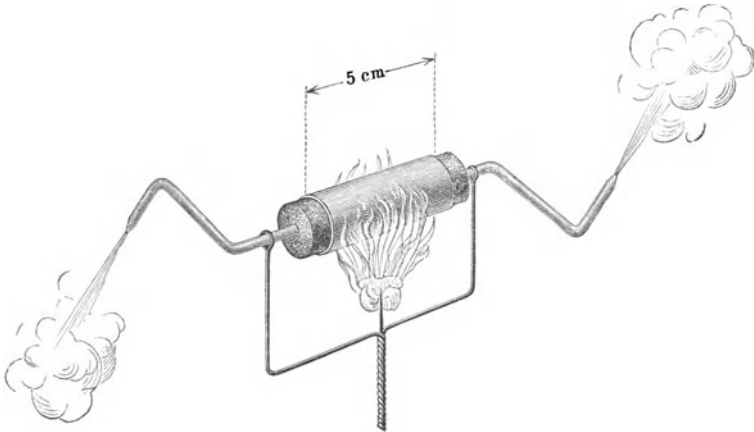


Fig. 40. Eine billige Dampfmaschine (Dampfturbine).

Wie sie gebogen und angeordnet werden müssen, zeigt die Abbildung. Da der Messingzylinder sich um seine Achse drehen soll, von der die Glasröhrchen ein Stück bilden, so werden diese von den Ösen zweier Messing- oder Eisendrähte umfaßt, die unter dem Zylinder zu einem Handgriff zusammengebogen sind. Damit ist die kleine Dampfmaschine fertig. Soll sie aber auch gut und leicht arbeiten, so ist auf die Herstellung der Lagerösen und die Anbringung der Glasröhrchen genau in der Richtung der Zylinderachse alle Sorgfalt zu verwenden. Dann kann der kleine Kessel so weit mit Wasser gefüllt werden, daß in liegender Stellung nichts aus den Röhrchen herausfließt. Um dabei nicht allemal die Korken herausnehmen zu müssen, kann man das Wasser auch mit dem Munde zu einem der Röhrchen hereinjaugen.

Etwas mit Spiritus getränkte Watte unter dem Zylinder vertritt die Stelle der Kesselfeuerung, und sobald der Dampf in heftigen Strahlen aus den Röhrchen tritt, beginnt sich die Maschine mit samt ihrem Kessel zu drehen. Werden die Korke nicht von der Flamme berührt, so laufen sie keine Gefahr, zu verbrennen, solange noch Wasser im Kessel vorhanden ist.

Ein wohlfeiler Dampfer, der sehr einfach ist, da seine Maschine keine sich drehenden Teile enthält, kann nach demselben Prinzip leicht angefertigt werden (Fig. 41). Irgend ein kleines, etwa 20 bis 25 cm langes Schiffchen aus Blech ohne alle weitere Ausschmückung läßt sich in einer Spielwarenhandlung aufstreifen. Das Material zum Kessel liefert eine niedrige Einmachebüchse oder eine mit ihrem

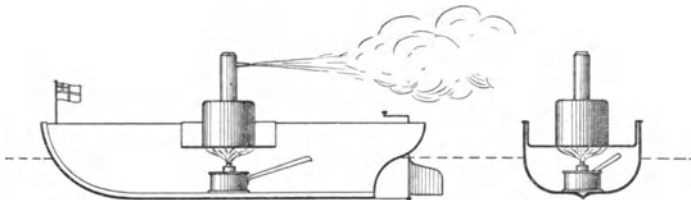


Fig. 41. Ein wohlfeiler Dampfer.

Deckel verlötete Blechschachtel, deren Durchmesser jedoch die Breite des Schiffchens nicht überschreiten darf. Wie es die Querschnittszeichnung erläutert, wird der Kessel in das Schiff mit Hilfe eines U-förmig geknickten Blechstreifens, der sich federnd an den Bordwänden festklemmt, sicher eingebaut, und zwar so, daß er jederzeit herausgenommen werden kann. Der Blechstreifen kann etwas breiter als der Kessel und mit ihm durch Lötung verbunden sein, obgleich das nicht unbedingt nötig ist. Der Schornstein des Kessels dient jedoch nicht dazu, die Gase der Heizung abzuführen, sondern ist ein Dampfrohr, das mit dem Kessel durch eine Öffnung in Verbindung steht. Durch den Schornstein erfolgt auch die Füllung des Kessels, worauf er durch einen feststehenden Kork verschlossen wird. Seitlich am Schornstein, und zwar nach dem Steuer zu, erhält der Schornstein ein kurzes, spitz zulaufendes Ansaßröhrchen, dessen Öffnung 1 bis 2 mm Durchmesser haben kann. Durch dieses entweicht in einem kräftigen Strahle der Dampf und treibt durch Rückstoß das Schiffchen vorwärts. Der

Kessel sollte nicht mehr als bis zu zwei Drittel seiner Höhe mit Wasser gefüllt werden; die Heizung erfolgt durch ein Spirituslämpchen.

Legen unsere Leser auf Schönheit des Aussehens keinen Wert, so können sie den Kessel auch durch ein kleines, recht dünnwandiges Glasfläschchen mit Stopfen und nach hinten gebogenem Glasröhrchen ersetzen.

Das geschäftige Prusten und Fauchen des niedlichen Dampferchens macht einen possierlichen Eindruck, und seine Geschwindigkeit ist nicht so gering, als man meinen sollte. Ein vom Verfasser des Buches gebauter Dampfer dieser Art legt in 15 Sekunden eine Strecke zurück, die seiner eigenen Länge entspricht. Das würde im Verhältnis für einen Dzeandampfer von 150 m Länge 10 m auf die Sekunde oder rund 20 Knoten in der Stunde ausmachen, eine Geschwindigkeit, die von den meisten Dampfern noch nicht einmal erreicht wird. Das Prinzip unseres Schiffchens ist früher auch wirklich bei großen Dampfern versucht worden, indem man Wasser durch Dampfpumpen ansaugen und am Heck des Schiffes durch Röhren austreiben ließ, aber ohne sonderlichen Erfolg. Vielleicht überlegen sich unsere Leser einmal, warum unser Dampfstrahl ohne Wirkung ist, wenn wir ihn statt in Luft ins Wasser leiten.

Ein ganz einfacher Versuch über den Rückstoß. Wer sich die Zeit nicht nehmen will, die Dampfturbine und den kleinen Dampfer zu bauen, oder wenn, wie vielleicht unseren jüngsten Lesern, das

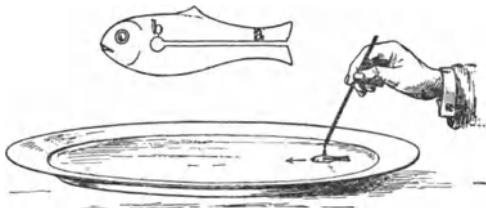


Fig. 42. Der schwimmende Papierfisch.

Material und die Geschicklichkeit dazu mangelt, der kann einen Rückstoßversuch anstellen, bei dem es gar keiner besonderen Apparate bedarf. Er schneidet aus Schreibpapier einen Fisch nach Art und Größe, wie ihn Fig. 42 zeigt, und bringt in der Längsachse einen Kanal *a* von etwa 1 mm Breite und, daran anschließend, einen kleinen kreisrunden

Ausschnitt *b* an. Dann legt er den kleinen Fisch vorsichtig auf die Wasserfläche in einer langgestreckten Bratenschüssel und wartet, bis sich das Papier, das sich anfangs rollte, flach gelegt hat. Dann leitet er den Versuch ein, indem er mitten auf den Ausschnitt bei *b* ein Tröpfchen Öl fallen läßt. Jedes Öl genügt, sogar das sonst nicht eben beliebte Rizinusöl. Sofort setzt sich der Fisch in Bewegung und schießt quer über die Schüssel hin. Das Öl hat nämlich das Bestreben, sich auf dem Wasser schnell auszubreiten, findet bei *a* einen Ausweg und treibt den Fisch durch Rückstoß vorwärts.

Zu jedem neuen Versuch muß ein neuer Fisch genommen werden und auch neues von Öl völlig freies Wasser.

Zu bestimmen, welche von zwei Flüssigkeiten die schwerere ist, ohne sie auf eine Wage zu setzen. — „Das ist doch ganz unmöglich“, werden unsere Leser ausrufen. Eine kleine Überlegung wird uns vom Gegenteil überzeugen. Freilich ist unsere Behauptung zunächst nur unter einer Voraussetzung erfüllbar, daß nämlich gleich viel von beiden Flüssigkeiten vorhanden sei.

Folgendes mag vorausgeschickt werden. Eisen geht im Wasser unter, weil es, wie man sagt, schwerer ist als Wasser. Setzt man nun auf die eine Schale einer Wage ein eisernes Pfundstück, auf die andere 1 Liter Wasser, so wird man finden, daß just das Umgekehrte der Fall ist. Die Wagenschale mit dem Eisen geht in die Höhe. Danach scheint Eisen leichter zu sein, aber bei aufmerkamer Betrachtung des Versuches müssen wir doch auch sagen, daß wir ungerecht gemessen haben. Wir können unmöglich wenig Eisen mit viel Wasser vergleichen wollen, sondern müssen von beiden das gleiche Quantum nehmen, also etwa von jedem einen Kubikzentimeter. Dann würden wir finden, daß Eisen etwa siebenmal so schwer ist als Wasser, und daß diese Zahl 7 eigentümlich ist für das Eisen in bezug auf Wasser, überall, wo wir es in reinem Zustande auf der Erde vorfinden. Man nennt sie das „spezifische Gewicht“ des Eisens. Und wenn wir hören, Platin habe das spezifische Gewicht 21, Gold 19, Kupfer 9 usw., so erfahren wir eben, um wievielmal diese Körper schwerer sind als das gleiche Quantum Wasser. — Machen wir nun einmal einen Versuch, und verkünden wir vorher unseren Freunden, wir wollten das Gewicht eines Körpers, sagen wir eines großen Hausschlüssels, bestimmen, von dem wir wissen, daß er aus massivem Eisenguß ist, ohne ihn auf eine Wage zu setzen. Wir

stellen dazu ein Glas, hoch und breit genug, um den Schlüssel ganz aufnehmen zu können, in eine Schüssel und füllen das Glas mit Wasser so weit, daß die geringste Kleinigkeit mehr es zum Überlaufen bringen würde. Dann tauchen wir behutsam den Schlüssel an einem Faden ganz ein. Natürlich fließt das Wasser über den Rand und in die Schüssel, so viel als der Schlüssel verdrängt hat. Aus dieser Wassermenge könnte man sich einen Schlüssel von genau denselben Abmessungen hergestellt denken, da sie ja vorher seinen Platz eingenommen hat. Die Schüssel mit dem Wasser bringen wir auf eine Wage und wiegen es. Natürlich müssen wir vorher wissen, welches Gewicht die Schüssel an und für sich hat, und dieses dann in Abzug bringen. Gesezt, wir hätten das Gewicht der übergeflossenen Wassermenge zu 20 g bestimmt, so können wir auch sofort angeben, welches Gewicht der Schlüssel selbst hat. Eisen hat das spezifische Gewicht 7, d. h. es wiegt siebenmal so viel als ein gleiches Quantum Wasser, mithin unser Schlüssel $7 \cdot 20 \text{ g} = 140 \text{ g}$. Wir legen nun den Schlüssel auf eine Wage und siehe da! es stimmt so genau, als wir es bei dem doch immerhin rohen Versuch irgend erwarten können. Wäre der Schlüssel durch und durch aus Kupfer, so würde er $9 \cdot 20 = 180 \text{ g}$ wiegen und aus Gold $19 \cdot 20 = 380 \text{ g}$.

Der berühmte Archimedische Satz sagt aus, daß ein jeder Körper im Wasser um so viel leichter wird, als das Wasser wiegt, das er verdrängt. Ist er an und für sich schwerer als das verdrängte Wasser (wie das Eisen), so geht er unter, ist er leichter (wie das Holz), so steigt er auf, d. h. er schwimmt. Der menschliche Körper schwebt annähernd im Wasser, wenn er ganz untergetaucht ist, was nichts anderes sagen will, als daß er fast dasselbe spezifische Gewicht hat wie Wasser, und daß ein Mensch aus Wasser gebildet etwa ebenso viel wiegen würde wie ein Mensch aus Fleisch und Blut.

Nun zu unserem Hauptversuch. Wir lösen in etwas mehr als einem Liter Wasser einige Hände voll Salz auf und gießen dann genau ein Liter dieser Lösung in ein Einmacheglas. Vorher haben wir ein zweites Glas durch Einstreuen von Schrotkörner oder Ankleben von Münzen auf der Wage genau so schwer gemacht als das erste. Dieses zweite Glas wird mit einem Liter reinem Brunnen- oder Leitungswasser angefüllt. Es kommt alles darauf an, die Maße genau zu nehmen. Haben sich die Flüssigkeiten geklärt, so sind sie voneinander durch den Anblick nicht mehr zu unterscheiden, und keiner von unseren

Kameraden würde sich vermessen, sagen zu wollen, welche von beiden die schwerere ist. Aber während sie sich einen Augenblick abwenden, haben wir die Aufgabe gelöst — und zwar ohne Wage. Wir haben ein frisches Ei aus der Tasche gezogen und es vorsichtig in die eine Flüssigkeit gebracht. Es schwamm. Dann brachten wir es in die andere Flüssigkeit. Da ging es unter, aber nicht bis auf den Boden, da wir vorsichtshalber, um es schnell wieder herausholen zu können, einen Zwirnsfaden mit wenig Siegelack an ihm befestigt hatten. Eine kurze Überlegung sagte uns schnell folgendes: Das Ei hat immer dasselbe Gewicht und verliert in den Flüssigkeiten von ihm so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt. Da es in dem einen Fall schwimmt, im anderen Fall untergeht, so muß irgend ein Quantum, z. B. ein Liter, von der ersten Flüssigkeit schwerer sein, als das gleiche Quantum von der anderen. Die Probe auf der Wage wird gemacht und wirklich sinkt das von uns bezeichnete schwerere Gefäß herab. Es ist das mit Salzwasser gefüllte.

Mithin hat Salzwasser ein höheres spezifisches Gewicht als Süßwasser, eine Tatsache, die allen Seefahrern wohl bekannt ist, deren Schiffe auf den Flüssen einen größeren Tiefgang haben als auf dem Meere.

Ein Ei inmitten einer Flüssigkeit schwebend zu erhalten. Wir versprechen zu viel! Soll ein Körper in einer Flüssigkeit gerade schweben, so muß er ganz genau dasselbe spezifische Gewicht haben. Es gibt aber, wie wir schon gelegentlich des Versuches mit dem kartesianischen Taucher (S. 92) andeuteten, auf der ganzen Welt nicht zwei Körper, die genau dasselbe spezifische Gewicht haben. Und in Wahrheit handelt es sich bei unserem Versuch denn auch nicht um eine, sondern um zwei verschiedene Flüssigkeiten.

Wenn Salzwasser, wie wir gesehen haben, schwerer ist als gewöhnliches Wasser, so muß es im Süßwasser untersinken. Diese Erscheinung machen wir uns zu nutze, indem wir einen hohen Standzylinder zur Hälfte mit sehr kräftigem Salzwasser und zur

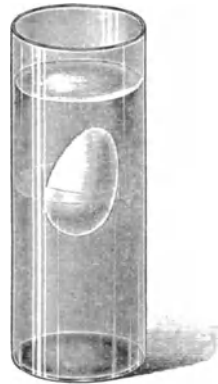


Fig. 43.
Ein schwebendes Ei.

anderen Hälfte ganz langsam und vorsichtig, es an der Wandung herunterlaufen lassend, mit gewöhnlichem Wasser füllen. Es bildet sich zwischen beiden Flüssigkeiten eine Grenze aus, die für das Auge kaum wahrnehmbar ist. Aber ein Ei, das wir vorsichtig in den Zylinder gleiten lassen, sinkt im Wasser unter, es schwimmt auf der Salzlösung und bleibt, nachdem es einigemal etwas auf und nieder gestiegen ist, mitten in der Flüssigkeit schweben. Ein ganz ungewohnter und daher wunderbarer Anblick für jeden, der die Erklärung nicht kennt (Fig. 43).

Eine schwebende Kugel aus Öl. Nicht minder wunderbar, aber zu einem Teile auf derselben Erscheinung beruhend, ist der folgende Versuch. Gießt man Öl in Wasser, so schwimmt es auf ihm, sich zu einer Schicht ausbreitend. In Spiritus sinkt es dagegen zu Boden und bildet dort ebenfalls eine Schicht. Offenbar ist es leichter als Wasser und schwerer als Alkohol. Füllt man nun ein Glasgefäß zur Hälfte mit Wasser und zur anderen Hälfte ganz behutsam mit Alkohol, so muß sich eingegossenes Öl ganz so benehmen wie das Ei im vorigen Versuch und in der Mitte des Gefäßes schweben bleiben. Man sollte erwarten, daß es sich dort zu einer Schicht ausbreite. Aber nein, es ballt sich zur Kugel, so rund und vollkommen, daß man seine helle Freude daran haben kann (Fig. 44). Das Öl steigt weder noch fällt es, es ist dem Einfluß der Schwerkraft entrückt, und



Fig. 44.
Schwebender
Öltropfen.

nun können die ungezählten kleinen Anziehungskräfte, die in jedem Körper wirken, und die man, da sie zwischen den kleinsten Bestandteilen der Körper, den Molekülen, tätig sind, Molekularkräfte genannt hat, — nun können diese Kräfte frei ihr Spiel entfalten. Sie sind es, die die Teilchen unseres Oles zu einer Kugel zusammenstellen. Und wie im kleinen so im großen. Ähnliche Kräfte haben auch unserer Erde, als sie noch flüssig war und jede Form annehmen konnte, ihre Kugelgestalt verliehen.

Molekularkräfte sind es auch, die eine Seifenblase zur Kugel formen.

Seifenblasen. Wer von uns hat nicht schon einmal eine Seifenblase gemacht, in den Wind fliegen lassen und sich über ihr prächtiges Farbenpiel gefreut? Wahrlich, eine Seifenblase ist ein wunderbares

Gebilde, noch weit mehr, als man gemeinhin glaubt, sie ist sogar interessant für den Gelehrten, der an ihr das Walten eben jener kleinsten Kräfte studiert, von denen wir eben sprachen.

Um haltbare und große Seifenblasen herzustellen — nicht bloß so groß wie eine Apfelsine, sondern wie ein Kindskopf —, sind zwei Dinge nötig: eine gute Seifenlösung und eine gute Pfeife. Nicht jede Seife liefert brauchbare Resultate. Am schlechtesten sind die feinen Toilettenseifen. Brauchbar ist grüne, gemeine Waschseife, recht gut die in den Kaufmannsläden erhältliche sogenannte Marseiller Seife. Sie wird geschabt und in weichem (Regen-) Wasser gelöst. Allzu viel zu lösen, hat keinen Zweck, wohl aber nützt ein kleiner Zusatz von reinem Glycerin, der die Haltbarkeit der Seifenblasen wesentlich erhöht. Von solcher Lösung wird etwa ein viertel Liter in einer Flasche gut verkorkt aufbewahrt. Sie hält sich einige Tage.

Als Blasevorrichtung tun die holländischen Tonpfeifen (von der kurzen Sorte) recht gute Dienste, ebenso aber auch nicht zu enge Glasröhren, die vorn etwas erweitert sind und deren Rand rundgeschmolzen ist (siehe S. 14).

Der Rand der Pfeife muß mit Seifenlösung gut angefeuchtet sein, wenn anders die Blasen nicht sofort springen sollen. Ebenso zerstört bis zur Mündung vorgedrungener Speichel die Seifenblase sofort. Man tut daher gut, mehrere Pfeifen vorrätig zu halten.

Die Seifenblase als Luftballon. Von der Seifenlösung wird nur allemal so viel in ein Schälchen gegossen, als man für die Versuche nötig zu haben glaubt. Die erste Seifenblase, die man bläst, trägt fast stets einen Seifenwassertropfen und ist für unseren besonderen Zweck unbrauchbar. Man bläst daher die erste Blase ganz klein, schüttelt sie ab und bläst sofort wieder in die Pfeife, erst gelinde, dann immer kräftiger. Es tritt eine Blase hervor, die ganz wohl 20 cm und mehr im Durchmesser erreichen kann. Eine leichte Handbewegung löst sie von der Pfeife und man bemerkt an der Blase — falls sie groß genug geworden ist — das Bestreben, für kurze Zeit in der Luft aufzusteigen. Darauf fällt sie, immerfort auf das prächtigste ihre Farben wechselnd, bis sie am Fußboden zerschellt. Die Luft kam aus unserer heißen Lunge und die Seifenblase war offenbar eine Zeitlang nichts anderes als ein mit warmer Luft gefüllter Luftballon, eine Montgolfière (vgl. S. 52).

Während dieser Versuch viel Geduld sowie sehr ruhige Luft voraussetzt und verhältnismäßig selten zur Zufriedenheit abläuft, gelingt ein anderer recht leicht. Seifenblasen steigen, auch wenn sie sehr klein sind, stets mit Leuchtgasfüllung. Um das Experiment anzustellen, wird die Tonpfeife durch einen Schlauch mit einem Gasbahn verbunden, eingetaucht und sogleich bei allmählichem Öffnen des Hahnes mit der Mündung nach oben gekehrt. Ist die Blase fast faustgroß, so schließt man den Gasbahn und schüttelt sie ab. Sie steigt dann sehr schnell, meist unter eigentümlich pendelartigen Bewegungen zur Decke auf. Ist man schnell genug mit einem brennenden Zibibus hinterher, so kann man sie in der Luft anzünden.

Die Steigkraft derart mit Leuchtgas gefüllter Blasen ist bei einiger Größe so bedeutend, daß sie noch etwas Last mit empor zu nehmen vermögen. Freilich darf sie nicht groß sein und die Befestigungsvorrichtung muß möglichst leicht gehalten werden. Sie besteht (Fig. 45, A) aus einem 1 bis 1,5 cm im Durchmesser haltenden Ring von ganz dünnem Kupfer-, Messing- oder Aluminiumdraht, von dem zwei gegenüberliegende Punkte durch einen womöglich noch dünneren Drahtbügel verbunden sind. Ist der Draht ring vorher gut mit Seifenwasser angefeuchtet, so kann man ihn neben dem (aufwärts gerichteten) Pfeifenkopf behutsam an die Blase setzen, wo er haftet, ohne die Seifenhaut zu zerstören. Ein kleines Streifen Papier oder ein winziges Männchen aus demselben Material kann, auf dem Bügel reitend, als Passagier mitgehen, dem allerdings das grausame Schicksal bevorsteht, mitsamt seiner Gondel aus hoher Luft herabzustürzen, sobald der Ballon zerplatzt.

Um eine Seifenblase auch ohne Gasfüllung schwebend zu erhalten, können wir wie folgt verfahren. Auf den Boden eines großen Weißbierglases (Fig. 45, B) wird ein kleines Schälchen gestellt und mit Marmorbruchstücken gefüllt. Marmorabfall erhält man in jedem Steinmeggeschäft, das sich etwa mit der Anfertigung von Friedhofdenkmälern abgibt, oder auch in Handlungen für chemischen Bedarf, fast umsonst. Dann gießt man in ein kleines Gläschen zu zehn Teilen Wasser einen Teil Salzsäure — nicht umgekehrt — und schüttet die Mischung über die Marmorstückchen. Sofort beginnt ein ziemlich starkes Kochen und Aufbrausen. Man vermeidet nun, das Weißbierglas dem Luftzug auszusetzen oder gar hineinzublasen, sondern läßt es ganz ruhig stehen, bis das Brausen einigermaßen nachgelassen hat.

Dann ist der Versuch so weit vorbereitet, daß man vorsichtig eine nicht zu kleine Seifenblase in das Weißbierglas fallen lassen kann. Diese Seifenblase benimmt sich nun ganz sonderbar. Sie fällt herab fast bis auf den Boden, fährt aber, ohne ihn berührt zu haben, wieder empor, fällt wieder herab, und bleibt schließlich irgendwo im Glase schweben. So, von keinem Lufthauch berührt, entfaltet sie ihre volle Farbenpracht. Wir beobachten eine bestimmte Stelle und bemerken, daß sie von einem lichtblauen Farbenton in einen grünen, gelben, dann in einen roten und schließlich in einen purpurnen übergeht, um dann mit einem blauen Ton, der jedoch prächtiger und tiefer ist als der erste, die

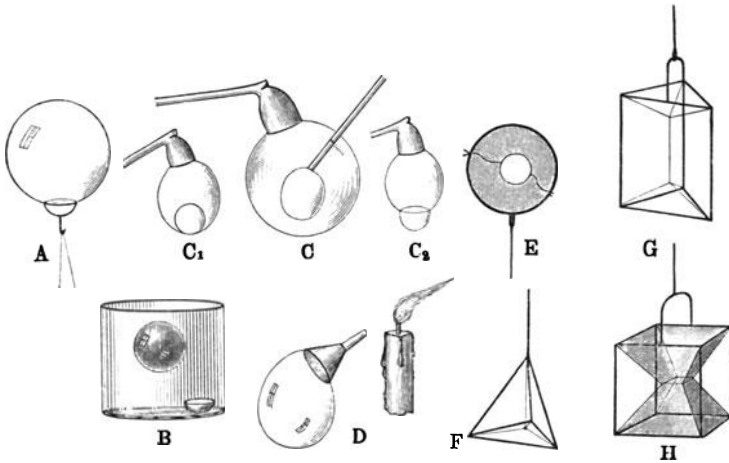


Fig. 45. Allerhand Versuche mit Seifenblasen.

Farbenreihenfolge von neuem wieder zu beginnen. Dabei sinkt die Seifenblase allmählich tiefer herab und zerplatzt meist, ehe sie den Boden erreicht hat.

Und die Erklärung des Vorganges? Unter dem Einfluß der Salzsäure hat sich aus dem Marmor ein Gas entwickelt, das Kohlen- säure genannt wird und unseren Augen entgeht, da es unsichtbar ist wie die Luft*). Aber es ist auch schwerer als die Luft, bleibt am Boden liegen und füllt dann von unten her das Gefäß an, die Luft in dem Maße verdrängend, wie es sich entwickelt. Schließlich hat sich in dem Glase ein unsichtbarer See von Kohlen- säure gebildet, auf dem

*) Vgl. den letzten Abschnitt des Buches unter Kohlen- säure.

die Seifenblase schwimmt, da sie mit Luft gefüllt und leichter ist. Anfangs taucht sie einigemal in den See unter. So zusammenhängend nun eine Seifenblasenhaut erscheint, dicht ist sie doch nicht. Die eindringende Kohlensäure macht sie schwerer und zwingt sie, langsam zum Boden herabzusinken.

Der Versuch ist sehr schön und unterhaltend; man hüte sich aber, den Kopf in das Gefäß zu stecken und von dem Gas einzuatmen. Kohlensäure ist sehr giftig und hat schon manchem Brunnenarbeiter, dem sie in der Tiefe des Schachtes begegnete, den Tod gebracht. Ein in das Glas gehaltenes Streichholz erlischt sofort.

Eine Seifenblase in der anderen. Ein Glasrohr, dessen Oberfläche gut mit Seifenlösung benetzt ist, kann durch die Wandung einer Seifenblase gestoßen werden, ohne diese zu zersprengen. Die Berührung mit einem trockenen Gegenstande jedoch, z. B. mit einer über dem Licht ausgeglühten Nadel, bringt augenblickliche Zerstörung mit sich. Auf ersterer Tatsache beruht die Möglichkeit, Seifenlösung in eine Seifenblase hineinzubringen und dort aufzublasen.

Ein Glasröhrchen von etwa 25 cm Länge und 3 mm Durchmesser, dessen Ränder rundgeschmolzen sind (S. 14), wird in ein Wasserglas mit Seifenlösung gestellt, bis es diese an der eingetauchten Oberfläche gut angenommen hat und darauf durch die Haut einer Seifenblase gestoßen, die zu mäßiger Größe vorher mit der gewöhnlichen Tonpfeife aufgeblasen wurde (Fig. 45, C). Man kann nun durch Blasen in das Röhrchen mit Leichtigkeit eine zweite Seifenblase in der ersten erzeugen und durch ein ruckartiges Zurückziehen des Glasröhrchens von diesem befreien. Sie fällt dann auf den Boden der großen Blase, wo sie liegen bleibt wie der Apfel im Korbe (Fig. 45, C₁). Ein leichter Ruck an der Tonpfeife und die kleine Seifenblase fällt durch die Wandung der großen hindurch, bleibt aber außen als kleine Gondel hängen (Fig. 45, C₂).

Wer sich besonderes Geschick zutraut, mag einmal versuchen, die innere Seifenblase mit Leuchtgas zu füllen. Sie steigt dann in der größeren auf und fliegt mit ihr davon, falls sie von der Tonpfeife durch einen sanften Ruck befreit werden kann.

Die Seifenblase als Blasebalg. Wir blasen eine Seifenblase bis zu mäßiger Größe auf und entfernen dann den Mund von der Pfeife. Sofort beginnt die Blase kleiner und kleiner zu werden, bis

sie, zu einem flachen Häutchen zusammengeschrumpft, in der Pseife wieder verschwindet. Offenbar wirken in ihrer Oberfläche Kräfte mit dem Bestreben, sie so klein als möglich zu machen. Ihnen wird, falls die Pseifenöffnung mit dem Finger geschlossen ist, von der abgeschlossenen Luft gerade die Wage gehalten, sie werden vom Luftdruck überboten, falls Luft in die Pseife eingeblasen wird. Bei offener Pseife drängen sie dann natürlich die in der Blase und Pseife enthaltene Luft wieder heraus, wie man sich leicht durch folgenden Versuch überzeugen kann.

Man bläst eine Seifenblase über der Öffnung eines kleinen Trichters von Glas oder von Metall, was leicht gelingt, wenn man gleich in den Trichter bläst, sobald er aus der Seifenlösung genommen ist. Hat die Blase die Größe eines kleinen Apfels erreicht, so bringt man die Öffnung des Trichters vor ein brennendes Licht (Fig. 45, D) und bemerkt dann sofort, daß die Flamme von einem aus der Mündung dringenden Luftstrom zur Seite geblasen wird. Man sieht auch, wie der Luftstrom immer stärker wird, und muß daraus schließen, daß der Druck der Kräfte in der Seifenhaut mit schwindender Oberfläche wächst.

Figuren aus Seifenhäutchen. Alle Flüssigkeitshäutchen haben das Bestreben, so klein zu werden, als sie unter den gegebenen Umständen nur werden können. Unter dem Einfluß dieses Gesetzes entstehen jene reizenden Figuren, die der blinde Physiker Plateau aus Seifenwasser erzeugte.

Wir sind gewohnt, die Seifenhaut zur Kugel geformt zu sehen, sie läßt sich aber ebenso gut in andere Formen bringen. Dreht man beispielsweise einen 4 cm im Durchmesser haltenden Ring aus Draht zusammen (Fig. 45, E) und taucht ihn an einem Stiel ganz und gar in Seifenlösung, so zeigt er sich mit einer völlig ebenen Seifenhaut überzogen, die, gegen das Licht betrachtet, klar ist wie eine Fensterscheibe. Im auffallenden Licht erscheinen auf ihr, von oben nach unten wandernd, die Regenbogenfarben. Daß auch diese Haut sich durch Spannung verkleinern will, kann auf überraschende Weise gezeigt werden. Ein Seidenfaden, dessen mittleres Stück doppelt ist, wird etwas locker über den Ring gespannt und mit diesem zugleich in die Seifenlösung getaucht. Er bleibt dann in einer schlaffen Linie auf der sich bildenden Seifenhaut liegen. Stößt man jedoch mit einer trockenen Nadel in die mittlere Schlinge hinein und zerstört hier die Haut, so springt diese zu einem Kreis auf, d. h. die unverletzte Seifenhaut zieht

sich so weit zurück und verkleinert sich so weit, als es eben nur möglich ist (Fig. 45, E).

Gibt man den Drahtfiguren ein vielgestaltigeres Aussehen, so sind die entstehenden Seifenhäutchen gezwungen, sich einerseits an den Drähten, andererseits untereinander festzuhalten. Es müssen dann regelmäßige Figuren entstehen, weil die Drahtkörper regelmäßig gebildet sind. Sie erregen durch die Genauigkeit ihres Baues, durch die Schärfe der Kanten und Winkel Staunen und Bewunderung zugleich. Ist der Drahtkörper eine dreiseitige Pyramide (Fig. 45, F), so laufen von jeder der sechs Kanten Seifenhäutchen nach der Mitte hin. Je drei treffen in einer gemeinsamen Kante zusammen. Bei einem Prisma ist die Gliederung noch reicher, da sich die auf der Grundfläche erhebende flache Pyramide oben, hier natürlich mit abwärts gerichteter Spitze, noch einmal wiederholt und das ganze System daher zwei Knotenpunkte aufweist, in denen die Kanten zusammenlaufen (G). Das reizvollste Gebilde liefert ein Würfel, in dessen Mitte ein Quadrat aus Seifenhaut von acht anderen, schräg nach oben und unten laufenden, Häutchen ausgespannt wird (H).

Die Drahtfiguren wählt man zweckmäßig nicht höher als 3 bis 4 cm. Sie können aus irgend einer Drahtsorte angefertigt werden, am besten bearbeitet sich Messingdraht, der mit der Schere in Stücken auf die richtige Länge abgeglichen und mit einem hölzernen Hämmerchen auf ebener Unterlage gerade gerichtet wird. Die Drähtchen müssen mit ihren Enden stumpf aneinandergelötet werden, was einige Übung und Geduld verlangt. Aber es brauchen ja nicht alle Ecken gelötet zu werden. Es läßt sich z. B. das obere und untere Begrenzungsdreieck der Pyramide je aus einem Stück mit Hilfe nur einer Lötstelle anfertigen. Alles überflüssige Lot muß die Teile vorsichtig fortnehmen. Ein kleiner Bügel mit einem Draht als Handhabe wird jedem Gestell angelötet. Man läßt die Modelle einige Minuten in der Seifenlösung stehen, damit sie gut benetzt werden, und hebt sie erst dann vorsichtig heraus, wenn auf der Oberfläche der Lösung alle Schaumbläschen, die durch zu hastiges Eintauchen entstehen, vergangen sind.

Es ist unseren jungen Freunden überlassen, sich so viel Figuren und Formen auszudenken und herzustellen, als sie wollen, immer finden die arbeitenden Naturkräfte eine Lösung für die ihnen gestellte Aufgabe und immer schaffen sie ein Meisterwerk.

Zweiter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Schallehre.

Man hat unsere fünf Sinne mit geöffneten Toren verglichen, durch welche die Kenntnis von allem, was außer uns in der Natur vorgeht, zum Gehirn und damit zum Bewußtsein gelangt. Mit vollem Recht. Denn wir könnten keinen der Sinne entbehren, ohne nicht auch auf einen Teil der Natureindrücke verzichten zu müssen. Ein Blindgeborener weiß nichts vom Grün der Bäume, nichts vom lachenden Sonnenschein oder der glitzernden Schneedecke auf den Feldern, für ihn ist der Sommer nur warm, der Winter nur kalt; er kennt Sonne, Mond und Sterne nicht, seine Welt besteht nur aus Dingen, die er hören, riechen, schmecken oder fühlen kann. Und doch ist er ganz zufrieden. Warum auch nicht? Er kennt nichts anderes, und wir sind ja auch zufrieden mit unserer Welt. Wer weiß, ob nicht ein mit sechs oder mehr Sinnen ausgestattetes Geschöpf sie ganz, ganz anders sehen, verstehen und ebenso mitleidig auf uns herabblicken würde, wie wir auf jenen armen Blindgeborenen.

Wir sprechen von Gesichts-, Gehörs-, Geruchs-, Geschmacks-, Gefühlswahrnehmungen; ihnen entsprechen bestimmte Vorgänge oder Zustände, z. B. die Licht- und Schallerscheinungen für das Auge und das Ohr. In diesem ganzen Abschnitt soll von den akustischen, d. h. den Schallerscheinungen die Rede sein.

Unser Ohr, als Aufnahmeapparat für die Schallerscheinungen, ist ein gar wunderbares Instrument. Jede Bewegung einer dünnen, in ihm glatt aufgespannten Haut, des Trommelfelles, etwa durch einen leichten, dagegen gerichteten Schlag, wird als Schall empfunden. Das kann man sich wohl vorstellen, da ja in diesem Falle die Gehörsnerven, man möchte sagen, eine direkte Berührung erfahren. Wie ist es aber möglich, daß man einen Kanonenschuß hört, der vielleicht mehrere

Meilen vom Trommelfell entfernt abgefeuert wurde? Wie und auf welchem Wege gelangt die Nachricht in unser Ohr? Wie kommt es, daß diese Nachricht, wie wir aus Erfahrung wissen, mit Verspätung eintrifft? Weshalb hören wir den Kanonenschuß in der Nähe stärker als in der Ferne? Alles dies sind Rätsel, die mit einem Schlage gelöst werden, wenn wir uns eine Erfahrung, die wir miteinander bereits machten, als wir vom Luftballon und von den Flugmaschinen plauderten, wieder ins Gedächtnis zurückerufen. Der Raum zwischen den Gegenständen auf der Erdoberfläche ist nicht leer, sondern angefüllt mit einer Mischung durchsichtiger Gase, die wir als Luft bezeichnen. Diese Luft nun soll nach der gelehrten Annahme bestehen aus Myriaden und aber Myriaden kleiner Gasteilchen, Kügelchen so winzig, daß auch das schärfste Mikroskop sie nicht direkt nachzuweisen vermag, ebenso wenig wie die Räume zwischen ihnen. Eine schier unendlich große Schar solcher Luftteilchen erfüllt auch den Zwischenraum zwischen der Kanone und unserem Ohr. Schießen die Pulvergase mit großer Gewalt aus dem Rohre heraus, so treiben sie die nächstliegenden Luftteilchen vor sich her, und man könnte nun wohl verstehen, daß diese nach dem Anstoß mit großer Geschwindigkeit weiter eilten und schließlich auch gegen das Trommelfell unseres Ohres träfen, um hier die Schallempfindung zu veranlassen. Dies wäre möglich, aber sehr unwahrscheinlich.

Man kann den Raum zwischen dem Ohr und dem schallgebenden Körper vergleichen mit einem großen Platz, auf dem dicht gedrängt eine gewaltige Volksmenge sich befindet. Jede Person möge ein Luftteilchen darstellen. Würde es dann vernünftig sein, einen Boten mit irgend einer eiligen Nachricht gerade durch die Volksmenge schicken zu wollen? Sicherlich nicht, denn er würde wohl, durch Knüffe und Büsse von rechts und links belehrt und müde, die Leute beiseite zu schieben, sein Vorhaben aufgeben. Eine solche Person ist aber das Luftteilchen, das — vielleicht mit noch anderen Genossen — von der Kanone den unausführbaren Auftrag erhält, bis zum Ohr vorzudringen und auf das Trommelfell zu klopfen. Wie aber wäre es, wenn der Bote gar nicht erst versuchte, durch die Menge zu dringen, sich vielmehr an den Nächststehenden wendete mit der Bitte, die Nachricht — es braucht ja vielleicht auch nur ein kleiner Stoß zu sein, falls es sich darum handelt, unseren Freund auf der anderen Seite des Platzes auf irgend etwas aufmerksam zu machen —, diesen Stoß also an den Vordermann

weiterzugeben, und dieser gäbe ihn dann wieder seinem Vordermann weiter uff, bis er an die richtige Adresse käme? Dann könnte jeder hübsch auf seinem Platze stehen bleiben und brauchte nur wenig hin und her zu pendeln. Der Stoß aber würde, vielleicht mit ziemlich großer Geschwindigkeit und Stärke, durch die Menge hindurch eilen. Wir brauchen wohl kaum noch zu sagen, daß der Vorgang in der Luft gerade so ist, daß auch dort sich nicht die Luftteilchen fortbewegen, sondern nur der Stoß durch diese.

Aber die Luftteilchen sind keine vernunftbegabten Wesen, und das macht doch einen kleinen Unterschied aus. Die Stärke des Stoßes braucht durch die Volksmenge nicht abzunehmen, ja man kann sich vorstellen, daß sie zunimmt, wenn nämlich irgend eine Person, unmutig über die Störung, den Schlag etwas derber weiter gibt, als es gerade nötig wäre. Nicht so bei den Luftteilchen, sie sind tote Körper, pendeln zwar jedes hin und her und geben den Stoß weiter, aber er wird, je weiter er eilt, um so schwächer und schwächer. Wir verstehen sofort, warum daher die Stärke des Schalles mit der Entfernung abnehmen muß. Wir würden unsere Kanone in der Nähe stärker hören als in der Ferne, auch wenn sich der Schall nur in einer Richtung — auf unser Ohr zu — fortpflanzte. Nun breitet er sich aber nach allen Seiten aus, jedes Luftteilchen muß daher mehreren folgenden Teilchen einen Anstoß geben, und so nimmt denn die Kraft des Stoßes durch Verteilung sehr schnell ab, so zwar, daß wir die Kanone in doppelter Entfernung viermal schwächer, in dreifacher Entfernung neunmal und in vierfacher Entfernung sechzehnmal schwächer hören.

Von der Geschwindigkeit des Schalles. Der durch die Luft eilende Stoß ist mithin der Bote zwischen dem schallgebenden Körper und dem Ohre. Auch von dem besten Boten kann man aber nicht verlangen, daß er zur Ausführung seines Auftrages gar keiner Zeit bedürfe. Der Schall braucht Zeit zu seiner Luftreise, und zwar legt er in der Sekunde etwa eine Strecke von 333 m zurück. Unsere jungen Leser werden fragen, wie man das gemessen hat. Auf verschiedene Art und Weise; zuerst mit Hilfe von Kanonen und fußend auf der Tatsache, daß das Licht dem Schall so weit an Geschwindigkeit überlegen ist, wie etwa ein Expresszug dem Stundenzeiger auf einem Zifferblatt.

Man hört eine Kanone nicht nur schießen, man sieht sie auch schießen an dem Feuerstrahl, der aus der Mündung hervorbricht. Da

das Licht sich nun so unfaßbar schnell ausbreitet, darf man annehmen, daß die Kanone in dem Augenblick abgefeuert wurde, in dem wir den Blitz mit dem Auge wahrnahmen. Der trägere Schall wird dann noch auf sich warten lassen und um so später eintreffen, je größer die Entfernung zwischen uns und der Kanone ist. Kennen wir diese Entfernung, so ergibt eine einfache Messung der zwischen Blitz und Knall verstrichenen Zeit die Geschwindigkeit des Schalles, ausgedrückt durch die Strecke, die er in einer Sekunde zurücklegt.

Wie mißt man die Entfernung eines Gegenstandes ohne Meterstab? All unser Wissen beruht auf Erfahrung. Wissen wiederum befähigt zu neuen Schlüssen, die dann dem Unerfahrenen oft als etwas Übernatürliches erscheinen mögen. Auch unsere Aufgabe ist für jeden unlösbar, der nicht bereits über unsere Erfahrungen verfügt und als richtig denkender Mensch aus ihnen richtige Schlüsse zu ziehen vermag.

Freilich hätten wir zunächst unsere Aufgabe etwas genauer stellen sollen. Nicht als ob sie so nicht zu lösen wäre. Das ist sie auf alle Fälle, aber nicht mit den uns zur Verfügung stehenden Erfahrungsmitteln. Wir hätten fragen sollen, wie weit ein schallgebender Körper von uns entfernt sei, und noch hinzufügen müssen, ein Körper, der auch vom Auge bemerkt werden kann. Unter diesen Voraussetzungen kann aber die Aufgabe für uns keinerlei Schwierigkeiten mehr bieten, und da sie uns in der Natur, man möchte sagen, auf allen Wegen entgegentritt, sollte man sich des öfteren an ihre Lösung machen.

Wir gehen mit einem Freunde spazieren. In nicht unbeträchtlicher Entfernung von uns liegt eine eiserne Bahnbrücke. Wir bringen das Gespräch auf sie und fragen wie von ungefähr, wie weit wohl diese Brücke von unserem Standpunkte entfernt sei. Unser Begleiter wird eine Weile hin und her raten und schließlich sagen, daß man die Entfernung ohne Meßkette überhaupt nur sehr ungenau und vielleicht nur mit einem Fehler von mehreren hundert Metern bestimmen könne. Wir aber trauen unserem Schätzungsvermögen mehr zu und geben mit großer Bestimmtheit die Entfernung auf etwa 2660 m an, eine Zahl, der der Freund keinen Glauben schenken wird, bis sie durch Nachmessen auf einer Karte bestätigt ist. Und die Lösung des Rätsels? Sehr einfach. Wir hatten einen Eisenbahnzug beobachtet und heimlich, mit der Uhr in der Hand, die Zeit in Sekunden ge-

messen, die zwischen dem Aufsetzen der Lokomotivräder auf die Brücke und der Ankunft des verstärkten Geräusches vergangen war. Da es 8 Sekunden waren, hatte die einfache Multiplikation mit 333 die Entfernung der Brücke zu 2664 m ergeben. Wir runden die Zahl ab, da wir wohl wissen, daß wir bei der Ungenauigkeit der Messung und unter Berücksichtigung des Umstandes, daß sich der Schall bei verschiedenen Lufttemperaturen nicht gleich schnell fortpflanzt, für das Resultat nicht voll und ganz eintreten können. Besser daher, wir verbürgen uns in ganz runder Zahl nur für etwa 2600 oder 2700 m, eine Angabe, deren Genauigkeit immerhin schon Bewunderung erregen wird. Besitzt unsere Uhr keinen Sekundenzeiger, so schadet das gar nichts, da wir die Uhr an das Ohr halten und die Sekunden abhören können. Fast jede Taschenuhr tickt fünftel Sekunden, und wenn man folgendermaßen mitzählt, 0^{2345} , 1^{2345} , 2^{2345} , 3^{2345} , 4^{2345} usw., dann kann man nicht nur die vollen Sekunden, sondern sogar fünftel Sekunden abhören. Selbstverständlich fängt man nicht bei 1 an zu zählen, sondern bei 0. Bei 1 ist dann die erste Sekunde vollendet, bei 2 die zweite usw. Dabei wird man bemerken, daß eine Sekunde doch wesentlich länger dauert, als man gemeinhin glaubt.

Beobachtungsobjekte gibt es genug. Unter vielen anderen z. B. eine pfeifende Lokomotive (da man den Dampf aus der Pfeife aufsteigen sieht), ein spielendes Orchester (da man den Takt und Rhythmus der Musik an den Bewegungen des Kapellmeisters erkennen kann), jeder Kirchturm (bei dem man vielleicht, wenn beide Schallklappen offen sind, das Anschlagen des Hammers gegen die Glocke bemerkt), endlich aus naheliegenden Gründen jedes Fort, jeder Steinseker usw. Auch die Entfernung eines Gewitters kann mit ziemlicher Genauigkeit hergeleitet werden durch Beobachtung der zwischen dem Blitz und dem Beginn des Donnerrollens verstrichenen Zeit.

Übrigens braucht der in Frage stehende Gegenstand nicht allemal selbst den Schall auszusenden. Wenn er ihn wie beim Echo zurückwirft, so kann man den Abstand ebensogut berechnen. Angenommen, zwischen unserem Ruf, der dann am besten in einem kurz hervorgestoßenen Ton besteht, und dem Echo, d. h. der Rückkunft desselben an unser Ohr, seien gerade drei Sekunden verflossen. Dann hat der Schall im ganzen, hin zur Bergwand und wieder zurück, einen Weg von dreimal 333 m, das sind 999 oder rund 1000 m, zurückgelegt, mithin ist die Wand 500 m vom Rufer entfernt.

Einen Schlag so auszuführen, daß man ihn doppelt hört.

Der Schall pflanzt sich nicht allein durch die Luft fort, sondern auch durch andere Körper, seien sie nun gasförmig, flüssig oder fest, nur daß die Geschwindigkeit und die Stärke der Übertragung dann nicht überall dieselbe ist. Einige Gase und alle flüssigen und festen Körper übertreffen an Geschwindigkeit der Schallfortleitung die Luft. In dem leichtesten der uns bekannten Gase, dem Wasserstoff, legt der Schall statt 333 m in der Sekunde 1286 m zurück, im Wasser etwa 1400 m, im Holz 3300 m und im Eisen gar 5000 m. Jeder elastische Körper ist fähig, den Schall fortzuleiten, aber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hängt nicht allein von der Elastizität ab, sondern auch von der Dichte des Körpers.

Nun zu dem Experiment, das wir anstellen wollen. Auf unseren Spaziergängen treffen wir sicher irgendwo ein gerades, eisernes Gitter. Je länger es ist, desto besser. Vorzüglich eignen sich z. B. die niedrigen Gittereinfassungen der Rasenflächen im Berliner Tiergarten. Unser Begleiter bleibt am Anfange des Gitters stehen, wir selbst entfernen uns von ihm, indem wir am Gitter entlang gehen, mindestens 120 Schritte weit. Sobald wir unser Ohr dicht an das Eisen gebracht haben, führt unser Begleiter mit einem Hämmerchen (oder Schlüssel) einen kurzen, kräftigen Schlag gegen das Gitter. Wir sehen den Hammer einmal niederfallen, trotzdem hören wir aber schnell hintereinander zwei Schläge. Öftere Wiederholung des Versuches läßt jede Täuschung unmöglich erscheinen. Ebenso einfach wie der Versuch selbst, ist auch seine Erklärung. Von dem schallgebenden Körper pflanzt sich der Schall auf zwei verschiedenen Wegen zu unserem Ohre fort, einmal durch das Eisen und dann durch die Luft. Durch das Eisen läuft er sehr schnell (5000 m in der Sekunde), durch die Luft weniger schnell (nur 333 m in der Sekunde), und so kommt es denn, daß wir die Nachricht von demselben Ereignis zweimal hintereinander erhalten. Betrug unsere Entfernung vom Orte der Schallerzeugung 100 m, so kam der erste Schlag nach 0,02 Sekunden, der zweite nach 0,3 Sekunden an unser Ohr. Der Zeitunterschied von nur 0,28 Sekunden konnte also vom Ohre bereits aufgefaßt werden.

Aber der Schall pflanzt sich in der Mehrzahl der Fälle in den festen Körpern nicht nur schnell, sondern auch gut fort, eine Tatsache, von der die Gefangenen Gebrauch zu machen wissen, wenn sie mit Hilfe der Heizröhren in den Gefängnissen eine Klopfsprache einrichten. Der

Engländer Charles Wheatstone benutzte die gute Leitfähigkeit des Tannenholzes zu einem anmutigen Experiment. Er stellte im Keller eines Hauses ein Klavier auf und verband dessen Resonanzboden durch einen langen Tannenholzstab, den er durch die Stockwerke führte, mit einem Zimmer im obersten Stockwerke. Dort schaute der Stock frei aus dem Boden heraus und gab die Musik des Klaviers, von der man sonst nichts hörte, wieder, als der Resonanzboden einer Geige gegen das Stockende gehalten wurde. Man hörte das Klavier fast so deutlich, als sei es im Zimmer selbst. Der Resonanzkasten hatte die Tonschwingungen auf die Luft übertragen. Bei einem späteren Versuche setzte der Physiker Tyndall eine Harfe, deren Töne ja schon an und für sich denjenigen des Klaviers ähneln, auf die nur wenig aus dem Fußboden hervorstehende Holzleitung und nun konnten sich alle Anwesenden des Eindruckes kaum erwehren, daß die Saiten der Harfe selbst tönten, gespielt von unsichtbaren Händen. Jedenfalls bewies dieser Versuch, wie vollkommen oft Täuschungen gelingen und wie leicht es gewissenlosen Menschen gemacht ist, in unreifen Köpfen mit Spuk und Geisterglauben Unheil anzurichten.

Ein billiges Telephon, freilich kein elektrisches Telephon, aber ein Instrument, das „in die Ferne tönt“ und daher den Namen verdient, läßt sich mit geringer Mühe folgendermaßen herstellen.



Fig. 46. Ein billiges Telephon (Fadentelephon).

Es werden zwei Becher aus nicht allzu starker Pappe geklebt, in der Größe etwa der zum Würfeln gebräuchlichen. In ihrem Boden, gerade in der Mitte, erhalten sie je ein Loch, so groß, daß man, wie es Fig. 46 zeigt, eine starke Schnur hindurchstecken und innen mit einem Holzknebel befestigen kann. Die Schnur kann 20 m lang oder vielleicht noch länger sein.

Jede der beiden Personen, die miteinander telephonieren wollen, erhält einen der Becher und dann treten beide so weit auseinander, daß die Schnur straff gespannt ist. Spricht nun die eine Person in den Schallbecher, während die andere den ihrigen an das Ohr hält, so sind selbst ziemlich leise gesprochene Worte auch auf größere Entfernung hin vernehmbar. Der schalleitende Körper ist in diesem Falle die Schnur, aber es ist, wie schon gesagt, durchaus erforderlich, daß sie während des ganzen Versuches stets gespannt bleibt.

Künstliches Kirchturmgeläut und künstlicher Donner. Zu unjeren Versuchen bedürfen wir keiner Kirchenglocken und Glockenstühle,

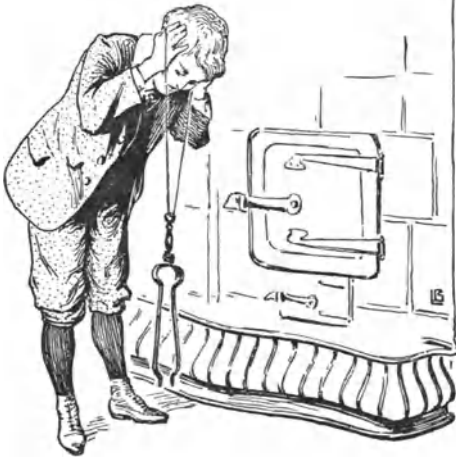


Fig. 47. Künstliches Glockengeläut.

auch keiner mit Elektrizität geladenen Wolken. Eine Ofengabel und etwas Bindfaden tun's auch. Der Bindfaden wird an seinem einen Ende zu einer Schlinge geknotet, so groß, daß man sehr bequem den Kopf hindurchstecken kann. Am anderen Ende befestigt man eine gewöhnliche Ofengabel, und zwar an der oberen Öse, mit der sie sonst an den Herdhaken gehängt wird. Dann hält man beide Hände flach

vor die Ohren, beugt sich vornüber und legt, wie es Fig. 47 veranschaulicht, die Schlinge über den Kopf und die Hände. Die Ofengabel hängt dann an der Schnur herab, berührt aber nicht den Fußboden.

Beginnt man nun mit der Ofengabel leicht pendelnde Bewegungen auszuführen und schlägt dabei ganz leise gegen ein Stuhlbein oder den Ofenvorsetzer, oder besser noch, läßt man von einem Gehilfen mit einem Rorkhämmerchen gegen die Gabel klopfen, so meint man wahrhaftig eine tief und voll brummende Kirchturmglöcke zu hören, bei zarten Schlägen wie aus weiter Ferne, bei stärkeren so laut, als befände man sich selbst in der Glockenstube.

Zur Nachahmung des Donners bedarf man nicht einmal der Ofengabel. Man nimmt sie ab und läßt die Schnur von dem Gehilfen wagerecht straff ziehen, wobei man dann natürlich eine aufrechte Körperhaltung annimmt. Die Schnur genügt so nicht allein zur Darstellung des Donners, sondern eines ganzen Ungewitters. Trommelt man mit den Fingern — ganz leise — auf der Schnur herum, so hört man deutlich das Klatschen großer Regentropfen gegen das Fensterbrett, streicht man mit dem Nagel über die Schnur hin, so heult ein wilder Sturm, und reibt man sie endlich, mit der Hand hin und her fahrend, zwischen den Fingern, so rollt ein Donner, wie man ihn sich kräftiger gar nicht wünschen kann. Leises Zupfen der Schnur seitlich ahmt die dumpfen Schläge einer fernen Uhr nach.

Das Sprachrohr. Wir hatten den Luftraum uns vorgestellt als angefüllt mit unzählig vielen kleinen Luftteilchen, von denen jedes bei der Übertragung des Schalles eine Schwingung ausführt und seinem Nachbar einen Stoß erteilt, der dann auf diese Art bis zum Ohre weitergegeben wird (S. 114). Verdünnt man nun die Luft, so wird offenbar der Zwischenraum zwischen den Luftteilchen größer und die Stoßübertragung — und also damit die Schallübertragung — eine schlechtere. Sind alle Luftteilchen entfernt, dann kann überhaupt von keiner Schallübertragung mehr die Rede sein.

Besitzer von Luftpumpen können sich leicht davon überzeugen, wenn sie ein kleines Läutewerk, etwa eine elektrische Klingel, auf einem Riffen unter die Glocke der Luftpumpe bringen und die Glocke ertönen lassen, während die Luft ausgepumpt wird. Man hört dann die Glocke zuerst laut, dann immer schwächer und schwächer, bis der Ton schließlich, kaum noch hörbar, wie aus weiter Ferne zu kommen scheint. Nur der Klöppel belehrt dann noch durch den Augenschein, daß die Glocke ihre Arbeit nicht eingestellt hat.

Diese Luftteilchen gleichen nun in der That winzigen elastischen Kallen. Sie gehorchen auch denselben mechanischen Gesetzen wie ein Gummiball. Nehmen wir einmal einen Gummiball zur Hand und bezeichnen eine Stelle an der Wand — in Kopfhohe und gerade uns gegenüber — mit Kreide. Ein kräftiger Wurf gegen diese Stelle läßt den Ball in genau derselben Richtung zurückkommen, in der er fortgeschleudert war. Treten wir jedoch zur Seite und werfen den Ball gegen dieselbe Stelle der Wand, so kommt er nicht wieder zurück, sondern

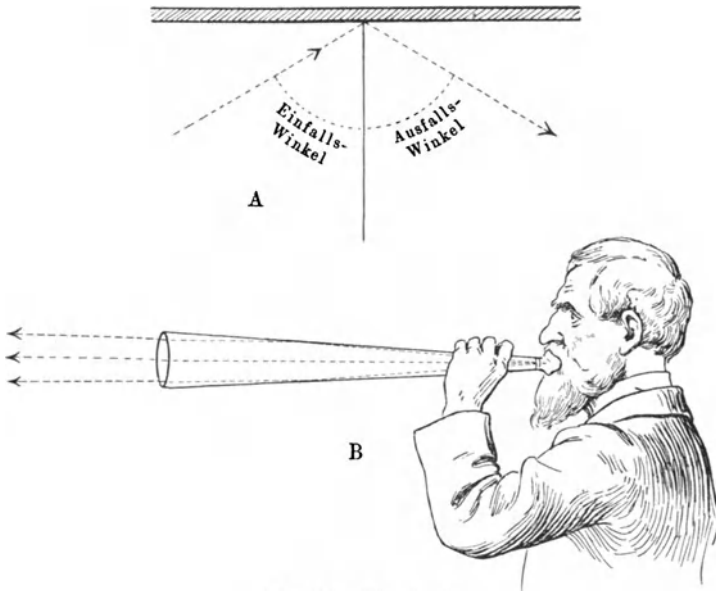


Fig. 48. Sprachrohr.

fliegt abseits, so zwar, daß der Winkel, den die Linie des Hinwurfes mit einer auf der getroffenen Wandstelle senkrecht stehenden Linie (der Richtung unseres ersten Wurfes) einschließt, gleich ist dem Winkel, den diese mit der Richtung des ruckprallenden Balles bildet. Fig. 48, A stellt dieses sogenannte Reflexionsgesetz dar. Man nennt den ersten Winkel den Einfallswinkel und den anderen den Ausfallswinkel und kann dann das Gesetz einfach so ausdrücken: Der Einfallswinkel ist gleich dem Ausfallswinkel.

Der Schall gehorcht demselben Gesetze und diese seine Eigenschaft hat Veranlassung dazu gegeben, Instrumente zu konstruieren, mit deren

Hilft man den Schall auf große Entfernungen übertragen kann. Wie wir bereits wissen, breitet sich der Schall nach allen Richtungen aus und büßt deshalb sehr schnell seine Stärke ein, die Sprachrohre jedoch weisen ihm nur eine Richtung an, und zwar die, in der er vorzugsweise zur Wirkung kommen soll. Man hat an den Sprachrohren jahrhundertlang herumgefünstelt, um schließlich zu finden, daß die einfachste Form wohl noch die beste ist. Man fertigt sie auf höchst einfache Weise, und zwar besser aus Pappe als aus Blech. Ein 1 bis 2 m langes Rohr, vorn 15 bis 20 cm weit, hinten 3 cm messend, ganz kegelförmig gebildet, aus starker glatter Pappe zusammengenäht oder geleimt, ist beinahe die beste Vorrichtung. Ein tönendes Material, wie Blech oder Gußmetall, vermehrt die Entfernung, auf die man sprechen kann, kaum, stört aber durch metallische Nebengeräusche die Verständigung.

Wenn man in die kleine Öffnung dieses langgezogenen Trichters hineinspricht, während die weite Mündung auf denjenigen gerichtet ist, der hören soll, so wird der von den Wänden zusammengehaltene Schall auf sehr große Entfernungen übertragen werden. Fig. 48, B zeigt, wie die aus dem Munde des Rufenden kommenden Schallstrahlen, dem Reflexionsgesetz gehorchend, fast dieselbe Richtung annehmen. Ist das Rohr gut gemacht und etwa 2 m lang, so kann man sich auf 1 km Entfernung (= 1000 m) ganz gut miteinander unterhalten, bei stiller Nacht noch viel weiter.

Heute ist das Sprachrohr trotz Telegraphie und Telephonie noch mehr in Gebrauch als man denkt und findet z. B. auf Schiffen und im Luftballon eine ausgedehnte Anwendung. In modernen Häusern mauert man die Sprachrohre, die wie eine leere Wasserleitung durch die Stockwerke führen, gleich in die Wände ein. Sie führen dann vom Munde des Sprechenden bis zum Ohre des Hörers und dienen etwa dem Verkehr mit dem Dienstpersonal in der Waschküche. Jede Röhrenleitung ist ein derartiges Sprachrohr, und es ist ganz erstaunlich, auf wie große Entfernungen durch sie eine Verständigung noch möglich ist. Man hat sich mittels der Kanalisationröhren von Paris noch auf 1000 m Entfernung im Flüsterton unterhalten können und ein in die Rohrmündung gefeuerter Pistolenschuß löschte sogar am Ende der Leitung ein Licht aus.

Wir wollen nicht glauben, daß unsere Leser schon mit dem Nürnberger Trichter geneckt worden sind. Mit diesem Wunderinstrument

nämlich, das früher einmal existiert haben soll, konnte man dummen Leuten Verstand und Weisheit einflößen. Wie mancher mag im stillen den Verlust des Trichters bedauert haben. Wir aber können auf das Bestimmteste versichern, daß er heutigestags noch vorhanden ist und auf der Burg zu Nürnberg als seltene Reliquie aufbewahrt wird, nur kann man mit ihm keine Weisheit eintrichtern und hat es auch früher nicht gekonnt, denn er ist nichts als ein langes Sprachrohr, das ehemals zur Verständigung zwischen Burg und Stadt diente.

Acustische Täuschungen. Wie die anderen Sinne, so ist auch das Ohr Täuschungen unterworfen. Es kann sich irren in bezug auf die Stärke des Schalles und in bezug auf den Ort der Schallquelle. Der rollende Donner erscheint uns so gewaltig, daß wir kaum etwas damit zu vergleichen wissen, und doch kann man durch Knistern mit Papier vor dem Ohre den Donner ganz übertönen. Hier bringt eine bekannte Erfahrung die Täuschung hervor. Denn wir wissen, daß die Ursache des Donners, das Gewitter, weit von unserem Ohre entfernt ist und schließen nun so: Ein Geräusch, das, wie der Donner, auf so große Entfernung unserem Ohre noch gut vernehmbar ist, muß am Ort seiner Entstehung einem gewaltigen Vorgange entsprechen. Indem er in die Entfernung hinausrückt, wächst er in unserer Vorstellung mehr und mehr, gerade so wie das winzige Fleckchen auf der Fensterscheibe, das oft einen großen, in den Wolken schwebenden Vogel oder Luftballon darzustellen scheint.

Die Richtungstäuschungen sind wohl weit häufiger. Jeder Unbefangene, der zum ersten Male ein Echo hört, wird glauben, ein zweiter Rufer antworte ihm. Denn er vermutet die Schallquelle stets in der Richtung, aus der der Schall kommt. In dieser Hinsicht unterliegen wir alle täglich Täuschungen, keine aber ist wohl häufiger als folgende. Wir gehen in einer Straße spazieren, deren Querstraße von der Straßenbahn befahren wird. Dann hören wir einen ankommenden Wagen, ehe wir ihn sehen; fast stets aber werden wir uns in der Richtung täuschen. Vermuten wir ihn von links kommend, dann taucht er rechts auf und umgekehrt. Die Erklärung der Täuschung ist sehr einfach. Nehmen wir an, der Wagen (*w*, Fig. 49, A) befände sich in der X-Straße rechts und wir selbst auf dem rechten Bürgersteige der Y-Straße, so können wir offenbar den durch die Häuserdecke verdeckten Wagen nicht sehen, wohl aber hören, ein Beweis, daß zwar nicht auf

dem direkten, aber sonst auf irgend einem anderen Wege Schall in unser Ohr gelangt. Wie ein Licht Lichtstrahlen, so sendet der Wagen Schallstrahlen aus, und zwar nach allen Richtungen. Einen der vielen Schallstrahlen — in der Figur den stark gezeichneten — wollen wir verfolgen. Er prallt zunächst gegen die Häuserwand der X-Straße und wird von dieser nach dem uns bereits bekannten Gesetz gerade wie ein Ball zurückgeworfen. So gelangt er offenbar in unsere Straße, und zwar gegen die Häuserwand linker Hand. Von hier wiederum zurückgeworfen, gelangt er in unser Ohr. Für dieses kommt der Schall also von links her, und durch die Erfahrung noch nicht gewöhnt, vermutet es auch die Schallquelle linker Hand, d. h. den Wagen in der X-Straße gerade auf der Seite, wo er sich nicht befindet.

Auf der Zurückwerfung des Schalles, allerdings nicht von geraden, sondern von krummen Flächen, beruht auch der Zauber der sog. Flüstergalerien, die sich bisweilen in den Seitenschiffen der Kirchen, in Hallen und Klostergängen vorfinden.

In diesen akustisch bemerkenswerten Räumen können sich zwei an ganz bestimmten, oft zwanzig und mehr Meter voneinander getrennten Stellen stehende Personen im Flüstertone unterhalten, ohne daß ein zwischen ihnen befindlicher, noch so aufmerksamer Lauscher das mindeste von dem Gespräche hört. Das Rätsel löst sich leicht, wenn man bedenkt, daß alle vom sogenannten Brennpunkte eines Hohlspiegels ausgehenden Strahlen von diesem, wie von einem Sprachrohr, gleich gerichtet werden. Treffen sie so auf einen

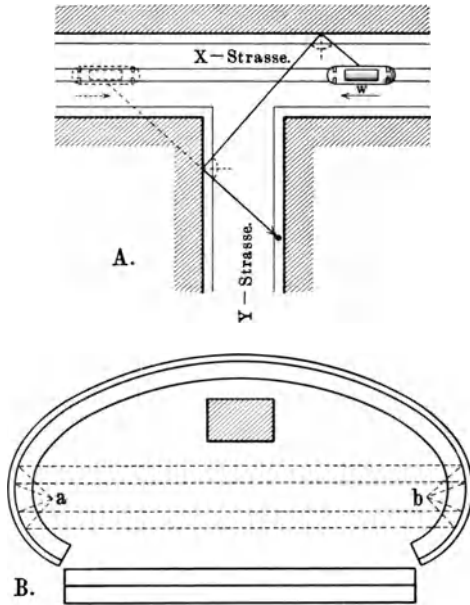


Fig. 49. Akustische Täuschungen: Flüsterbant.

zweiten Hohlspiegel, so werden sie von diesem wiederum in einem Punkte, dem Brennpunkte des Spiegels, vereinigt. Befindet sich im Brennpunkte des ersten Spiegels der Mund des Sprechers, in dem zweiten das Ohr des Hörers, so wird offenbar das leiseste Geflüster zur Verständigung ausreichen. Die Wände der akustisch merkwürdigen Räume haben meist eine hohlspiegelähnliche Form. In dieser Beziehung sind auch die Wölbungen unter den Berliner Stadtbahnbögen auf den Bahnhöfen ausgezeichnet, und zwar bilden sie fast vollkommene Hohlspiegel, deren Krümmungsmittelpunkt man beim Durchschreiten der Zugänge zu den Treppen passiert. Der von den Füßen ausgehende Schall kehrt dann in das Ohr zurück und die Schritte gerade unterhalb der Klappe klingen fast schußartig verstärkt. Flüsterbänke haben die meisten großen Städte in ihren Gartenanlagen aufzuweisen. Oft dienen sie irgend einem Monument zum Hintergrund. Ein Blick auf den Grundriß derartiger Steinbänke (Fig. 49 B) zeigt, daß sie an ihren Enden hohlspiegelartig gekrümmt sind. Für eine gute Zurückwerfung des Schalles sorgen insbesondere die hohen Lehnen der Bänke. Spricht eine bei *a* auf der Bank sitzende Person nur leise gegen die Rückwand, so versteht eine bei *b* befindliche Person jedes Wort, denn die von *a* herüberkommenden Schallstrahlen werden in ihrem Ohr zum großen Teil vereinigt. Nach einigen Versuchen gelingt die Verständigung so gut, daß das gedämpfte Gespräch selbst nahe bei *a* oder *b* sitzenden dritten Personen unverständlich wird.

Der Bauchredner. Von allen unseren Sinnen läßt sich kaum einer so leicht täuschen, wie das Gehör. Wer schon einmal einen Bauchredner gehört hat, weiß, daß dieser es in der Gewalt hat, seiner Stimme eine Klangfarbe zu geben, als käme sie aus einem anderen Zimmer, von der Straße, aus dem Ofenloch oder dem Keller. Wer aber glaubt, der Mann rede wirklich mit dem Bauche, unterliegt einer doppelten Täuschung. Er gebraucht zum Sprechen seinen Mund wie andere Menschenkinder auch, und seine Kunst besteht zum größten Teil in der Erweckung und Inanspruchnahme unserer Einbildungskraft. Wer hat nicht schon einmal versucht, Tierstimmen zu imitieren oder mit mehr oder minder Geschick jemand nachzuahmen, der ein Stück Holz durchsägt? Wer das Geräusch mit dem Munde etwa in einem Nebenzimmer gut nachahmt, gegen das Ende etwas langsamer sägt, wie es die Handwerker zu tun pflegen und dann

ein Stück Holz auf den Fußboden fallen läßt, kann gewiß sein, die beabsichtigte Täuschung hervorgerufen zu haben.

Ein gewisser Savile Carrey soll das Pfeifen des Luftzuges durch eine Ritze täuschend nachgeahmt haben. In dem Kaffeehaus, in dem er sich den Scherz machte, sah er — so wird berichtet — ein paar Leute aufstehen, um zu prüfen, ob eines der Fenster etwa nicht recht schließe, andere knöpften sich den Rock zu und setzten den Hut auf, weil sie die schädliche Wirkung des Luftzuges zu fühlen glaubten.

In Opern kommt es bisweilen vor, daß der Darsteller etwas auf dem Horn oder der Trompete blasen muß. Es müßte nun ein großer Zufall sein, wenn der gute Sänger auch zugleich ein ausgezeichnete Trompetenvirtuose wäre. In der Tat bläst auch nicht er, sondern ein guter Musiker, der nicht weit von ihm in der Kulisse steht. Und doch ist die Täuschung eine vollkommene, besonders wenn es der Darsteller nicht vergißt, die Trompete zur rechten Zeit an den Mund zu bringen und wenn er auch sonst darauf achtet, einige Eigentümlichkeiten der Bläser, z. B. das Anheben der Trompete bei hohen schmetternden Tönen, nachzuahmen. Ein einziger Fehler natürlich, vielleicht eine Fanfare, ehe die Trompete sich am Munde befindet, und mit der Illusion ist es vorbei. Recht lehrreich erschienen dem Verfasser des Buches zwei akustische Täuschungen in Meyerbeers Oper „Der Prophet“. Es handelte sich um einen Hirten, der ganz im Hintergrunde der Bühne eine Schalmel blies. Der Darsteller führte das Ansehen des Instrumentes sowie die charakteristischen Bewegungen sehr geschickt aus, so daß man durchaus den Eindruck hatte, er blase wirklich. Und doch war es ein Musiker, ganz außerhalb der Bühne, unten im Orchesterraum, also 15 m oder mehr noch von dem Hirten entfernt. Immerhin bezog sich hier die Täuschung doch nur auf die Verlegung der Schallquelle nach dem Hintergrunde, da Hirt und Musiker, vom Hörer aus gesehen, sich fast in derselben Richtung befanden. Die zweite Täuschung war jedoch eine Richtungs Täuschung. Dem Verfasser war bekannt, wo im Bühnenraum sich die große Orgel befand, nämlich vom Zuschauer aus im Hintergrunde linkerhand. Diese Orgel spielte bei der Krönungsfeierlichkeit in der Kathedrale, aber nun hörte man ihre vollen, ergreifenden Töne nicht von links, sondern ganz unzweideutig von rechts oben aus dem Vordergrunde kommen. Dort nämlich befand sich die gemalte Orgel.

Alles dies und endlich eine genaue Beobachtung der Bauchredner selbst zeigt, daß die Einbildungskraft und zum kleineren Teile nur die

Kunst es ist, welche die Täuschung hervorbringt. Die Phantasie wird erweckt und ist im Banne des Vorganges nur zu bereit, der Absicht des Künstlers entgegenzukommen. Er muß nur auch ein guter Schauspieler sein. Mitten in einer Gesellschaft sitzend, an einem mit einem Tischtuch bedeckten Tisch, darf man nur das Tuch aufheben und knurren wie ein Hund, so werden die Gäste sicher unruhig werden und glauben, es liege ein vierbeiniger Gast unter dem Tische. Wollte man zuerst bellen und dann das Tischtuch aufheben, so wäre die Aufmerksamkeit der Gesellschaft noch nicht dahin gerichtet, wohin man sie haben will. Man würde lachen und fragen: „Was fällt Ihnen denn ein, warum bellen Sie wie ein Hund?“

So wird eine anscheinend schwere, nur besonders organisierten Menschen zuteil gewordene Kunst verhältnismäßig leicht nachgeahmt, besonders bei schon vorhandener Geschicklichkeit in der akustischen Imitation bekannter Vorgänge. Immer ist es der Mund, der die Töne hervorbringt, und wenn man einmal darauf achtet, so bemerkt man auch, daß der Bauchredner stets, wie unbeabsichtigt, seinen Mund verbirgt oder doch nur die eine Seite seines Gesichtes sehen läßt, da er dann, was schon allein seiner Stimme einen fremden Klang verleiht, mit halb geöffnetem Munde sprechen kann.

Diese wenigen Andeutungen werden unsere Leser vielleicht zu einem Versuch ermuntern, dessen Gelingen ihnen gewiß Freude macht.

Auf dem Theater befinden sich die Vorrichtungen zur Erzeugung akustischer Phänomene in den weitaus meisten Fällen nicht da, wo man sie vermutet. Auch sind sie meist erstaunlich einfach. Einige von ihnen kann man in verkleinertem Maßstabe leicht nachbauen. Handelt es sich z. B. um die Nachahmung des Regens oder Hagels, so fertigt man sich eine Röhre von Pappe, etwa 1 bis 2 m lang von 8 bis 10 cm. lichter Weite. In diese leimt man, was allerdings nicht ganz leicht ist, je nach ihrer Länge, vier bis sechs Scheibchen ein, die das Rohr ganz ausfüllen und nur auf einer Seite so viel Raum übrig lassen, daß Erbsen hindurch fallen können, ohne sich selbst den Weg zu versperren. Die Scheiben müssen etwas schräg gestellt werden, damit die darauffallenden Erbsen leicht herabrollen, auch müssen die Öffnungen der Pappscheiben einander wechselseitig gegenüberstehen. Wenn man eine Hand voll Erbsen, natürlich ganz trockene, in die senkrecht aufgestellte Röhre bringt, so werden sie von Scheibe zu Scheibe fallen und ihr Geräusch wird dem des auf die Fensterbretter schlagenden Regens

täuschend ähnlich sein. Soll der Regen lange andauern, so sammelt man die herabgefallenen Erbsen in einem Korbe und füllt davon oben wieder nach.

Nimmt man statt der Erbsen Schrot, so wird der Hagel auf das Vollkommenste nachgeahmt.

Es ist jedoch ein Irrtum, wenn man annimmt, der Donner würde auf dem Theater durch Schütteln einer großen Eisenblechplatte dargestellt. Auf großen Bühnen mit moderner Einrichtung wenigstens geschieht das nicht mehr. Man spannt eine große Kalbshaut stramm über einen großen Behälter von Zinkblech und bearbeitet diese in sachgemäßer Weise mit Klöppeln. Um den Donner nachrollen zu lassen, sind oberhalb des Trommelfelles, und es leise berührend, eine Anzahl von Metallkugeln aufgehängt, die nach dem Schläge auf und nieder springen und das Fell noch eine Weile polternd bearbeiten. Das Knattern des einschlagenden Blitzes wird durch große hölzerne Knarren hervorgerufen. Um unsere wißbegierigen Leser zu befriedigen, wollen wir auch noch kurz andeuten, wie das Heulen und Sausen des Windes zustande kommt. Eine große hölzerne Trommel aus rauhen Latten wird von einem Arbeiter umgedreht; über die Lattenwalze läuft ein breites Band aus Segeltuch, das durch eine einfache Vorrichtung mehr oder weniger straff angespannt werden kann. Das Geräusch der Walze an dem Tuche ähnelt durchaus demjenigen des Windes an vorspringenden Gegenständen. Je schneller die Walze sich dreht und je straffer das Tuch angepannt wird, desto mehr geht der Ton von einem dumpfen Brausen in ein lautes schrilles Pfeifen über, das an Natürlichkeit gar nichts mehr zu wünschen übrig läßt.

Wir selbst können auch ohne kostspielige Vorrichtungen das Pfeifen des Windes nachahmen, wenn wir ein Lineal an einen Bindfaden und diesen an einen Stab binden, um dessen runden Kopf sich die Fadenschlinge leicht dreht. Sowie wir nun, den Stab in der Hand, das Lineal im Kreise herumschwenken, hört man ein Sausen und Heulen, das wirklich täuschend ist. Aber handelt es sich denn in diesem Fall wirklich um eine „Täuschung“? Wir glauben doch wohl kaum. Denn ob die Luft in heftiger Bewegung sich pfeifend an einer Kante spaltet oder ob diese Kante (nämlich die des Lineals) die Luft unter starker Lautwirkung durchstreicht, das bleibt sich doch wohl gleich. Neuerdings macht man es auf großen Bühnen ganz ähnlich: man läßt einen Speichenkranz von Ruten von einem Elektromotor durch die Luft peitschen.

*** Der Kreisel als akustisches Instrument.** Man hat den Kreisel mit Zug und Recht als einen der ausgiebigsten Demonstrationsapparate bezeichnet. Wir lernten ihn bereits kennen (S. 40). Nun soll er uns zu akustischen Versuchen einen ziemlich teuren Apparat ersetzen, die sogenannte Schwungmaschine, eine Vorrichtung zur Erzeugung schneller Umdrehungen. Es lohnt sich, dafür einen besonderen Kreisel, wie wir ihn angeben wollen, anfertigen zu lassen.

Der Kreisel wird bei einem Metalldrehler in Bestellung gegeben und besteht eigentlich nur aus einer schweren Scheibe von hartem Holz, etwa Weißbuche und einer Achse. Einen Schnitt zeigt Fig. 50 A. Die Achse sollte aus Messing angefertigt werden bis auf eine kleine, etwas abgerundete Spitze aus Stahl, die am unteren Ende der Achse haltbar eingeschraubt ist. Soweit die Achse durch die Scheibe hindurchgeht, und auch noch etwas darüber, ist sie mit einem Gewinde versehen, auf das von oben her die Messingmutter *b* aufgeschraubt wird. Sie hält die Scheibe fest und muß ein- für allemal stark angezogen werden. Auf ihrer oberen Fläche werden zwei Stiftchen eingeschraubt, die später dazu dienen sollen, an den entsprechenden Stellen gelochte Scheiben festzuhalten und mitzunehmen. Oberhalb der Mutter ist die Achse auf 5 cm Länge glatt, dann folgt ein kleiner Absatz *c* und oberhalb abermals ein Gewinde. Auf dieses Gewinde paßt der Schraubenkopf *d*, jedoch ist er einige Millimeter höher als das Gewinde und nicht ganz durchbohrt, so daß er oben noch, genau in der Mitte, eine kleine Vertiefung, den sogenannten „Körner“ *e* erhalten kann. Links neben der Hauptfigur ist das obere Ende der Achse noch einmal in vergrößertem Maßstabe dargestellt. Auf alle Fälle, und für spätere Versuche, ist es gut, von oben her in die Achse ein Loch bohren zu lassen etwa 2 bis 3 cm tief und 2 bis 3 mm stark. Der Kreisel läuft nicht auf dem Tisch, sondern auf einem besonderen Untersatz *g* aus hartem Holz, der an seiner unteren Fläche, damit er nicht rutscht, mit rauhem Tuch beklebt wird. Auf seiner oberen Fläche erhält er eine kleine abgerundete Vertiefung, in die die Kreiselspitze eingesetzt wird. Um den Kreisel aufziehen zu können, ist erforderlich, daß er auch an dem freien Ende seiner Achse gehalten wird, ohne aber seine Bewegung zu hindern. Dies geschieht am besten durch den mit einer eisernen oder besser stählernen Spitze versehenen Holzhandgriff *f*, der fest in den schon erwähnten oberen Körner eingesetzt wird. Um die Achse schlingt man die Schnur. Die Ansichtszeichnung B erläutert, wie der Kreisel aufgezogen wird. Es ist selbstverständlich,

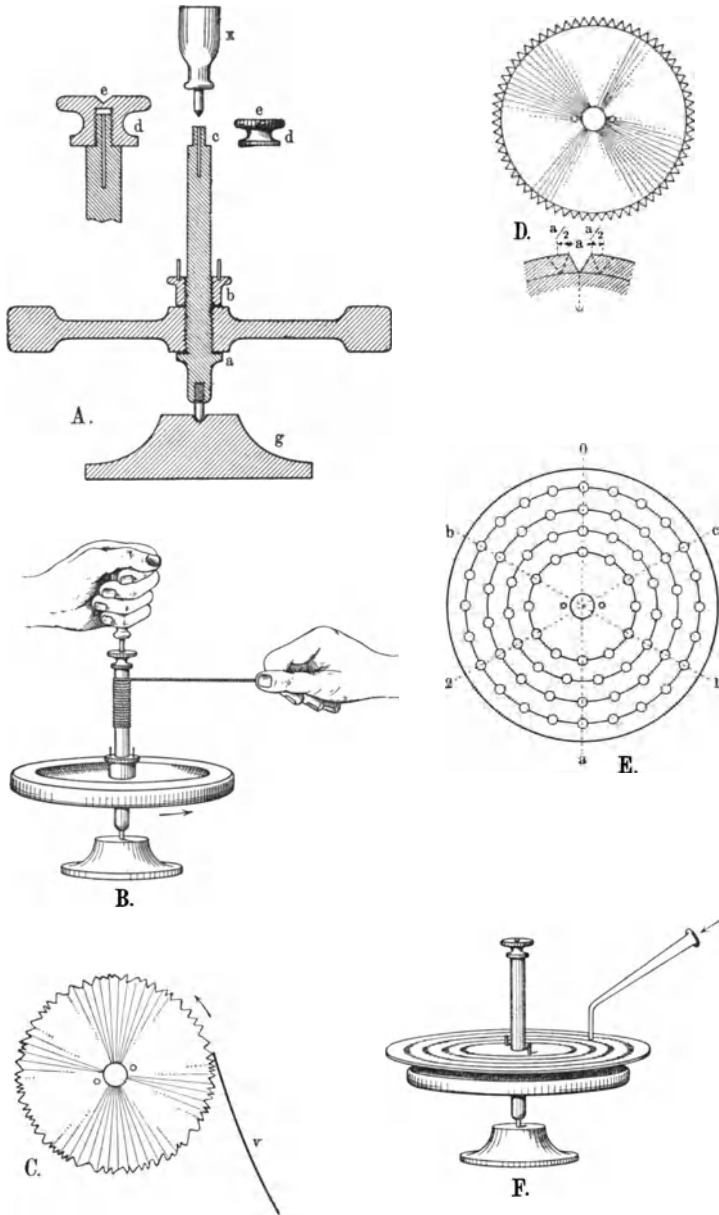


Fig. 50. Der musikalische Kreis.

daß man seine Achse dabei so senkrecht als möglich stellt. Erhält der Holzfuß, um die Reibung zu vermindern, ein kleines Messingplättchen mit einem Körner für die Achsen Spitze, so kann man gewiß sein, daß der Kreisel einige Minuten lang läuft. Man achte aber wohl darauf, daß der Kreisel, wenn er abgezogen wird, links herum läuft, da anderenfalls die obere Schraubenkordel in Gefahr kommt, sich abzdrehen.

Für unsere akustischen Versuche mit dem Kreisel brauchen wir nur wenig Vorrichtungen. Es handelt sich vorzugsweise darum, einige Scheiben anzufertigen, die auf den Kreisel gesetzt werden können, so zwar, daß ein Loch in ihrer Mitte die Achse und zwei andere kleinere Löcher rechts und links davon die Haltestiftchen aufnehmen können. Die Scheiben ruhen dann sicher genug auf der oberen Fläche der Schraubemutter. Daß man zum Aufstecken der Scheiben die obere Kordel erst abdrehen muß, versteht sich wohl von selbst. Als Material für die ersten beiden Scheiben, deren Durchmesser etwas geringer sein kann als der des Kreisels, wählen wir dünnes Weiß- oder Messingblech, das sich noch mit der Schere ausschneiden läßt. Beide Scheiben erhalten an ihrem Umfange eine Reihe von Zähnen, und zwar die eine C (Fig. 50) so unregelmäßig als nur möglich, die andere in ganz gleicher Größe und in genau gleichen Abständen voneinander, also so regelmäßig, als irgend angängig. Mit der Herstellung der unregelmäßigen Zähne hat es keine Not, man klemmt die Scheibe, sie von Zeit zu Zeit weiterdrehend, in einen Schraubstock ein und feilt aus dem Umfange, ohne sich weiter Mühe zu geben, Stücke heraus. Die Zähne bleiben stehen. Man hat nur darauf zu achten, daß nicht ein Zahn kürzer wird als der andere, sie mithin alle bis an den Rand reichen. Mit der Herstellung der regelmäßigen Zähnen sieht es schlimmer aus, man lasse sich aber durch einen mißlungenen Versuch nicht abschrecken, sie auszufeilen. Am besten verfährt man folgendermaßen: Durch einen zweiten Kreis, der von dem ersten einen Abstand von 2 bis 3 mm haben kann, deutet man an, wie tief die Einschnitte werden sollen. Dann feilt man mit einer Dreikantfeile den Rand bis auf den inneren Kreis ein, wobei man jedoch sehr genau darauf zu achten hat, daß die feilende Kante genau auf das Zentrum des Kreises gerichtet bleibt. Die obere Weite des Ausschnittes ist dann offenbar eine Zahnklüfte oder gleich dem Abstände zweier Zahnspitzen voneinander (*a*, Fig. 50 D). Die Hälfte dieses Abstandes, nach rechts und links aufgetragen, gibt dann die Stellen an, wo die Feile einsetzen muß, um zwei weitere Ausschnitte und damit zwei

fertige Zähne zu erzeugen. Führt man so fort, wobei man die Strecke $\frac{a}{2}$ ein- für allemal fest im Zirkel behält, so wird man ohne allzu große Mühe ein recht gutes Zahnrad erhalten. Ein sehr großer Zufall müßte es allerdings sein, wenn der doch willkürlich gewählte Zahnabstand im Umfange gerade aufginge. Ist dies nicht der Fall, und wird der letzte Zahn etwas zu groß oder zu klein, so mache man sich darüber keine Sorgen, ein Fehler auf dem ganzen Umfange macht die Scheibe nicht unbrauchbar.

Wir waren bereits (auf S. 113) miteinander übereingekommen, daß ein Anstoß des Trommelfelles eine Schallempfindung hervorrufe. Schlagen wir mit dem Fingernagel knirschend gegen eine Visitenkarte, so erhält zunächst die Luft einen Anstoß, dieser Anstoß pflanzt sich bis zum Ohre fort und wir hören den Schlag. Schlagen wir mehrere Male gegen die Karte, so entsteht eine Reihenfolge von Stößen, die man leicht zählen kann; auch das Ohr zählt sie, denn es hört sie einzeln. Mit Hilfe unserer Zahnräder können wir aber die Karte mit einer Geschwindigkeit anschlagen, daß uns das Mitzählen vergehen soll. Dazu setzen wir unsere Scheibe C (mit den unregelmäßigen Zähnen) auf den Kreisel und treiben ihn stark an. Halten wir dann die Visitenkarte *v* mit leichter Neigung und unter sanftem Druck gegen die schnell laufenden Zähne, so wird sie von ihnen in rascher Folge angeschlagen, aber das Ohr hört keine einzelnen Schläge mehr, mit anderen Worten, es hat das Zählen aufgegeben. Trotzdem hat es eine Schallempfindung, und zwar gar keine angenehme. Das klingt ganz abscheulich, mißtönend und ist ein unerquickliches Geräusch.

Nun stecken wir die zweite Scheibe (D) auf und wiederholen dasselbe Experiment. Wieder empfängt unser Ohr eine Reihenfolge von Anstößen. Aber wie ganz anders ist nun die Schallempfindung. Das mißtönige Geräusch ist verschwunden und an seine Stelle ist etwas getreten, das wir nicht zögern werden, einen musikalischen Ton zu nennen. Durch dieses einfache Doppelexperiment haben wir den physikalischen Unterschied zwischen Geräusch und Musik ergründet. „Geräusch“ entsteht durch eine unregelmäßige, ein „Ton“ durch eine regelmäßige Reihenfolge von Stößen auf unser Trommelfell. Aber noch eine andere Erscheinung ist dem aufmerksamen Beobachter nicht entgangen. Durch die Reibung der Karte an der Zahnrad-scheibe nahm die Geschwindigkeit des Kreisels schnell ab und mit ihr auch die Höhe des Tones, er ging von pfeifender Höhe herab zu einem tiefen Brummen.

Während also die Tonbildung mit der Regelmäßigkeit der Stöße zusammenhängt, richtet sich die Tonhöhe nach ihrer Anzahl, und zwar nimmt die Tonhöhe mit zunehmender Stoßzahl ebenfalls zu.

Es wird unsere Leser sicherlich interessieren, zu erfahren, bei welcher Stoßzahl die Empfindung einer schnellen Reihenfolge einzelner Stöße in diejenige eines Tones — der dann natürlich ein ganz tiefer Baßton ist — übergeht. Man hat darüber vielfach Versuche angestellt und zunächst einmal gefunden, daß nicht jedes Ohr die gleichen Empfindungen hat. Im allgemeinen kann man aber sagen, daß bei 20 Stößen in der Sekunde sich aus den ineinander übergehenden Stößen bereits ein tiefer Ton bildet. Mit steigender Stoßzahl steigt dann auch die Tonhöhe. Bei 435 Stößen entsteht ein in der Musik wichtiger Ton, das *a*, nach dem die Instrumente gestimmt werden. Auf der Violine gibt die zweitdünnste Saite diesen Ton, sie schwingt also so, daß sie in jeder Sekunde der Luft und dem Ohre 435 Stöße erteilt. Jeder Körper, der diese Eigenschaft hat, gibt den Ton *a*.

Ganz erstaunlich ist die Stoßzahl, die vom Ohr als Ton noch empfunden werden kann. Töne mit einigen 20 000 Stößen in einer einzigen Sekunde werden noch gehört, aber sie klingen nicht nur ungemein hoch, sondern auch sehr schwach und werden daher in der Musik nicht verwendet. Der höchste Ton auf unseren Klavieren kommt von einer Saite, die etwa 5000 mal in der Sekunde hin und her schwingt. Auch hinsichtlich der oberen Grenze der Hörfähigkeit verhalten sich die Ohren verschieden. Manche Personen werden noch höhere Töne als die angedeuteten vernehmen, kaum irgend jemand aber wird wohl einen aus mehr als 35 000 Stößen gebildeten Ton noch wahrnehmen können.

Doch die Wunder unseres akustischen Kreißels sind noch keineswegs erschöpft. Er kann auch eine ganze Reihenfolge harmonischer Töne, Tonleitern, Akkorde hervorbringen, ja eine Melodie können wir bei einigem Geschick auf ihm spielen. Dazu müssen wir uns freilich entschließen, eine neue Scheibe anzufertigen, etwas größer im Durchmesser als der Kreißel und mit vier Reihen von Löchern versehen. Eine Scheibe aus Metall sieht natürlich sehr elegant aus, aber steife, nicht zu dicke Kartonpappe genügt für den Zweck schließlich auch. Die vier Lochreihen sind, wie es die Abbildung E der Fig. 50 zeigt, gleich weit voneinander entfernt. Die innerste Reihe enthält 12, die zweite 15, die dritte 18 und die äußerste 24 Löcher in gleichen Abständen voneinander. Die auf den ersten Blick etwas kompliziert erscheinende Einteilung wird wesentlich

vereinfacht durch eine kurze Überlegung. Zunächst ist es sehr leicht, den äußersten Kreis in sechs gleiche Teile einzuteilen, da der Radius, mit dem man den Kreis schlägt, fast genau sechsmal in dem Umfang aufgeht. Die drei Teilpunkte des einen Halbkreises liegen dabei denen des anderen Halbkreises genau gegenüber, so daß man sie, wie es auch in der Figur geschehen ist, über das Zentrum hinweg durch gerade Linien verbinden kann. Bei Betrachtung der Figur sieht man dann weiter, daß auf den mit 0, mit 1 und 2 bezeichneten Radien von jeder Reihe ein Loch liegt. Diese Löcher trage man zunächst mit einem Zirkel auf. In der Verlängerung der Linien, also auf den Radien a , b und c , liegen Löcher der innersten dritten und äußersten Reihe. Auch diese Löcher werden bezeichnet. Teilt man weiter die Strecke zwischen zwei aufeinander folgenden Radien auf der innersten Reihe in zwei, auf der dritten in drei und auf der äußersten in vier Teile ein, so hat man alle Punkte gefunden mit Ausnahme derjenigen auf der zweiten Reihe. Hier muß man die Strecke zwischen zwei Radien, also etwa zwischen 0 und 1, in fünf Teile teilen. Wenn wir noch bemerken, daß nur die eine Scheibenhälfte eingeteilt zu werden braucht und man die entsprechenden Punkte auf der anderen durch Herüberziehen von geraden Linien durch das Zentrum finden kann, so werden unsere Leser zugeben, daß die Aufgabe gar nicht so schwer war, wie sie aussah.

Die Löcher selbst sicht man nicht mit einem spitzen Gegenstande, der die Ränder aufwerfen würde, sondern stanzt sie auf verhältnismäßig einfache Art aus. Ein schwachwandiges Messingrohr, das denselben Durchmesser hat wie die Löcher, also etwa 2 bis 3 mm, wird durch einige Feilenstriche an seinem unteren Rande zugeshärft, so daß dieser eine ziemlich flache Schneide bildet. Man legt dann das Kartonblatt auf ein Stück harten Holzes, etwa auf ein Küchenbrett, setzt das Röhrchen mit seiner Schneide auf und treibt es mit einem kurzen Hammer Schlag durch die Pappe hindurch. Die Ausschnitte sammeln sich in dem Röhrchen und müssen von Zeit zu Zeit mit einem Draht herausgestoßen werden. Bezeichnet man die Stellen für die Löcher nur mit Punkten, so ist es schwer, das Röhrchen auf die richtige Stelle zu setzen, da es den Punkt verdeckt. Man schlägt daher mit dem Zirkel einen Kreis etwas größer, als das Loch werden soll und setzt das Röhrchen in ihn hinein. Die Scheibe selbst bewahrt man in einem Buche auf, da sie dann stets glatt gespannt bleibt.

Mit Hilfe der Lochscheibe kann man ebenfalls der Luft regelmäßige Anstöße erteilen. Bläst man nämlich einen Luftstrahl gegen eine sich

drehende Lochreihe, so wird nacheinander die Luft bald hindurchgelassen, bald aufgehalten, es entstehen Stöße und mithin ein Ton. Die Höhe des Tones hängt wiederum von der Anzahl der Stöße ab, also von der Umdrehungsgeschwindigkeit des Kreisels ebenso wie von der Anzahl der Löcher. Dreht sich der Kiesel sechsmal in der Sekunde um, so ergibt die innerste Reihe z. B. $6 \times 12 = 72$ Luftstöße, die zweite $6 \times 15 = 90$, die dritte $6 \times 18 = 108$ und die äußerste Reihe $6 \times 24 = 144$ Luftstöße. Zum Anblasen ist es bequem, sich aus einer Glasröhre eine Vorrichtung zu biegen, wie sie auf Abbildung F (Fig. 50) gezeichnet ist.

Setzt man den Kiesel sehr rasch in Betrieb und bläst, von der innersten anfangend, die Reihen nacheinander an, so hört man in aufsteigender Folge vier Töne, die in ihrer Zusammenstellung außerordentlich angenehm klingen und sehr bekannt anmuten. Es sind die reinen Töne eines Durdreiklanges, die man als Grundton, große Terz, reine Quint (und Oktave) zu bezeichnen pflegt. Woher aber dieser wohlthätige Eindruck auf das Ohr? War es bei einem einfachen Ton die geregelte Folge von Luftstößen, die gegenüber dem wüsten Durcheinander beim Geräusch so angenehm berührte, so ist es hier das einfach geregelte Verhältnis der Stoßzahlen zueinander. Durch wieviel Stöße auch immer der Grundton zufällig entstanden sein mag (was allein auf seine Höhe einen Einfluß ausübt), immer verhalten sich die Stoßzahlen zueinander wie die Anzahl der Löcher in den Reihen, also wie 12 zu 15 zu 18 zu 24 oder, wenn man die Zahlenreihe durch 3 hebt, wie 4 zu 5 zu 6 zu 8. Einfacher und darum vollkommener kann das Zahlenverhältnis wohl nicht sein; in bezug auf das Ohr ist es jedenfalls das denkbar harmonischste.

Sofort sind wir nun in der Lage, die Stoßzahlen einiger Töne zu bestimmen. Der Kammerton a hat, wie bereits erwähnt wurde, 435 Stöße, der Durdreiklang, der sich über ihm aufbaut (der A-Durdreiklang), heißt a, cis, e, (a'). Da die Stoßzahl der großen Terz cis zu ihrem Grundton im Verhältnis von 5 zu 4 stehen soll, so braucht man nur 435 mit $\frac{5}{4}$ zu multiplizieren, um 543,75, die Stoßzahl von cis, zu erhalten. Ebenso findet man für die reine Quinte e aus $435 \times \frac{6}{4}$ oder $\times \frac{3}{2}$ die Zahl 652,5 und am leichtesten die Oktave, als das Doppelte des Grundtones, zu 870 Luftstößen.

Man hat alle Instrumente, die wie unser Fahrrad oder die Lochscheibe geeignet sind, musikalische Töne hervorzurufen, „Sirenen“ genannt, obgleich man kaum annehmen darf, daß irgend ein abenteuerlicher Seefahrer geneigt wäre, wegen dieser Töne sein sicheres Boot zu verlassen und an das verderbliche Land zu gehen.

Aber unsere Lochsirene kann auch einen Akkord, d. h. alle Töne des Dreiklages zugleich hervorbringen. Dazu ist dann eine Blasevorrichtung mit vier Öffnungen nötig, von denen jede über eine Lochreihe zu stehen kommt. Man verfertigt sie leicht aus einem an einem Ende geschlossenen Messingröhrchen, an das senkrecht man die Blaseröhrchen in den gehörigen Entfernungen voneinander durch Verblütung ansetzt. Auf das offene Ende der kammartigen Vorrichtung wird dann zum Anblasen ein Gummischlauch geschoben. Mit abnehmender Umdrehungsgeschwindigkeit nimmt auch die Höhe der vier Töne ab, immer aber hört man einen Durakkord, denn das Stoßzahlenverhältnis bleibt stets dasselbe.

Mit Hilfe des Durakkordverhältnisses können auch die Stoßzahlenverhältnisse für jene Reihe von Tönen abgeleitet werden, die man Tonleiter nennt und von denen die des Durdreiklages bereits bekannt sind. Soll die Lochsirene alle Töne einer Tonleiter geben, dann muß sie natürlich ebensoviel Lochreihen wie diese Töne enthalten, d. h. einschließlich der Oktave acht. Für Leser, die Lust haben, sich eine Tonleitersirene, auf der man dann natürlich nicht nur Tonleitern, sondern auch ganze Melodien blasen kann, anzufertigen, sei hier die Anzahl der Löcher in den Reihen von innen nach außen angegeben. Um keinen zu tiefen Grundton zu haben, beginnt man lieber mit mehr als 12 Löchern, sagen wir mit 24.

Erste Reihe 24 Löcher, zweite 27, dritte 30, vierte 32, fünfte 36, sechste 40, siebente 45, achte 48. Man erkennt auch hier wieder an dem Grundton, der Terz, Quinte und Oktave das Verhältnis 4 zu 5 zu 6 zu 8.

Nach den Versuchen pußen wir unseren Kreisel sauber ab und stellen ihn in den Schrank, wo wir ihn zu einigen optischen Experimenten wieder hervorholen werden.

Tönende Saiten und Luftsäulen. Jeder Körper vermag einen Ton zu geben, wenn er regelmäßig in irgend einer Form schwingt. Die Tonhöhe ist dabei allein von der Schwingungszahl abhängig. Es

ist oft ergötzlich zu bemerken, welche Gegenstände unter dieser Voraussetzung zu musikalischen Instrumenten werden können. Verfasser hörte einmal in einem Zirkus einen Clown die schönsten Melodien auf senkrecht nebeneinander aufgestellten, getrockneten Maccaronistangen spielen, und zwar mit solcher Klangschönheit und einem so feinen musikalischen Verständnis, daß der Beifall gar kein Ende nehmen wollte. Er strich dabei die Stangen mit einem harzigen Lämpchen von oben nach unten so, daß sie in Schwingung gerieten. Sie waren übrigens von sehr verschiedener Länge und man konnte bald bemerken, daß allemal die längste Stange den tiefsten Ton gab, über den der Künstler verfügte. Ja, ein junger Freund, mit dem der Verfasser oft über akustische Dinge geplaudert hatte und der im Zirkus neben ihm saß, hatte noch eine andere wichtige Entdeckung gemacht, auf Grund deren er sofort beschloß, zu Hause die Harmonika des Clown nachzubauen, wenn auch nicht aus Maccaronistangen, so doch aus Tannenholzstäbchen. Und wirklich brachte er das Kunststück fertig.

Um unsere Leser an dem Versuch auch teilnehmen zu lassen und um ihnen zugleich das Verständnis für diese Gruppe akustischer Erscheinungen zu erschließen, sei zunächst eine kleine Abschweifung erlaubt. Es ist bekannt, daß straff ausgespannte Saiten regelmäßige Schwingungen ausführen und daher einen musikalischen Ton hervorbringen können. Ergreift man eine solche Saite mit den Fingerspitzen bei der Mitte, zieht sie etwas zu Seite und läßt dann los, so schwingt sie wegen ihrer Elastizität in ihre alte Lage zurück, wegen ihrer Beharrung über diese hinaus, wieder zurück und führt so eine Reihe von Schwingungen aus, ehe sie zur Ruhe kommt. Es entstehen rhythmische, regelmäßige Stöße auf die Luft, die in unserem Ohr zu einem Ton verschmelzen. Aber der Ton ist sehr schwach, denn die dünne Saite drückt nicht mit einer breiten Fläche auf die Luft, sondern schneidet messerartig durch sie hindurch. Um den Ton zu verstärken, spannt man daher die Saiten über einen Holzkasten; dieser nimmt die Schwingungen auf und gibt sie mit breiter Fläche an die Luft weiter. Derartige Resonanzböden oder -kästen findet man bei allen Saiteninstrumenten, bei den Violinen, Klavieren, Harfen usw. Das Holz ist dabei bevorzugt, denn es hat die seltene Fähigkeit, mit fast allen Tönen gleich gut mitzuschwingen zu können, während die Metalle hauptsächlich nur mit dem Ton mitklingen, den sie beim Anschlagen selbst geben. Davon kann sich jeder Besitzer eines Klaviers überzeugen. Der Holzkasten des Instrumentes besorgt die Übertragung

der Saitenschwingung auf die Außenluft und er besorgt dies vortrefflich, denn jeder Ton des Klaviers klingt laut und kräftig. Wird das rechte Pedal herabgetreten, so hebt sich die Filzdämpfung von den Saiten ab und sie haben allesamt die Möglichkeit, frei zu schwingen. Singt man dann einen Ton in das geöffnete Klavier, so klingt dieser in ihm laut und deutlich weiter. Es ist durch die Luftstöße eine Saite zum Schwingen veranlaßt worden, aber auch nur eine, gerade die, die selbst den gesungenen Ton gibt. Alle anderen blieben stumm. Drückt man statt des Pedales nur eine Taste herab, so wird nur eine Saite frei und dann gibt das Klavier nicht jeden beliebigen Ton wieder, sondern nur denjenigen, der mit dem Eigenton der freien Saite übereinstimmt. Man mache nur einmal den einfachen Versuch.

Wie schnell schwingt nun eine Saite, welchen Ton gibt sie und wie hängt dieser ab von ihrem Zustande und ihrer Beschaffenheit? Jeder Violinspieler weiß, daß der Ton um so höher ist, je straffer die Saite mit dem Wirbel angezogen wird. Aber ihre Schwingungszahl wird auch noch von anderen Verhältnissen beeinflusst und diese interessieren uns hier ganz besonders. Jede Saite hat ein Gewicht, das auf der Wage festgestellt werden kann, eine doppelt so lange Saite von sonst gleicher Beschaffenheit natürlich das doppelte Gewicht. Es fragt sich nun, was das Gewicht mit der Schwingungszahl zu tun hat. Um uns darüber klar zu werden, machen wir ein ganz einfaches Experiment. Wir ergreifen ein Kilogramm, ziehen es an die Brust und stoßen es dann — gleichsam mit ihm hantelnd — mit ausgestrecktem Arm nach vorn, ziehen es dann wieder bis zur Brust zurück uff. Das versuchen wir nun in gleichmäßiger Folge so schnell auszuführen, als es unsere Kräfte irgend erlauben. Wir kommen über ein gewisses Tempo nicht hinaus und können die Anzahl der etwa in der Minute erfolgten Stöße zählen. Derselbe Versuch, mit einem 2-Kilogramm wiederholt, ergibt in derselben Zeit eine weit geringere Stoßzahl — etwa die Hälfte. Könnten wir den Versuch so anstellen, daß unsere Kraftäußerung in beiden Fällen genau dieselbe bliebe, so würde genau die Hälfte herauskommen. Unsere Leser merken schon, wo das hinaus will. Die elastischen Kräfte lassen die aus ihrer Ruhelage gebrachte Saite hin und her schwingen, sie wird um so langsamer schwingen, je schwerer, je länger sie ist, doppelt so langsam, wenn sie die doppelte Länge hat wie vorher. Mithin verhalten sich die Schwingungszahlen zueinander (und auch die der Luft von der Saite erteilten Stöße) um-

gekehrt wie die Längen der Saiten. Spannt man einen Draht fest auf, etwa über die Füße einer umgelegten Fußbank, teilt diesen Draht mit Kreide in zwei Hälften ein und zupft dann die Saite, so schwingen offenbar die beiden Hälften zusammen und die Saite gibt einen Ton, dessen Höhe (Schwingungszahl) von der Spannung der Saite abhängt. Hält man in der Mitte fest und zupft seitwärts, so schwingt dann nur die halbe Saite und zwar doppelt so schnell wie die ganze. Die Luft erhält doppelt so viel Anstöße als vorher und wieder hört man einen Ton, der offenbar nichts anderes ist, als die Oktave zu dem Grundton. Das kann uns gelehrte Leute gar nicht überraschen, denn nach den schon früher am musikalischen Kreisler abgeleiteten Regeln verhalten sich die Stoßzahlen des Grundtones zur Oktave wie 4 zu 8 oder 1 zu 2. Sofort erinnern wir uns nun auch daran, daß die Töne des Durdreiklanges im Stoßzahlenverhältnis zueinander stehen wie 4 zu 5 zu 6 zu 8 und versuchen, diese Verhältnisse auf unserem einfachen Saiteninstrument darzustellen. Wir teilen die Saite in fünf Teile, lassen diese durch Zupfen der Saite in der Mitte tönen, halten dann auf ein Fünftel der Länge fest und zupfen die übrigen vier Teile. Da sich die Stoßzahlen wie 4 zu 5 verhalten, also umgekehrt wie die Längen, hören wir in der Tat den Grundton und den zweiten Ton des Durdreiklanges, die Terz. Wollen wir die Quinte haben, so kann nichts leichter sein. Die tönenden Saitenlängen müssen sich dabei verhalten wie 6 zu 4 oder 3 zu 2. Also Einteilung in drei Teile, erst diese tönen lassen und dann zwei von ihnen. Will man die Tonfolge des Durdreiklanges nacheinander hören, so zupft oder streicht man nicht weit von ihrem Ende erst die ganze Saite an, darauf hält man sie — vom anderen Ende her — in ein Fünftel ihrer Länge, darauf in ein Drittel und schließlich zur Hälfte fest. Der Geigenspieler verfährt genau so, wenn er auf einer Saite den Durdreiklang spielt, aber er ist sich dieser Einteilung nicht bewußt, ihn leitet die durch Übung erlangte Sicherheit und sein Gehör. Schließlich aber kann jeder Geige spielen, dem diese Verhältniszahlen für den Dreiklang und für die anderen Töne der Tonleiter — sie sind in jedem Lehrbuch der Physik verzeichnet — bekannt sind, er braucht sich das Griffbrett nur danach einzuteilen. Es wäre sogar denkbar, daß er völlig rein spielte, eines aber kann er nicht und dazu hilft ihm kein Verstand und keine Wissenschaft — schön spielen. Soll der Ton von Herzen kommen und zu Herzen gehen, dann muß nicht ein Gelehrter, sondern ein Künstler das Instrument meistern.

Wer aber unsere Wissenschaft und außerdem ein gutes Gehör besitzt, der kann zum Staunen seiner Zuschauer eine hübsche Aufgabe lösen: nämlich eine Saite in zwei oder drei genau gleiche Teile teilen, ohne Zirkel und ohne Maßstab. Das soll ihm erst jemand vormachen. Unseren Lesern brauchen wir nicht erst zu sagen, wie sie dabei zu verfahren haben.

Übrigens braucht eine Saite nicht immer gezupft, gestrichen oder geschlagen zu werden, um zu klingen, es genügt schon, sie mit einem durch Kolophonium klebrig gemachten Lappchen in der Längsrichtung zu reiben. Sie schwingt dann nicht seitwärts, sondern der Länge nach, indem sie abwechselnd länger und kürzer wird. Auch für diese Art der Schwingung, die man mit dem gelehrten Namen Longitudinalschwingung zu belegen pflegt, im Gegensatz zur anderen, der Transversalschwingung, gelten die von uns festgestellten Zahlenverhältnisse, d. h. die halbe Saite gibt doppelt so viel Schwingungen uff.

Und nun kommen wir endlich auf das appetitliche Instrument des musikalischen Clown zurück. Unser Freund hatte sogleich bemerkt, daß diejenige Macaroni-
stange, die den Grundton (den tiefsten des Instrumentes) gab, doppelt so lang war wie die, welcher die Oktave zukam. Die Terzenstange hatte vier Fünftel, die Quintenstange zwei Drittel der Länge der Grundtonstange. Das von unserem jungen Freunde auf Grund seiner Beobachtung nachgebaute In-

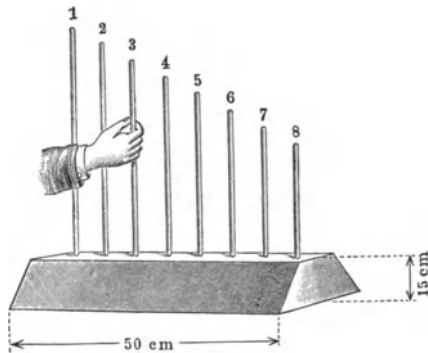


Fig. 51. Harmonika aus Holzstäben.

strument sehen unsere Leser in Fig. 51 abgebildet. Auf einem Holzkasten von etwa 50 cm Länge und 15 cm Höhe — er steht fester, wenn er abgeflachte Wände hat, doch ist diese Vorsicht nicht unbedingt nötig — sind in gleichen Abständen und schön senkrecht acht glatte Stäbe aus Holz, am besten Tannenholz, eingeleimt. Sie können fast 1 cm stark sein. Ein Stab gibt auch die Größe aller anderen an. Man wähle — falls man den Apparat nachbauen will — den größten nicht zu kurz, etwa 70 cm lang. Dann ist der dritte Stab (der die Terz geben soll)

$$\frac{70 \cdot 4}{5} = 56 \text{ cm, der fünfte (der die Quinte geben soll) } \frac{70 \cdot 2}{3} = 46,7 \text{ cm}$$

lang und der achte (für die Oktave) halb so groß wie der längste Stab, mithin 35 cm. Die übrigen Stäbe sollen die zwischen dem Durdreiklang liegenden anderen Töne der Tonleiter geben. Sie lassen sich wohl auch aus bestimmten Verhältniszahlen ableiten, bequemer aber nach dem Gehör abstimmen. Die Stäbe 2 und 4 erhalten angenähert die Größe der durch zwei dividierten Summe des ihnen vorangehenden und folgenden Stabes, Stab 2 also die Länge $\frac{70 + 56}{2}$

$$= 63 \text{ cm, Stab 4 } \frac{56 + 46,7}{2} = 51,4 \text{ cm, Stab 6 und 7 fügen}$$

sich der Größe nach zwischen Stab 5 und 8 ein. Man mache die Stäbe jedoch zunächst länger als nötig und stimme sie nach dem Gehör ab, indem man allmählich mit der Feile ihre Länge verringert.

Um diese eigenartige Harmonika zu spielen, bedarf es weiter keiner besonderen Vorrichtung. Es genügt, Daumen und Zeigefinger etwas anzufeuchten und, mit beiden die Stäbchen ergreifend, an ihnen mit sanftem Druck herunterzufahren. Es gehört nicht viel Übung dazu, um einen leidlich schönen Ton herauszubekommen.

Viel schöner wirkt die sogenannte Flammenharmonika oder chemische Harmonika, von der in diesem Abschnitte besonders die Rede sein sollte, nur ist sie wohl etwas schwieriger herzustellen. Man bringt in ihr nicht Saiten und nicht Stäbchen, sondern Luftsäulen zum Tönen. Streng genommen gehört also die Flammenharmonika in die Gruppe der Blasinstrumente. Der Vorgang ist ein sehr einfacher und kann jederzeit leicht in einem Experiment dargestellt werden. Man nehme eine Glasröhre, etwa 4 cm weit und 50 bis 60 cm lang, halte sie mit der linken Hand bei der Mitte und schlage mit der flachen rechten Hand auf eine der Öffnungen. Sofort wird man einen Ton hören, sehr kurz, aber doch deutlich genug, um ihn nachsingen zu können. Dieser Ton entsteht durch Hin- und Herschwingen der durch die Röhre seitlich abgegrenzten Luftsäule. Wie sie in Schwingung gebracht wird, ist für die Höhe des Tones ziemlich gleichgültig, man kann z. B. auch über die Röhrenöffnung hinblasen wie über einen hohlen Schlüssel und wird eben denselben Ton wahrnehmen, nur daß er jetzt nicht kurz abbricht, sondern so lange andauert, als man bläht. In Schornsteinen, die ja schließlich auch nichts anderes sind als luft einschließende Röhren,

hört man bisweilen einen tiefen, brummenden Ton, der aus den gleichen Ursachen entsteht — ebenfalls ein, allerdings schwacher, Versuch der Luftsäule, zu schwingen und Musik zu machen. In kleinen Verhältnissen kann man ebenso gut, ja vielleicht besser, den Nachweis führen, daß erwärmte Luftsäulen Tonquellen sein können. Unsere Röhre, über die wir hinbliesen, kann ohne Abänderung auch zu diesem Versuch dienen.

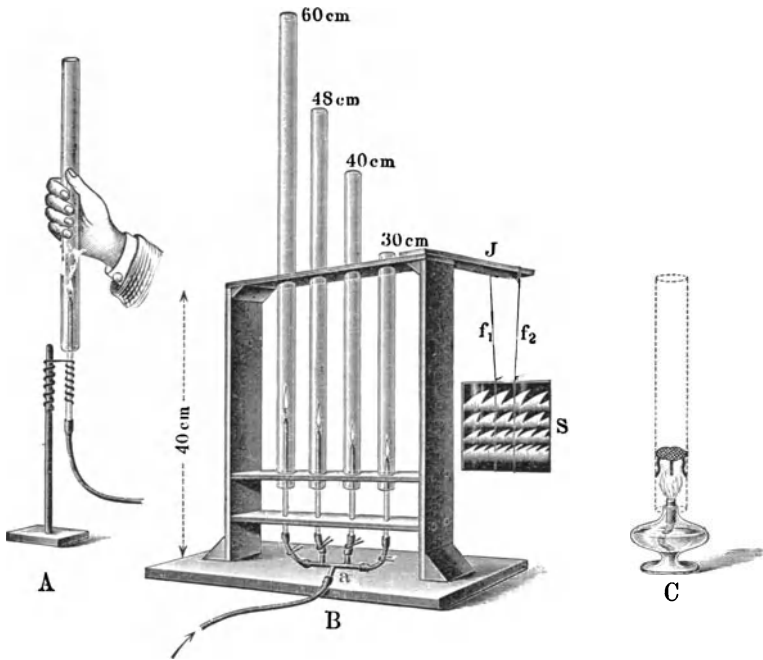


Fig. 52. Flammenharmonika.

Ein kleines Glasröhrchen wird an seinem oberen Ende zu einer etwa 1 mm weiten Spitze ausgezogen (vgl. S. 15) und an einem Stativ, wie es Fig. 52 A zeigt, in einfachster Weise durch einen etwas steifen Kupferdraht befestigt. Wird das Röhrchen durch einen Schlauch mit einem Gasbahn verbunden, so läßt sich dieser leicht so regulieren, daß ein kleines leuchtendes Flämmchen von etwa 2 cm Höhe aus der Öffnung herausbrennt. Über dies Flämmchen stülpt man die Glasröhre, sie dabei möglichst senkrecht haltend. Sobald die Brennerspitze sich etwa zu einem Fünftel der Länge in der Glasröhre befindet, wird

die Flamme unruhig, duckt sich plötzlich etwas zusammen, und in demselben Augenblick entsteht ein lauter, nicht unschöner Ton, eben derselbe wieder, der für die Röhre eigentümlich zu sein scheint. Er dauert so lange an, als das Flämmchen brennt und man die Röhre halten kann. Es ist aber nicht die Röhre, sondern wiederum die eingeschlossene Luftsäule, die erwärmt in Schwingung gerät und tönt.

Was die Tonhöhe anbelangt, so hängt sie von der Länge der Röhre ab, und die Stoßzahlen verhalten sich umgekehrt zueinander, wie die Längenzahlen der Luftsäulen. Nimmt man daher die Verhältniszahlen der Röhren wie 4 : 5 : 6 : 8, so werden nacheinander die Töne des Durdreiklages hörbar werden. Man bezeichnet dann eine Zusammenstellung von Röhren, deren jede natürlich durch ein besonderes Flämmchen gespeist werden muß, als Flammenharmonika. Beide Bezeichnungen haben mit dem Wesen des Apparates eigentlich nichts zu tun.

In Fig. 52 B finden unsere Leser eine derartige Harmonika abgebildet, und zwar in einer Form, die leicht hergestellt werden kann. Die Länge der größten Röhre mag 60 cm betragen, die Längen der übrigen Röhren nach dem bekannten Verhältnis dann entsprechend 48 cm, 40 cm und 30 cm. Ein Holzgestell aus zwei etwa 40 cm hohen und 8 cm breiten Seitenbrettchen und drei Querbrettern bildet den Halt für die Röhren und die vier Brenner. Die Röhren werden in die Holzleisten aber nicht eingefittet, sondern mit kleinen Holzstückchen festgeklemmt. Um dem Gestell in sich die erforderliche Steifigkeit zu geben, ist es zweckmäßig, in die Ecken, wie es auch die Figur zeigt, kleine dreieckige Klötzchen einzuleimen. Mit größeren Klößen werden die Fußenden der Seitenbretter gesichert. Die Gaszuleitung für die Brenner erfolgt durch einen Gummischlauch und durch das metallene Verteilungsröhrchen *a*, das man sich am besten vom Klempner anfertigen läßt. Zweierlei wird man sehr bald bemerken: nämlich einmal, daß es nicht gleichgültig ist, wo in der Röhre sich die Flamme befindet und dann, daß die Größe der Flamme ebenfalls einen Einfluß auf die Tonbildung hat. Soll der Ton kräftig ausfallen, so muß die Flamme in bezug auf die Tonhöhe (und die Röhrenlänge) eine gewisse Größe haben. Ist sie zu groß oder zu klein, so verschwindet der Ton. Man kann sich als Regel merken, daß die Flamme um so größer sein darf und um so weiter in die Röhre eingeführt werden muß, je länger die Röhre ist. Unsere Abbildung gibt ungefähr das richtige Verhältnis

wieder. Um die Gaszufuhr für jeden der Brenner einzeln zu regulieren, klemmt man Haarnadeln mehr oder weniger fest über die Zuführungsschläuche. Brennen die Flämmchen richtig, dann deckt man die Röhren mit kleinen Blechplatten fast ganz zu, worauf sie schweigen. Nun ist der Apparat zur Vorführung fertig. Es ist am effektivsten, wenn man zuerst den Grundton, darauf die Oktave, die Quinte und schließlich die Terz hören läßt. Alle werden von der vollen Stärke und dem Wohlklang des Zusammenklangs überrascht sein. Besonders aus der Ferne klingt die Harmonika prächtig.

Daß aber in der That die Luftsäulen es sind und nicht die Glasröhren, die tönen, kann man durch folgendes belehrende und unterhaltende Experiment beweisen. Es ist unschwer zu sehen, daß die Flamme, sobald der Ton einsetzt, ihre Gestalt verändert, größer, weniger leuchtend wird und unterhalb ihrer Spitze eine geringe Einschnürung zeigt. Der Grund liegt auf der Hand. Die hin und her schwingende Luft drückt die Flamme bald herunter, bald zerzt sie sie in die Länge in gleichmäßigem Rhythmus und um so öfter in der Sekunde, je höher der Ton und je kürzer die Röhre ist. Nur daß unser Auge dem schnellen Wechsel nicht zu folgen vermag und ihm das Urtheil noch dadurch erschwert wird, daß die lange und die kurze Flamme sich auf derselben Stelle befinden. Durch eine sehr einfache Vorrichtung, die sehr oft in der Wissenschaft dort angewendet zu werden pflegt, wo es gilt, ein Aufeinander für das Auge in ein Nebeneinander aufzulösen, kann das regelmäßige Auf- und Niederhüpfen der Flamme vielen Zuschauern zugleich gezeigt werden. Diese Vorrichtung ist nichts als ein Spiegel, aber ein Spiegel, der hin und her gedreht werden kann. Betrachtet man eine gewöhnliche Kerze in einem kleinen Taschenspiegel und dreht diesen um eine senkrechte Achse hin und her, indem man ihn zu beiden Seiten mit den Händen ergreift und abwechselnd die rechte und linke Hand vor- und zurückschiebt, so verschwimmt das anfangs deutliche Bild der Kerze zu einem leuchtenden Bande, das an allen Stellen so breit ist, als die Flamme hoch. Würde jedoch die Kerze bald hoch, bald niedrig brennen, so sieht jedermann ein, daß in dem Flammenbände sich breite Stellen mit schmalen ablösen müßten. Es würde das Bild einer leuchtenden Säge entstehen. Will man eine derartige Untersuchung auch an den Flammen unserer Harmonika vornehmen, so verfährt man am besten so, wie es in der Abbildung angedeutet ist. Es wird am oberen Querholz des Ständers ein 15 cm

breites Brettchen festgenagelt, das etwa 30 cm weit nach hinten über das Gestell hinausragt. Mit zwei Schnüren befestigt man in der angegebenen Weise an ihm einen Spiegel, der groß genug ist, wenn seine Länge 20 cm, seine Höhe 15 cm beträgt. Jedes vom Glaser zurechtgeschnittene Spiegelglasstück genügt dem Zweck. Wird der Spiegel auf der rechten Seite nach vorn, auf der linken nach hinten gedrückt — oder umgekehrt — und dann losgelassen, so führt er eine Reihe von Schwingungen um seine senkrechte Achse aus, und die Bilder der vier Flammen in ihm erscheinen als leuchtende Bänder, die übereinander liegen, da die Brenner in verschiedener Höhe angeordnet sind. Tönen

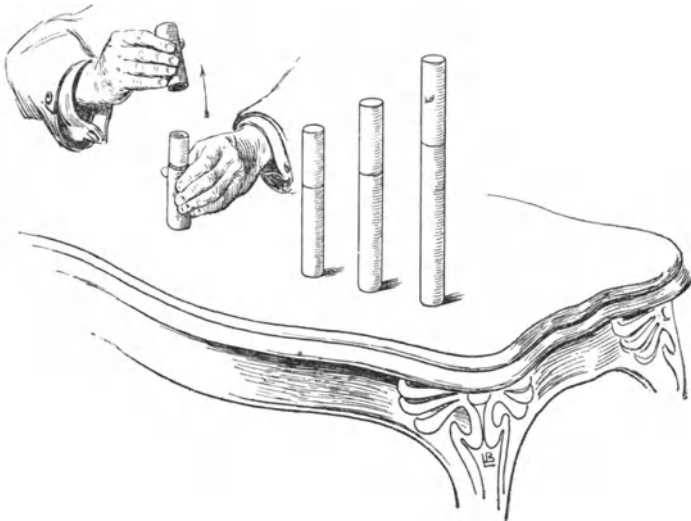


Fig. 53. Der Dreiflang auf Pappjutteralen.

die Luftsäulen, d. h. sind die Deckel von den Röhren entfernt, dann sieht man in der Tat statt der Bänder leuchtende, sägeförmige Gebilde. Vergleicht man die Flammenbilder miteinander, so erkennt man auf den ersten Blick auch in diesem Experiment wieder von neuem die Bestätigung unseres alten Gesetzes. Denn auf je vier Zacken des von der tiefsten Röhre (dem Grundton) herrührenden Gebildes kommen fünf Flammenzacken der Terz, sechs Zacken der Quinte und acht Zacken der Oktave.

Wir sind uns vollkommen klar darüber, daß nur die schwingende Luft es ist, die den Ton hervorbringt, und nicht etwa die Glasröhre

oder gar die Flamme. Aber wir können uns auch durch den Versuch davon überzeugen. In einer etwa 50 cm langen und 8 cm weiten Blechröhre befindet sich ein zu einem Knäuel zusammengeballtes und durch sich sperrende Drähte gegen die Wandungen festgedrücktes Maschennetz aus Drahtgaze (Fig. 52 C). Durch eine Spirituslampe oder einen Bunsenbrenner (vgl. S. 16) wird dieses Netz bis zur Glut erwärmt und darauf das Rohr von der Lampe genommen. Sofort beginnt die Luftsäule zu tönen, am lautesten, wenn das Rohr senkrecht gehalten wird und die erhitzte Luft in ihm ungehindert aufsteigen kann, der Ton verschwindet dagegen völlig bei wagerechter Lage und kehrt bei aufrechter Stellung wieder. Das Spiel läßt sich so oft wiederholen, als das Netz noch genügend warm ist. Jede Flammenwirkung und jede Explosion ist bei dieser Anordnung des Versuches offenbar ausgeschlossen.

Noch eine andere Harmonika. Nicht immer beschäftigt man sich in der Schule nützlich. Leider werden oft genug mehr oder minder lose Streiche vollbracht zur Freude der Mitschüler und zum gerechten Leide der Lehrer. Das ist nun einmal so, und der Verfasser ist weit davon entfernt, seine Mittäterschaft an so manchen harmlosen oder auch üblen Schulstreichen zu leugnen. Zu seiner Zeit war es Mode, den träumenden Vordermann durch plötzliches Aufziehen des Federhalterfutterals zu erschrecken. Das gab dann jedesmal einen erfreulichen Knall und einen weniger erfreulichen Tadel seitens des Lehrers. Niemandem von uns ist es aber damals sonderbarerweise aufgefallen, daß das Futteral auch einen Ton gab, der seiner Höhe nach, trotz seiner kurzen Dauer, leicht festzustellen ist. Erst viel später wurde der Verfasser darauf aufmerksam und sah auch einen einfachen Apparat, nach dessen Vorführung er nicht mehr zögerte, selbst einem einfachen Pappfutteral eine gewisse musikalische Begabung zuzuerkennen.

Der Apparat ist mit wenigen Worten beschrieben. Zuvor aber eine Frage. Warum klingt das plötzlich aufgezoogene Futteral? Es ist wiederum die von ihm eingeschlossene, elastische Luft, die, beim Aufziehen des Deckels verdünnt, gleichsam in die Länge gerückt wird und dann hin und her schwingt. Auch müssen sich verschieden lange Luftsäulen ihrer Schwingungszahl nach verhalten umgekehrt wie ihre Längen. Verfertigt man daher vier verschließbare Pappröhrchen

(Fig. 53) und macht die größte Röhre 24 cm, die zweite 19,2, die dritte 16 und die vierte 12 cm lang, so muß man auch von ihnen den Durdreiklang, nebst Oktave, zu hören bekommen, wenn man, vom längsten beginnend, die Futterale nacheinander aufzieht. Denn die Schwingungszahlen verhalten sich wie 19,2 zu 24; 16 zu 24; 12 zu 24 oder wie 4 zu 5; 4 zu 6; 4 zu 8.

Musizierende Weingläser. Ein nicht zu dickwandiges Stengelglas läßt sich auf folgende etwas eigenartige Weise zum lauten Tönen bringen. Man benezt die gänzlich fettfreie Fingerspitze mit Wasser und fährt mit ihr unter mittelkräftigem Druck auf dem Rande herum. Das Benezen des Fingers muß man des öfteren wiederholen. Zu



Fig. 54. Musizierendes Weinglas.

Anfang wird man wenig Glück haben und nicht viel mehr als ein ärgerliches Grunzen zu Wege bringen. Ist aber der Glasrand erst völlig benezt und das Glas, wie schon gesagt, dünnwandig genug, so beginnt es voll und rein zu singen, besonders wenn man dann mit dem starken Aufdrücken nachläßt. Schließlich — wenn es erst „eingespielt“ ist — antwortet es schon auf eine leise streichende Berührung mit einem überaus zarten Ton (Fig. 54).

Da die Tonhöhe abhängt von der Größe, der Wandung und dem Inhalt des Glases, so wird man leicht eine Anzahl Gläser in eine Reihe, vom tiefsten Ton an aufsteigend, ordnen können. Um die Tonleiter rein abzustimmen, füllt man mehr oder weniger Wasser in die Gläser ein. Je mehr Wasser, desto tiefer wird der Ton. Auf einer solchen „Glasharmonika“ können getragene Melodien sehr hübsch zur Wirkung kommen. Bisweilen begegnet man in kleineren Städten reisenden Virtuosen, die diese alte Kunst üben. Denn sie ist in der Tat sehr alt, jedenfalls älter als 200 Jahre, da schon der Herausgeber eines „Natürlichen Zauberbuches“ (erschienen zu Nürnberg im Jahre 1740) jagt: „Dieses ist ein sehr gemeines Experiment und wird hin und wieder von den Gästen auf Gastereien und Hochzeiten exerziert,

welches auch um so viel lustiger fällt, als viele zugleich mit mehreren Gläsern solches öfters zu probieren pflegen.“

Sind die Gläser etwa zur Hälfte mit Wasser angefüllt, so braucht man nur von oben hinein zu sehen, um zu erkennen, wie sie schwingen. Das Wasser schlägt unaufhörlich kleine Wellen, und man wird bemerken, daß dort, wo der Finger sich gerade befindet, die stärkste Wellenbewegung auftritt. Sie erstreckt sich quer herüber nach der anderen Seite und ist rechtwinklig von einem zweiten Wellenstreifen, der ebenfalls durch den Mittelpunkt läuft, begleitet. Die ganze Erscheinung ist wunderbar zierlich und sieht eher einer leichten Trübung des Wasserspiegels ähnlich, doch bemerkt man sofort, daß es nichts ist, als die Erschütterung des Glases, die sich dem Wasser mitteilt; denn in dem Augenblick, wo der Finger den Glasrand verläßt, verschwindet mit dem Tone auch die Trübung.

*** Chladni's Klangfiguren.** Auf Theatern wird der Klang großer Kirchenglocken bisweilen durch Anschlagen langer Stahlstangen oder frei aufgehängter dicker Eisenbleche hervorgerufen. Bei den Stahlstangen ist es nicht schwer, sich eine Vorstellung über die Art ihrer Schwingungen zu machen, nach allem, was wir über die Schwingungen der Saiten und Stäbe wissen. Bei den tönenden Platten will eine solche Vorstellung nicht so leicht gelingen, und erst seit den schönen Untersuchungen des Physikers Chladni (geb. 1756 zu Wittenberg, gest. 1827 zu Breslau) besitzen wir genaue Kenntnis von den Vorgängen. Wie Chladni auf seine Versuche kam, erzählt er selbst: „Über die Schwingungsarten und Tonverhältnisse verschiedener Arten von klingenden Körpern fand ich nirgends Belehrung. Unter anderen hatte ich bemerkt, daß eine jede nicht gar zu kleine Glas- oder Metallscheibe mannigfaltige Töne gab, wenn ich sie an verschiedenen Stellen hielt und anschlug und wünschte den Grund dieser noch von niemand untersuchten Verschiedenheit der Töne zu wissen. Ich spannte eine messingene Scheibe, die zu einer Schleifmaschine gehörte, an einem in ihrer Mitte befindlichen Zapfen in einen Schraubstock und bemerkte, daß durch Striche mit dem Violinbogen sich darauf verschiedene Töne hervorbringen ließen, die stärker und anhaltender waren, als man sie durch Anschlagen erhalten kann. Die Beobachtungen von Lichtenberg über die Figuren, die sich bei dem Auftreten des Harzstaubes auf Glas- oder Harzscheiben bei verschiedener Elektrizität zeigen (vgl. den

betreffenden Abschnitt dieses Buches), erregten in mir den Gedanken, daß vielleicht die mannigfaltigen schwingenden Bewegungen einer Scheibe sich ebenfalls durch eine Verschiedenheit der Erscheinungen verraten würden, wenn ich Sand oder etwas Ähnliches auftrete. Es erschien auch bei diesen Versuchen auf der Scheibe eine sternförmige Figur.“

Um die Chladnischen Versuche zu wiederholen, bedarf es vor allem einer Klangplatte. Glas kann man dazu verwenden, vorzuziehen sind jedoch Platten aus Messingblech, die aber dann nicht zu klein sein dürfen. Quadratische von etwa 30 cm Seitenlänge geben bereits ganz gute Resultate. Ein geschickter Schlosser wird gern bereit sein, sie uns aus 1 bis 2 mm starkem Messingblech zu schneiden, am Rande genau zu befeilen und auf einer metallenen Richtscheibe mit einem Holzhammer gerade zu richten. Dieses Ausrichten muß sehr behutsam vorgenommen werden, da sonst ungleiche Spannungen das Blech für unsere Zwecke unbrauchbar machen. Es ist nicht leicht, eine gute Platte zu erhalten. Genau in die Mitte der Platte bohrt der Schlosser mit geringer Mühe ein Loch von etwa 6 mm Durchmesser.

Wenn eine Platte klingen soll, darf sie nur in der Mitte fest unterstützt sein. Am wohlfeilsten geschieht ihre Befestigung an einem alten Küchentisch, der das Anbohren verträgt. Man durchbohrt ein rundes, oben und unten eben gefeiltes, etwa 4 cm hohes Holzklötzchen (a, Fig. 55) und ein Korkstück von kleineren Abmessungen (b), legt das erstere dicht am Rande auf den Tisch, darüber die Klangplatte, zuletzt das Korkstück und befestigt alles zusammen mit einer langen Holzschraube auf der Tischplatte. Die Messingtafel, deren Oberfläche man übrigens zweckmäßig mit einem schwarzen Metallack anstreicht, ragt dann über den Tischrand hinaus. Soll sie klingen, so reibt man einen Violinbogen gut mit Kolophonium ein und streicht, wie es die Abbildung zeigt, ruhig und nicht so stark aufdrückend, an dem Plattenrande herunter. Nach einigen Versuchen wird man einen zwar nicht schönen, aber reinen Klang zustande bringen.

Streut man dann durch ein Leefieb feinen trockenen Sand gleichmäßig und ja nicht zu dick auf die Platte und streicht sie an einer Ecke an, während man sie mit dem Finger der anderen Hand in der Mitte einer der Seiten berührt, so wird der Sand von der schwingenden Oberfläche emporgeschleudert, tanzt hin und her und bleibt schließlich, wenn ein reiner Ton entstanden ist, zu einem schönen Kreuz angeordnet

auf der Platte liegen. Dieses Kreuz ist von der Mitte der einen Seite nach der anderen Seite gerichtet, wenn man die Platte in der angegebenen Weise behandelt, von einer Ecke zur anderen (also diagonal),

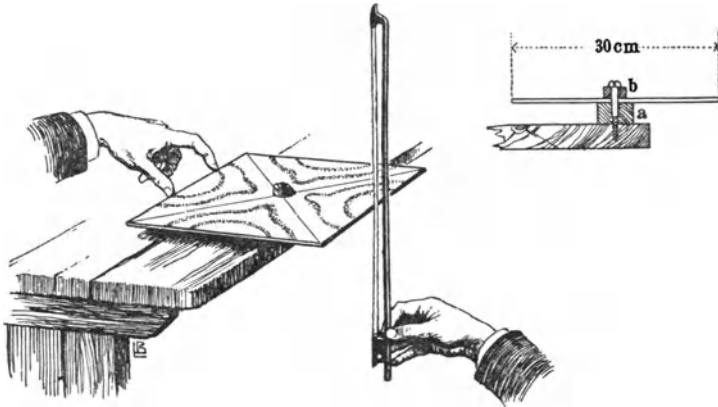
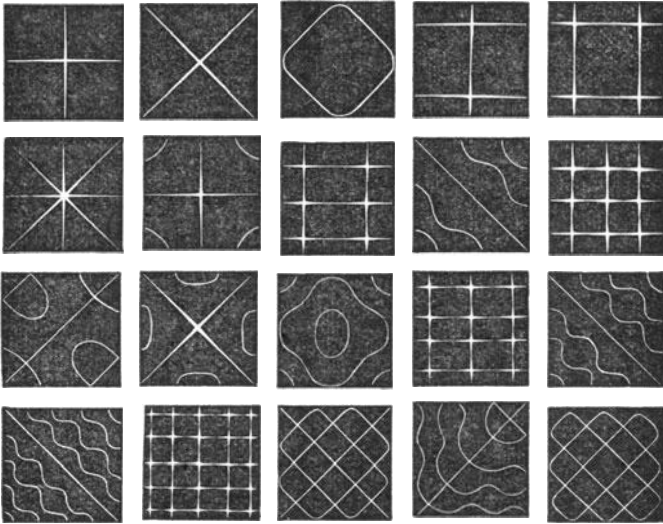


Fig. 55. Klangfiguren.

wenn die Platte in der Mitte angestrichen und an einer Ecke berührt wird. Sein Erscheinen hängt jedoch stets von der Reinheit des Klanges ab; ist dieser häßlich, kreisförmig und schwirrend, nicht entschieden, sondern

unklar; so wird sich niemals die Klangfigur in ihrer vollen Schärfe zeigen. Diese ist aber so auffallend und vollendet, daß jeder, der das Experiment noch nicht gesehen hat, über die Linien und ihre Regelmäßigkeit in höchstes Erstaunen geraten muß.

Die Erscheinung beruht auf dem Umstande, daß nicht alle Stellen der klingenden Platte in Schwingung sind, sondern ganze Linien, die sich zunächst dort ausbilden, wo der hemmende Finger anliegt, in Ruhe bleiben, während die anderen Teile in heftige, äußerst schnelle Bewegung geraten. Von den bewegten Teilen wird der Sand hinweggesprengt und sammelt sich an den ruhigen Stellen an. Die Ruhelinien der Platte werden mithin durch den Sand sichtbar.

Durch Dämpfung und Bogenanstrich ist die Platte in eine Art Zwangslage versetzt und kann zweifellos nicht mehr in jeder beliebigen Form schwingen. Stets aber findet sie noch eine Lösung der ihr gestellten Aufgabe, indem sie immer an der oder den Dämpfungsstellen eine Ruhelinie und an der Stelle des Bogenstriches ein Feld heftiger Bewegung ausbildet. Dämpft man, wie es die Abbildung links unten auf unserer Fig. 55 darstellt, mit zwei Fingern rechts und links in gleichem Abstände von der Mitte und streicht auf der gegenüberliegenden Seite in der Mitte an, so bildet sich die gezeichnete Figur aus. Dem aufmerksamen Beobachter wird es nicht entgehen, daß die Platte bei jeder neuen Art der Benutzung einen anderen Ton gibt; die Art, wie sie schwingt, um diesen Ton zu erzeugen, wird durch die entstehende Sandfigur angezeigt. Im allgemeinen geben die tieferen Töne bei der nämlichen Scheibe immer die einfacheren, die hohen Töne aber die zusammengesetzteren Figuren, und das ist ja nach allem, was bisher über das Tönen der Körper gesagt wurde, ganz natürlich, da die höheren Töne kürzere Schwingungsflächen, also auch häufigere Ruhelinien voraussetzen. Selbstverständlich geben anders geformte Scheiben unter sonst gleichen Umständen neuartige Figuren, und unsere Leser mögen sich einmal, wenn sie Lust dazu haben, auf runden, sechs- und achteckigen Scheiben versuchen.

Je höher der Ton, desto verwickelter und kunstvoller das Klanggebilde, desto überraschender die Geschwindigkeit, mit der die zarte Figur entsteht. Auf jeden denkenden Menschen muß das Experiment den größten Eindruck machen. Da ist ein einfaches Stück Messingblech; man streicht es mit einem Bogen an und es klingt. Man verändert die Art des Striches und der Ton wird ein anderer, kein Auge sieht

etwas von den rätselhaften Vorgängen, die sich in der Platte abspielen. Da verraten plötzlich die hüpfenden, tanzenden Sandkörnchen das ganze Geheimnis und gewähren uns den Einblick in einen Vorgang, wie ihn wunderbarer, zarter und vollkommener sich auch die lebhafteste Phantasie nicht auszubedenken vermag.

★ Tönender Wasserstrahl. Ein sehr schöner Versuch, von dem nun die Rede sein soll, ist mit verhältnismäßig geringen Mitteln auszuführen. Man bedarf dazu nur einer Messingröhre von 2 cm lichter Weite und etwa 20 cm Länge, eines Stückchens Gummi, vielleicht von einem der bekannten roten Kinderluftballons oder besser noch von der etwas dickeren Sorte, wie sie in Gummivarengeschäften zu haben ist, und einiger Glasröhrchen.

Die Messingröhre erhält 3 cm von ihrem oberen Rande — vergleiche die Fig. 56 — ein seitliches Ansatzröhrchen, etwas enger als die Röhre selbst und etwa 3 cm lang. Es dient zum Aufstecken eines Schalltrichters aus Pappe, der bald aus nicht zu dickem Material zusammengeklebt ist und unten eine Tülle etwas größer als das Röhrchen erhält. Wird die Röhre vom Klempner am oberen Rande etwas nach außen umgebördelt, so läßt sich die schon erwähnte Gummihaut darüberspannen und mit einem Wollfaden festbinden; sie darf indes nicht allzu straff sein. Die Röhre muß, mit der Membran nach oben, aufrecht stehen und wird daher auf einem Grundbrettchen *b* (siehe die Figur rechts) mit Hilfe des eingeleimten oder eingekitteten Holzapfens *a* befestigt. Dann ist der Apparat zur Benutzung fertig.

Um seine Tätigkeit zu verstehen, erinnere man sich eines ganz alltäglichen Vorganges. Jedermann weiß, daß aus einem fast geschlossenen Wasserleitungshahn das Wasser in Tropfen herabfällt. Auf einem Papier aufgefangen, verursacht jeder Tropfen einen deutlich hörbaren Schlag. Diese Schläge folgen einander in gleichen Zeitabständen und wären wohl geeignet, einen Ton entstehen zu lassen, wenn sie häufig genug fielen, denn ein Ton entsteht ja durch schnelle rhythmische Stöße (vgl. S. 133). Diese schnelle Tropfenfolge ist nun so ohne weiteres nicht zu erreichen, selbst wenn man den Hahn weiter öffnet. Über ein geräuschvolles Trommeln kommt es nicht hinaus. Eine wertvolle Beobachtung kann man aber an dem Wasserstrahl doch machen. Hebt man nämlich das Papierblatt — oder besser ein Stück Pappe — in ihm in die Höhe, dem Hahn entgegen, so wird das Geräusch schwächer

und schwächer und hört an einer bestimmten Stelle ganz auf. Mithin löst sich der Strahl nicht sogleich, sondern erst eine Strecke unterhalb des Hahnes in einzelne Tropfen auf.

Unser Instrument mit der Membran ist nun lediglich eine verfeinerte Auffangvorrichtung für den Wasserstrahl. Jeder noch so leise Schlag auf die Gummihaut wird durch den Schalltrichter deutlich hörbar,

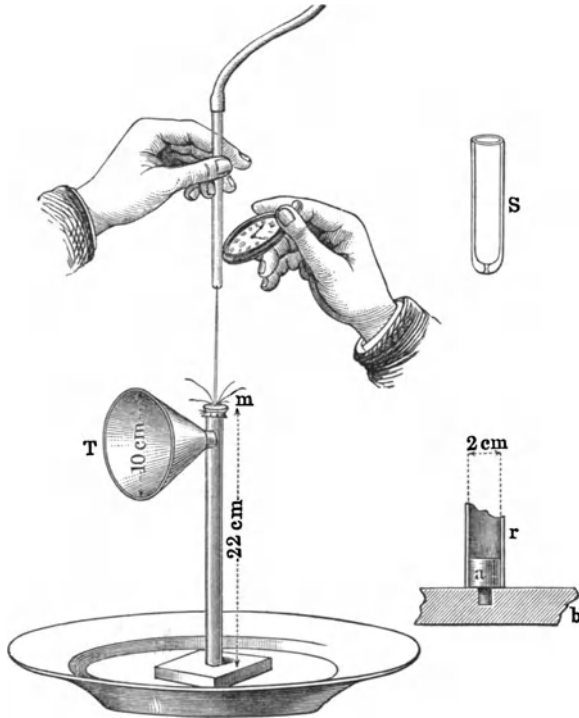


Fig. 56. Der singende Wasserstrahl (Hydraulisches Mikrophon).

und Tropfen gar, die aus der Wasserleitung auf sie fallen, klingen im ganzen Zimmer wie entfernte Hammerschläge auf einen Amboß.

Wir wählen für unsere Versuche einen feinen Wasserstrahl, indem wir Wasser durch ein Glasröhrchen austreten lassen. Es ist aber nicht zweckmäßig, dieses in der auf S. 14 angegebenen Weise zu einer Spitze auszuziehen. Man verfährt zweckmäßiger wie folgt: Das glatt abgesehne etwa 3 mm weite Glasröhrchen wird unter fleißigem Drehen

mit der Spitze in die Flamme der Spirituslampe gebracht, bis die rotglühende Wandung zusammensinkt und die Öffnung sich zu schließen beginnt. Den Augenblick des Schließens wartet man jedoch nicht ab, sondern nimmt, wenn die Wandungen sich fast berühren, das Röhrchen von der Lampe fort und bläst schnell und kräftig hinein. Auf diese Weise erhält man runde Öffnungen von etwa 1 mm Durchmesser (vgl. Fig. 56 S), und eines von mehreren Röhrchen wird stets für unsere Zwecke brauchbar sein.

Das Wasser leitet man mit Schlauch und Heber aus einem nicht zu niedrig, vielleicht auf einem Schrank, aufgestellten Gefäß der Spitze zu und erhält so einen bis auf eine ziemlich weite Strecke zusammenhängenden Wasserstrahl. Man läßt ihn, das Röhrchen senkrecht in der Hand haltend, auf die Membran fallen, was zunächst ein gehöriges Getöse macht, und nähert die Spitze dann der Membran gerade so weit, daß eben das Geräusch verstummt und der Wasserstrahl lautlos — wie Öl — herabfließt.

Sonderbarerweise ist — und nun kommt das Merkwürdige an der Sache — dieser Wasserstrahl empfindlich gegen Geräusche und musikalische Töne, indem er das Bestreben zeigt, unter ihrem Einfluß in einzelne Tropfen zu zerfallen. Noch merkwürdiger aber ist, daß dieser Zerfall genau in dem Rhythmus geschieht, den der Ton angibt. Hält man z. B. eine Stimmgabel, die den Kammerton *a* gibt und also 435 mal in einer Sekunde schwingt, mit ihrem Stiel gegen das Glasröhrchen, so fallen auch 435 Tropfen in der Sekunde auf den Gummi, und der Erfolg ist leicht vorherzusagen. Die Tropfen singen auf der Membran ebenfalls den Kammerton, aber durch den Schalltrichter verstärkt mit einer Kraft, daß man versucht ist, sich die Ohren zuzuhalten. Der Erfinder des Apparates, Graham Bell, mochte ihn also wohl mit Recht ein hydraulisches Mikrophon nennen, denn er vermag in der That mit Hilfe der Energie des fallenden Wassers schwache Töne zu verstärken. Der Verfasser des Buches hat sogar versucht, den Wasserstrahl zum Sprechen zu bewegen, indem er an dem Ausflußröhrchen einen Trichter anbrachte und in diesen etwas hineinrief. Der Wasserstrahl sprach nun in der That, aber so undeutlich grob und mit so häßlichem Ton, daß bei den längere Zeit fortgesetzten Versuchen einige Zuhörer das Feld räumten.

Dagegen kann man bei recht genauer Einstellung des Strahles das Ticken einer kräftig pochenden Taschenuhr einem großen Auditorium

hörbar machen. Unsere Abbildung stellt diesen Versuch dar. Der Wasserdruck darf dabei nicht zu gering sein, auch eignet sich nicht jede Spitze für das Experiment.

*** Schallempfindliche Flammen.** Das Beste haben wir uns bis zuletzt aufgespart. Es soll eine Flamme beschrieben werden, die die wunderbare Eigenschaft hat, gegen Schall empfindlich zu sein. Derartige Flammen sind gar nicht so selten, als man denken sollte. Entdeckt wurden sie im Jahre 1857 durch John Leconte. Hören wir was er darüber sagt:

„Ich befand mich in einer Privatgesellschaft, die sich des Abends versammelt hatte, um Musik zu hören. Es wurden einige Trios von Beethoven auf Klavier, Geige und Cello ausgeführt. An der Backsteinwand in der Nähe des Klaviers waren zwei Fischschwanzbrenner angebracht. Beide Flammen brannten stetig, bei geschlossenen Fenstern und ruhiger Luft. Die eine befand sich jedoch offenbar unter einem Druck, der sie beinahe zum Flackern brachte. Kurz nach Beginn der Musik bemerkte ich, daß die Flamme Schwingungen zeigte, die mit den hörbaren Schwebungen der Musik vollkommen übereinstimmten. Diese Erscheinung mußte jedem auffallen, namentlich wenn die starken Töne des Cellos hinzutraten. Es war außerordentlich interessant zu beobachten, wie genau sogar die Triller des Instrumentes von der Flamme wiedergegeben wurden. Für einen Tauben wäre die Harmonie sichtbar geworden.“

In den physikalischen Laboratorien und bei den Vorlesungen über Akustik erzeugt man die schallempfindlichen Flammen mit besonderen Hilfsmitteln, indem man Leuchtgas unter bedeutend größerem Druck als dem gewöhnlichen besonders konstruierten Brennern mit Platinspitzen entströmen läßt. Derartige Flammen sind dann allerdings erstaunlich empfindlich und ersetzen geradezu für viele Versuche das Ohr. Schon bei dem geringsten Geräusch zucken sie zusammen, wie eine nervöse Dame; Pfeifen, Schnalzen mit der Zunge, Rasseln mit Schlüsseln bringt sie fast zum Verlöschen, auch wenn es in einer Entfernung von mehreren Metern geschieht. Selbst das Ticken einer Taschenuhr macht die Flamme dem Auge sichtbar. Aber die Erzeugung von Preßgas ist umständlich, und keiner unserer Leser wird Lust haben, sich für den Versuch einen Gassack oder einen Gasbehälter für vieles Geld zu kaufen. Sie sollen aber trotzdem auf das schöne Experiment nicht ganz und gar verzichten.

Schaltet man nämlich kurz vor den Brenner einen größeren Behälter, in dem sich das Gas elastisch zusammendrücken kann, so zeigt sich die Erscheinung fast regelmäßig — wenn auch nicht so ausgeprägt — schon bei dem gewöhnlichen Gasdruck. Man verschafft sich aus einem Geschäft für chemische Bedarfsartikel eine kleine, unten einmal tubulierte Flasche von etwa 250 ccm Inhalt, d. h. eine solche, die unten

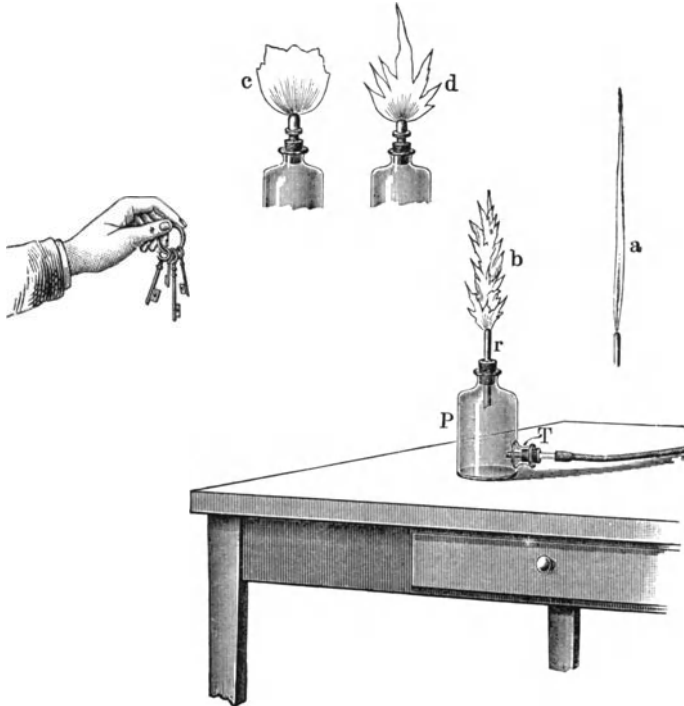


Fig. 57. Schallempfindliche Flammen.

bei T (wie es Fig. 57 zeigt) einen angefehten Hals besitzt. Durch diesen Hals wird mittels Schlauch, Glasrohr oder Stopfen das Gas von einem Hahn her eingeführt. Die Zuführung muß auf jeden Fall weit genug sein, keinesfalls darf also der Schlauch irgendwo über einen Gasbrenner gesteckt werden. In der Küche findet man meist einen passenden Gasbrenner mit Schlauchansatzstück. In den Hals der Flasche werden, auch mittels Stopfen, die zu untersuchenden Brenner eingesetzt. Man verschafft sich gleich mehrere Fischschwanz-, Fledermaus- oder

Specksteinbrenner, die in jedem Lampengeschäft zu haben sind und sich leicht mit ihrem Gewinde in die Durchbohrung des Stopfens eindrehen lassen. Man wird unter ihnen leicht den einen oder anderen Brenner finden, der bei voll geöffnetem Gashahn eben im Begriff ist, zu rauschen und nach oben den Ansaß zu kleinen Spitzen zeigt (Fig. 57 c). Dies ist der für den Versuch geeignetste Brenner.

Hier mag nun gleich ein- für allemal vor einer Unvorsichtigkeit gewarnt sein. Wenn das Gas in die Sammelflasche eindringt, so muß es die darin enthaltene Luft erst verdrängen. Solange dies nicht geschehen ist, befindet sich in der Flasche ein explosives Gemenge, und es wäre ein sträflicher Leichtsin, die Flamme zu früh zu entzünden. Man wartet damit eine oder zwei Minuten, dann ist keinerlei Gefahr mehr dabei.

Es ist nun zehn gegen eins zu wetten, daß die Flamme des Brenners gegen Schall empfindlich ist. Man versuche ihr gegenüber alle Arten des Geräusches, klatsche in die Hände, pfeife, schüttele ein Schlüsselbund, schlage mit dem Hammer gegen ein Blech, zerreiße Papier, und man wird sicher irgend einen Einfluß auf die Flamme bemerken. Ist sie empfindlich, dann sendet sie, solange das Geräusch andauert, lange leuchtende Zacken nach oben aus, auch bei Tönen, die hoch und schrill sind, wie z. B. der Pfeifton auf einem hohlen Schlüssel. Leuchtet die Flamme nicht genügend, so gibt man etwas Benzol — ein halber Fingerhut voll ist ausreichend — in die Flasche.

Unvergleichlich bessere Resultate liefert jedoch eine runde Brenneröffnung, wie man sie erhält, wenn man ein Glasröhrchen spitz auszieht. Man sollte alle möglichen Öffnungen von $\frac{1}{2}$ bis 2 mm Weite versuchen. Flackert und braust die Flamme, so taugt sie nichts, hat sie jedoch die lange, steife und spitze Form der Abbildung a (Fig. 57), so kann man sie versuchen. Am empfindlichsten ist sie wiederum, wenn sie gerade aus der langgestreckten Form zum Flackern übergehen will. Dann bricht sie bei jedem Geräusch zusammen und breitet sich brausend zu einem struppigen, besenartigen Gebilde aus (b), ja sie ist jeder Kleinigkeit gegenüber so schreckhaft, daß man sich bei ihrem drolligen Benehmen des Lachens nicht erwehren kann, was sie allerdings wiederum übel nimmt. Nicht immer gelingt das erstaunliche Experiment mit demselben Brenner gleich gut, da der Gasdruck nicht unbeträchtlich schwankt. Zur Dämmerstunde, wenn die Gasanstalten den Druck für den Abendverbrauch zu erhöhen beginnen, oder kurz nachdem die Läden

ihre Beleuchtung ausgeschaltet haben, pflegt sich der Erfolg am ehesten einzustellen.

Eines wird man noch an dieser Wunderflamme bemerken, daß sie nämlich auch gegen die Sprache empfindlich ist. Deklamiert man laut in ihrer Nähe ein Gedicht, so benimmt sie sich ganz eigentümlich. Sie sucht offenbar aus den Worten einzelne Laute heraus. „Manche hebt sie“, wie Tyndall, der englische Physiker sagt, „nur durch leichtes Nicken hervor, bei anderen verneigt sie sich entschiedener und für einige macht sie das tiefste Kompliment, während sie für viele ein völlig taubes Ohr hat.“ Spricht man nacheinander die fünf Vokale aus, so kümmert sie sich um *u* gar nicht, um *o* kaum, um *a* sehr wenig, während sie bei *e* und namentlich bei *i* völlig nervös wird und ganz erschreckt zusammenfährt. Offenbar sind also die Vokale, ihrem Klange nach, verschieden zusammengesetzt, und die empfindliche Flamme gibt der Wissenschaft Gelegenheit, diesen Klang zu untersuchen. Sie ist also ein ernstes Ding und gar kein Spielzeug, ja man möchte sagen, sie benimmt sich wie ein denkendes und empfindendes Wesen.

Wir leben in der Zeit der Überraschungen und ein Vorgang, so wunderbar er an und für sich auch sein mag, wird in unserer aufgeklärten Zeit leicht alltäglich und seines geheimnisvollen Zaubers entkleidet. Was aber würde man wohl noch vor 200 Jahren zu diesem Experiment gesagt haben?

Dritter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Wärmelehre.

Eine der wichtigsten und augenfälligsten Wirkungen der Wärme besteht in der Ausdehnung der festen, flüssigen und gasförmigen Körper. Zwischen den festen und flüssigen Körpern einerseits und den gasförmigen andererseits besteht aber insofern ein bemerkenswerter Unterschied, als die festen und flüssigen sich je nach ihrer Substanz bei derselben Temperaturerhöhung verschieden, die gasförmigen dagegen immer um denselben Betrag ausdehnen, wie sie auch heißen mögen.

★ **Ein Thermometer aus Metall.** Man lötet einen 1 cm breiten und 30 cm langen Eisenblechstreifen und einen ebenso langen und breiten Messingblechstreifen der Länge nach aufeinander, indem man zuerst beide Streifen verzinnt, dann mit Zangen aufeinanderdrückt und erwärmt, bis das Lot schmilzt. Der Doppelstreifen krümmt sich beim Erkalten und wird dann mit einem Hämmerchen gerade gerichtet. Fig. 58 zeigt ihn zwischen einem Gewicht und einer Kiste eingeklemmt, über die er fast seiner ganzen Länge nach herausragt.

Führt man mit einer Spirituslampe unter dem Streifen entlang, so sieht man ihn sich sofort krümmen, und zwar nach der Seite hin, auf der das Eisen sich befindet, woraus man schließen muß, daß bei gleicher Erwärmung sich das Eisen weniger stark ausdehnt als das Messing. Je dicker die Metalle sind, desto weniger schnell tritt die Wirkung ein, und auch das ist erklärlich, denn mit der Wärme und der Temperatur verhält es sich so ähnlich, wie mit der Dampfmenge und Spannung in einem Dampfkessel. Bei einem großen Kessel dauert es länger als bei einem kleinen, bis sich dieselbe Spannung (in Atmosphären gemessen) zeigt, vorausgesetzt, daß unter beiden ein gleich großes Feuer brennt. Denn der in beiden Kesseln sich in gleicher Menge entwickelnde Dampf hat in dem einen natürlich einen größeren Raum aus-

zufüllen als in dem anderen. Mit der Spannung wäre die Temperatur zu vergleichen. Sie steigt in einem kleineren Körper schneller als in einem großen, oder, was dasselbe besagt, man muß, um dieselbe Temperatur zu erreichen, einem großen Körper mehr Wärme zuführen als einem kleinen. Soll der Doppelstreifen daher schnell empfindlich sein, so wird man ihn aus dünnem Blech und nicht zu breit anfertigen.

Ist der Streifen lang genug und befestigt man an seiner Spitze gar noch einen Zeiger, der auf einer Skala spielt, so kann man sogar die Schwankungen der Zimmertemperatur verfolgen und besitzt dann ein Instrument, das wohl den Namen eines Metallthermometers verdient (Fig. 58). Um es wirklich brauchbar zu machen, vergleicht

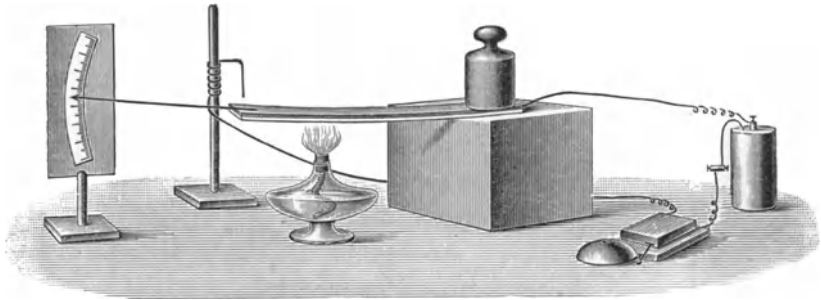


Fig. 58. Metallthermometer.

man es mit einem guten Quecksilberthermometer und schreibt danach die Celsiusgrade auf die Skala. Dieses Verfahren nennt man eine Eichung.

Man kann aus dem Metallthermometer auch ein Alarmthermometer machen, indem man entweder über oder unter dem beweglichen Ende des Streifens, je nachdem der Apparat bei zu tiefer oder zu hoher Temperatur alarmieren soll, einen elektrischen Kontakt anbringt und diesen einerseits, wie den Metallstreifen andererseits, in bekannter Weise mit einer elektrischen Klingel und einer Batterie verbindet. Steigt die Temperatur zu hoch, so wird die Feder gegen den Kontakt stoßen, den Strom schließen und das Läutewerk in Betrieb setzen. Durch Veränderung des Kontaktes kann man den Alarm bei jeder beliebigen Temperatur eintreten lassen. Die selbsttätigen Feuermelder in den Fabriken weisen eine ähnliche Konstruktion auf.

*** Ein Luftthermometer.** Auch die Ausdehnung der Luft bei Wärmezufuhr läßt sich unter geeigneten Bedingungen, die wir allerdings nicht ganz zu erfüllen vermögen, zur Messung der Temperatur verwenden.

Eine nicht zu weite Glasröhre wird mit Kork und Siegellack in dem Halse einer dünnwandigen Flasche befestigt. Die Rittung muß völlig dicht sein und darf keinesfalls Luft durchlassen. Man kehrt, wie es Fig. 59 zeigt, die ganze Vorrichtung so um, daß die Öffnung der Glasröhre in ein kleines Gefäß mit gefärbtem Wasser zu stehen kommt. Hält man dann die warmen Hände an die Flasche, so dehnt sich die eingeschlossene Luft aus und kommt in kleinen Bläschen zum Vorschein. Bei der Abkühlung zieht sie sich wieder zusammen und das Wasser steigt bis zu einer bestimmten Stelle in dem Rohre auf. Schon die Annäherung der Hand genügt, um die Wassersäule etwas sinken zu lassen, und auch der Einfluß der Zimmertemperatur macht sich deutlich geltend, so empfindlich ist die Vorrichtung. Die Wassersäule sinkt bei einer Erwärmung und steigt bei der Abkühlung. Es wäre aber unsinnig, hinter ihr eine Scala anbringen und diese nach einem Quecksilberthermometer eichen zu wollen. Man würde dann finden, daß das Luftthermometer jeden Tag andere Angaben macht. Denn die Wassersäule schwankt auch mit dem Luftdruck, gerade so wie die Quecksilbersäule im Barometer. Will man jedoch, was jedenfalls sehr lehrreich und unterhaltend ist, den Barometerstand berücksichtigen, so kann man auch mit einem Luftthermometer genügend genaue Angaben erhalten.



Fig. 59.
Luftthermometer.

Man fertigt eine an der Glasröhre verschiebbare Papierkala an und eicht sie unter Beobachtung eines gewöhnlichen Thermometers, während man sich zugleich den Barometerstand notiert. Für die Zukunft würden alle Angaben des Luftthermometers nur bei eben diesem Barometerstande richtig sein. Steht dagegen das Barometer höher, so wird auch die Wassersäule höher stehen und eine zu niedrige Temperatur angeben und umgekehrt. Man kann jedoch die Differenzen gegen das Quecksilberthermometer bei verschiedenen Barometerständen feststellen und braucht dann zunächst immer nur den jeweiligen Barometerstand ab-

zulesen, um die Korrektur zu kennen, die an der Thermometerablesung im einen oder anderen Sinne anzubringen ist. Schließlich kann man auch verschiedene Marken, den Barometerständen entsprechend, auf der Glasröhre machen und die Skala vor der Ableseung verschieben.

Man kann, wenn man will, zwei Luftthermometer nebeneinander auf seinem Schreibtische haben, von denen das eine die Temperatur im Zimmer, das andere diejenige vor dem Fenster anzeigt. Es ist dazu nur nötig, die Röhre des zweiten Thermometers mit einer Glasflasche vor dem Fenster durch eine schwache Bleirohrleitung, wie man sie zur Anlage pneumatischer Klingeln verwendet, zu verbinden. Soll jedoch die Genauigkeit der Angaben nicht leiden, so darf die Leitung im Zimmer aus begreiflichen Gründen nur sehr kurz sein.

Die Wärmeschlange. Dieses kleine Experiment gehört ebenso-gut in die Mechanik wie in die Wärmelehre und hätte auch bereits dort seine Besprechung finden können, wo von den Flugmaschinen und Luftballonen die Rede war. Erhitzte Luft dehnt sich aus, so daß ein Liter warmer Luft weniger Masse hat und daher leichter ist als dasselbe Quantum kalter Luft. Ein leichterer Körper steigt in dem schwereren empor, vorausgesetzt, daß er sich in ihm, wie Luft in Luft, frei bewegen kann. Kein Wunder, daß daher draußen wie im Zimmer die Luft nie in Ruhe ist. Sie steigt an den Öfen empor und streicht über den Fußboden nach dem Ofen hin, draußen erhebt sie sich über den von der Sonne beschienenen und erhitzten Landstrichen und kältere Luft tritt von den Seiten her an ihre Stelle.



Fig. 60. Wärmeschlange.

Das Emporsteigen der Luft am Ofen kann man leicht auf folgende Art nachweisen. Man zeichnet auf ein kreisrundes Stück Schreibpapier von 10 cm Durchmesser eine Spirale (rechte Seite der Fig. 60), deren Linien einen fingerbreiten Abstand voneinander haben, und schneidet

die Aufzeichnung mit der Schere so nach, daß ein fortlaufendes Spiralband herabfällt, wenn man das Papier in der Mitte etwas ein kneift und durch eine Stricknadel unterstützt (Fig. 60). Die Nadel wird auf einen breiten Kork gesteckt und die ganze Vorrichtung findet auf dem Sims eines gut geheizten Ofens oder auf dem Herd Platz. Sofort beginnt sich die Schlange zu drehen, da die aufsteigende Luft die schrägen spiraligen Flächen zur Seite drückt.

Außerst verblüffend wirkt der Versuch, wenn man die Stricknadel, wie es die Abbildung zeigt, nur in der Hand hält. Auch dann beginnt sich die Schlange zu drehen. Schon der ganz geringe, von der warmen Hand aufsteigende Luftstrom genügt also, den empfindlichen Apparat in Bewegung zu setzen. Selbstverständlich darf sonst im Zimmer keinerlei Zug herrschen.

Wärmeerzeugung ohne Feuer. Die Sonne ist für unsere Erde die Spenderin aller Wärme und allen Lichtes. Alle irdischen, künstlichen Wärmequellen kommen gegen die mächtige Wirkung ihrer Strahlen kaum in Betracht. Sollte sie plötzlich vom Firmament verschwinden, so würde das Todesurteil über Pflanze und Tier gesprochen sein und in wenigen Wochen müßten sich ungeheure Eismassen vom Pol bis zum Äquator aufstürmen, alles Lebendige unter sich begrabend.

Selbst wenn wir unsere künstlichen Wärmequellen benutzen und uns des bescheidenen Feuers im Herde erfreuen, zehren wir doch nur von den Schätzen, die unsere strahlende Himmelskönigin in verschwenderischer Fülle über den Erdball ausgestreut hat. Und das ist so zu verstehen:

Als vor ungezählten Jahrtausenden eine feste Kruste sich auf dem glühend flüssigen Erdball gebildet hatte, ging es noch wild auf der jungen Oberfläche zu. Überall brach sich das kaum gefesselte Feuer durch die schwache Rinde Bahn, und ungeheure Vulkanausbrüche wälzten ihre glühende Lavamasse über das eben geborene Land. Aber die milden Erdrevolutionen brachten, scheinbar alles Dasein vernichtend, dennoch den Keim des pflanzlichen Lebens zur Entwicklung. Jeder Vulkan atmet neben anderen Gasen Kohlenäure in ungeheuren Mengen aus, und gerade diese dient der Pflanzenwelt zur hauptsächlichsten Nahrung. Wir dürfen uns daher nicht wundern, in späteren Entwicklungsperioden einem gewaltigen Pflanzenwuchs zu begegnen, wie ihn die Erde seit jenen Tagen nicht wieder gesehen hat. Sie glied damals

einem ungeheuren Treibhause, durch dessen trübe Scheiben, dargestellt durch dicke Nebelmassen, die ersten spärlichen Sonnenstrahlen auf ihre Fläche gelangten. Unter dem Einfluß der Erwärmung schoß ungeheures Kraut, meist aus der Familie der Farne und Schachtelhalme, zu gewaltigen Baumriesen empor, die, einander umschlingend, Wälder von fabelhafter Ausdehnung bildeten. Doch auch diese Zeit üppigster Entwicklung der Pflanzenwelt ging vorüber. Die Riesenstämme verfaulten, fielen zu Boden, Baumleiche häufte sich auf Baumleiche und versank unter dem Druck auflagernder Massen in die Tiefen der Erde zu jahr-millionenlangem Schlaf. Durch Druck und Verwesungsprozeß wurde aus dem an und für sich wenig widerstandsfähigen Pflanzenmaterial jener harte, schwarze, glänzende Körper, den der Bergmann als Steinkohle aus dem dunkeln Schoß der Erde nach langer Zeit wieder ans Tageslicht fördert. Wenn wir heute mit dieser Kohle unsere Öfen heizen, unsere Dampfmaschinen betreiben, so machen wir damit nur die Wärme wieder nutzbar, die einst die Sonne in den Steinkohlenwäldern vergangener Zeit aufspeicherte.

Aber die Erde war einstmals auch eine Sonne und strahlte ehemals, geradeso wie diese, ihre jungen Gluten in den kalten Weltraum aus. Es ist beiden Körpern ergangen wie zwei ungleich großen Töpfen, die vom Feuer fortgezogen wurden und von denen der kleinere naturgemäß schneller erkaltete. Daß aber auch heute noch das Innere der Erde heiß ist, beweisen die Vulkanausbrüche, beweisen die heißen Quellen und schließlich auch jedes Bergwerk, in dem die Temperatur mit der Tiefe zunimmt.

Diesen natürlichen Wärmequellen gegenüber spielen die künstlichen, wie schon gesagt, kaum eine Rolle.

Man kann, künstlich, auf die verschiedenste Art Wärme erzeugen. Eine der bekanntesten ist diejenige durch Arbeitsverbrauch auf dem Wege der Reibung. Wer hat nicht schon einmal von der Art Wilder, Feuer zu machen, gehört? Wer weiß nicht, daß er seine erstarrten Hände durch Reibung erwärmen kann? Wer erinnert sich nicht, einmal mit Feuerstein und Stahl Funken geschlagen zu haben? Und wenn wir ein Streichhölzchen an seiner Schachtel entzünden, wodurch geschieht es denn anders, als durch Reibung der Zündmasse an der Unterlage? Keiner dieser Vorgänge spielt sich aber ab — und das ist sehr wichtig — ohne einen Aufwand an mechanischer Arbeit, so daß wir wohl ein Recht haben zu sagen, man könne Arbeit in Wärme verwandeln.

Unsere Leser werden später sehen, wie man durch Arbeitsaufwand auch elektrische Energie und durch einen elektrischen Aufwand Wärme und Arbeit erzeugen kann. Diese Beziehungen der Kräfte zueinander sind nicht willkürlich, sondern geregelt durch eines der vornehmsten Naturgesetze, desjenigen nämlich von der Erhaltung der Energie.

Es lohnt sich wohl der Mühe, dem Vorgang des Funken Schlagens aus dem Feuerstein etwas näher nachzuspüren. Durch das Anschlagen des Steines an den Stahl wird etwas vom Stahl losgerissen. Aber die Stahlteilchen glühen nicht nur, sie schmelzen sogar, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man einen Bogen Papier ausbreitet und mehreremal darüber Funken schlägt. An dem grauen Staub kann man schwerlich etwas mit bloßem Auge erkennen, nimmt man aber eine gute Lupe zur Hand, so wird man das ganze Papier mit winzigen schwarzgrauen Kügelchen überjät finden, die an ihrer Oberfläche die deutlichsten Spuren der Schmelzung zeigen. Wir wissen, daß zur Schmelzung des Stahles eine Temperatur von nicht weniger als 1400 Grad Celsius erforderlich ist. Diese Temperatur muß also wirklich erreicht worden sein. Und in wie kurzer Zeit! Während der Dauer eines einzigen Schlages. Es ist wohl jedem klar, daß die Erwärmung von 0 auf 1400 Grad nicht sprungweise vor sich gegangen sein kann. Es muß in dem Augenblicke des Schlages, dessen Dauer wir mit $\frac{1}{8}$ Sekunde sicherlich nicht überschätzen, die ganze Temperaturskala von 0 bis 1400 Grad durchlaufen werden, und das macht auf den Grad 0,00008 Sekunden. So geht man oft an den seltsamen Erscheinungen achtlos vorüber, nur weil Häufigkeit und Gewohnheit sie des Wunderbaren entkleidet haben. Gerade wer den kleinen Vorgängen im Alltäglichen nachspürt, wird oft am meisten überrascht und für seine kleine Mühe am reichlichsten belohnt.

Was geht z. B. nicht alles in dem Augenblicke vor, in dem man ein Gewehr abschießt. Ein leiser Zug auf den Drücker läßt die Nadel mit großer Gewalt in die Zündmasse schlagen. Diese Kraft ist der Nadel nicht eigentümlich oder wird gar von ihr selbst erzeugt. Menschenkraft hat die Feder gespannt, und wenn das Gewehr schußfertig an der Wand lehnt, darf man wohl sagen, daß ein Stück Menschenkraft zu gelegentlicher Verwendung in ihm aufgespeichert sei. Die Nadel reibt sich an dem Pulver (einer Mischung aus Salpeter, Schwefel und Kohle) und erhitzt vielleicht eines der winzigen Kohlentheilchen bis zur Weißglut. Dieses gibt seine Wärme an das nächste Schwefel- und

Salpetertheilchen ab, Sauerstoff und Stickstoff entwickeln sich in großer Menge. Ein Teil des Sauerstoffs verbindet sich mit dem Kohlenstoff zu Kohlenäure, ein anderer mit dem Schwefel zu Schwefelsäure, die sich im Flintenlauf ansetzt und diesen stark angreift.

Derselbe Vorgang spielt sich zwischen den anderen Körnern ab, die Gase entwickeln sich, dazu noch von der Hitze ausgedehnt, in gewaltiger Menge und treiben die Kugel aus dem Laufe. Alles dies spielt sich im Bruchtheil einer tausendstel Sekunde ab, denn für unsere groben Sinne fällt der Schlag des Hahnes und der Blitz des Gewehres auf denselben Moment zusammen.

Um auf das früher Gesagte zurückzukommen, so hat es nicht an Vorschlägen gefehlt, die durch Reibung erzeugte Wärme zur Heizung von Wohnräumen zu verwenden. Man wollte durch Wasserkraft sich große Steine aufeinander reiben lassen, diese heißen Steine mit Blech ummanteln und die in dem Kasten erwärmte Luft durch Röhren nach den Wohnräumen leiten. Man muß diese Idee heute als unpraktisch, aber möglich bezeichnen. Für unsere geklärten physikalischen Begriffe jedoch ungeheuerlich ist folgender Vorschlag: Man möge durch eine Dampfmaschine Reibungswärme erzeugen und diese, um die Kohlen zu sparen, zur Heizung des Dampfkessels verwenden. Dieser Gedanke ist unsinnig, weil er nichts anderes als die Erfindung eines perpetuum mobile anstrebt. Denn man sieht wohl ein, daß eine Pferdekraft eben nur so viel Wärme erzeugen kann, als einer Pferdekraft entspricht. Wenn nun von der Maschine eine Pferdekraft geleistet und gleichzeitig eben diese unter dem Kessel zur Erwärmung verbraucht wird, so wäre die Dampfmaschine nutzlos, denn sie leistete keine brauchbare Arbeit nach außen. Ja, wenn sie nur die geringste Kraft zu ihrer eigenen Drehung beanspruchte — und dies ist doch stets der Fall zur Überwindung des Reibungswiderstandes des Kolbens an den Zylinderwandungen und in den Lagern der Achsen —, so verbrauchte die Maschine mehr als die von ihr für die Heizung erzeugte Pferdekraft und könnte daher überhaupt nicht in Betrieb kommen oder auch nur in Betrieb bleiben, falls man anfangs die Erhitzung des Kessels durch Kohlenfeuerung besorgt hätte. Man braucht gar nicht einmal daran zu denken, daß mehr als 80 Prozent der Feuerwärme unter dem Kessel verloren geht. Das perpetuum mobile ist also ein physikalischer Unsinn und spuckt nur in den Köpfen halbwissender und urteilsloser Leute.

*** Erhitzung durch chemische Vorgänge.** Unsere Leser ersehen aus dem letzten Abschnitt des Buches, daß gewisse Körper eine große Neigung haben, sich chemisch miteinander zu einem neuen Körper zu vereinigen, während andere wiederum das gleichgültigste Verhalten zeigen. Eine solche chemische Vereinigung geschieht nun sonderbarerweise nicht ohne eine mehr oder minder große Erwärmung der Substanzen, so daß der Chemiker sich daran gewöhnt hat, von einer Verbindungswärme zu sprechen. Den weiter unten beschriebenen Versuchen ist eine Erklärung nicht beigegeben, weil sie für alle dieselbe und schon erwähnte ist.

Man weiß, welche Hitze beim Löschen von Kalk entsteht. Legt man ein Ei in gepulverten, trockenen, ungelöschten Kalk und gießt dann Wasser darauf, so wird man in wenigen Minuten das Ei hart gekocht finden.



Fig. 61. Erwärmung durch Zusammengießen kalter Flüssigkeiten.

Vermischt man 1 Teil kaltes Wasser mit 4 Teilen Schwefelsäure, so wird eine Erwärmung bis zur Siedetemperatur des Wassers erzeugt. Dieses Experiment (Fig. 61) erfordert einige Vorsicht. Zunächst — und das mache man sich ein- für allemal zur obersten Regel —

gieße man niemals das Wasser in die Säure, sondern stets umgekehrt die Säure, unter stetem Umrühren mit einem Glasstäbchen, zum Wasser. Kommen nämlich einige Tropfen Wasser in die Säure, so wird die plötzliche Erhitzung das Wasser verdampfen und so plötzlich ausdehnen, daß der Vorgang von einer Explosion kaum noch zu unterscheiden ist. Außerdem kommt der Experimentator hierbei stets in Gefahr, von der ätzenden und umherspritzenden Säure verletzt zu werden. Ist der Schaden auf Kleidungsstücken schon alt, so läßt er sich nicht mehr beheben, denn die Säure hat das Gewebe vernichtet. Die rote Färbung läßt sich jedoch durch Betupfen mit Ammoniakflüssigkeit oder Salmiakgeist beseitigen und auch die weitere Zerstörung des Gewebes

aufhalten, wenn die Hilfe schnell genug kommt. Starkwandige Gläser sind, da sie in die Gefahr des Springens kommen, für den Erhizungsversuch ungeeignet. Die Bechergläser der Chemiker eignen sich am besten. Man stellt sie auf ein mehrfach zusammengelegtes Tuch, besser noch in eine Schüssel, niemals aber aus begreiflichen Gründen auf die Politur des Tisches. Um Wasser zu kochen, kann man ein Reagenzgläschen, 1 cm hoch gefüllt, in das Becherglas stellen und zugleich zum Umrühren benutzen, während man vorsichtig die Schwefelsäure zusetzt. Es genügt, etwa $\frac{1}{2}$ cm Wasserhöhe in dem Becherglase zu haben. Die Flüssigkeit in dem Gläschen wird nach kurzer Zeit sieden. Fürchtet man, den Siedepunkt nicht zu erreichen, so nimmt man Alkohol, dessen Siedepunkt wesentlich tiefer liegt, zur Füllung des Gläschens.

Die Erhizung kann bei einigen chemischen Verbindungsvorgängen sogar bis zur Entzündungstemperatur des neu gebildeten Körpers gesteigert werden. Man weiß, daß ätherische Öle, z. B. Terpentinöl, Nelkenöl u. a., durch Sauerstoffaufnahme aus der Luft verharzen. Bei diesem Vorgang bildet sich Wärme, und wenn nicht der Prozeß gar so lange dauerte und der Körper nicht inzwischen die spärlich auftretende Wärme auch wieder verlöre, so würde er sich gewiß entzünden. Denn durch eine beschleunigte Verharzung tritt wirklich eine Entflammung ein. Um dies zu zeigen, gieße man in eine flache Schale ein wenig Terpentinöl und lasse darauf von einem Glasstabe oder einer Glasröhre einen Tropfen rauchende Salpetersäure fallen. Sofort bildet sich durch den Sauerstoffgehalt der Säure ein Harz, und dieses geht in Flammen auf.

Chemische Verbindungen unter Feuererscheinung sind übrigens gar keine Seltenheit. Mischt man gleiche Teile von Eisenpulver und Schwefelblüte innig miteinander in einem Reagenzgläschen, so verhalten sie sich gegeneinander recht gleichgültig. Dennoch besitzen sie zueinander eine gewisse chemische Verwandtschaft, an die sie durch Erhizung nur erinnert zu werden brauchen. Man klemmt dazu das Röhrchen nahe seinem oberen Ende in schräger Stellung in ein Stativ und erhitzt es mit einer Spirituslampe an seinem unteren Ende. Sobald sich die ersten Glüherscheinungen zeigen, kann man die Lampe entfernen und sieht dann, da die eingetretene Verbindung selbst die weitere Erhizung übernimmt, die Feuererscheinung durch das ganze Rohr gehen. Es bildet sich ein neuer Körper, das Schwefeleisen, dessen man zur Darstellung des Schwefelwasserstoffs bedarf. Da das

Röhrchen Neigung zum Springen zeigt, stellt man den Versuch auf der Herdplatte an.

Ist die Verwandtschaft größer, so genügt oft schon, wie beim Schießpulver, ein geringer Anlaß, um die chemische Verbindung einzuleiten. Je schneller sie vor sich geht, desto höher wird die Temperatur ausfallen. Mischt man gleiche Teile von Streuzucker und chlorsaurem Kali — jener bekannten, zum Gurgeln bei Halsentzündungen verwendeten Substanz — vorsichtig mit einem Hölzchen auf einem Blatt Papier, so erhält man ein ziemlich explosives Gemenge. Ein unvorsichtiger Schlag, der Funke einer Zigarre, kann es zur Entzündung bringen. Wir verschmähen beide Arten der Zündung und

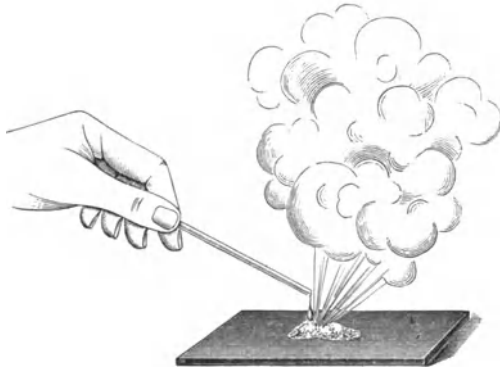


Fig. 62. Explosion von Zucker und chlorsaurem Kali.

wählen einen dritten Weg, indem wir einen Tropfen Schwefelsäure auf das Pulver fallen lassen und so gleichsam ein Doppelexperiment anstellen (Fig. 62). Die Schwefelsäure erhitzt ein kleines Zuckerstückchen auf chemischem Wege, indem sie es gleichsam verkohlt. Sofort tritt nun die Verwandtschaft zwischen den Gemengteilen in ihr Recht, und unter heftigem Zischen schießt eine bläulichweiße Flamme empor, eine große Rauchwolke mit sich führend. Ein schwärzliches Pulver bleibt zurück — Kohle. Auch dieser Versuch wird der Sicherheit wegen auf der Herdplatte angestellt. Man nimmt nicht mehr als höchstens 10 g Gemenge und stellt davon immer nur so viel her, als man auch bei einem Versuch verwenden kann. Das Gesicht halte man stets abseits.

Der chemische Vorgang der Gärung und Neubildung bringt im täglichen Leben Erhitzungserscheinungen mit sich, die teils erwünscht sind, teils aber auch ungeheuren Schaden anrichten können. Frischer Mist entwickelt bekanntlich in mehreren Lagen aufeinander eine nicht unbeträchtliche Wärme, was ihn dem Gärtner zum Antreiben von Pflanzen in den sogenannten Mistbeeten sehr wertvoll macht. Weniger angenehm ist schon die Erhitzung feuchten Heues, mehr noch des feucht eingebrachten Grummets, die sich bis zu einem bedenklichen Grade, ja bis zur Entflammung steigern kann. Hiervon ist man durch traurige Erfahrungen leider nur zu sehr überzeugt worden. Sehr oft sind auf dem Lande Frachtfuhrwerke, auf der See große Schiffe ohne äußere Ursache verbrannt, zweifellos durch chemische Selbstentzündung, die auch gar nicht selten bei Eisenbahnzügen vorkommt, wenn sie frisch gepreßte Braunkohlenbriketts führen. Verfasser sah selbst einmal mehrere Güterwagen mit Briketts lichterloh brennen. Übrigens können sich unsere Leser selbst von der Wahrheit der Angaben überzeugen, wenn sie einmal einige Zentner frischen Heues auf einen Haufen legen und nach etwa 24 Stunden mit der Hand tief hineinfahren. Sie mögen sich vorsehen, nicht Brandblasen davonzutragen.

Alles dies dürfte bekannter sein, als die einfache und doch so überaus wichtige Tatsache, daß der größte Teil unserer Körperwärme aus chemischen Verbindungen her stammt. Die ausgeatmete Luft hat nicht mehr die Zusammensetzung der eingeatmeten, sie ist weit ärmer an Sauerstoff, weit reicher an Kohlensäure, nur der Stickstoffgehalt ist etwa derselbe. In den unendlich vielen, fein verzweigten Kanälen der Lungenfäße nämlich kommt das durch den Körper kreisende Blut mit der Luft in Berührung und gibt, während es sich mit dem Lebenspendenden und erhaltenden Sauerstoff verbindet, die giftige Kohlensäure nach außen ab. Dieser chemische Stoffwechsel reinigt das Blut und erwärmt es zugleich. Ein anderer Teil der Körperwärme stammt aus mechanischer Arbeitsleistung her und wird durch die Bewegung des Körpers erzeugt. Ein schlafender Mensch ermangelt dieser Wärmequelle und muß sich in Decken hüllen, um die Abgabe der Wärme an die kalte Luft zu verhüten. Die Atmung ist langsamer im Schlafe, aber dauert doch fort und mit ihr die chemische Wärmeentwicklung. Auch im Schlafe spielt sich also derselbe Prozeß ab, die Zimmerluft wird immer ärmer an Sauerstoff, immer reicher an Kohlensäure; man möchte sie schließlich vergiftet nennen. Wie töricht

also, zu mehreren gerade in dem kleinsten Zimmer der Wohnung zu schlafen, als ob dieses für ein so „nebensächliches“ Geschäft gut genug wäre. Am Ende würde die Atmosphäre des ganzen Erdballes zu sauerstoffarm zum Atmen, wenn nicht die Natur in weiser Wechselwirkung die Pflanzenwelt Kohlenäure einatmen und Sauerstoff ausatmen ließe. So sind denn Pflanzenwelt und Tierwelt nicht zufällig nebeneinander vorhanden, sondern voneinander abhängig und einander zum Leben unentbehrlich.

Erwärmung einer Flüssigkeit durch Umschütteln. Dieses Experiment bedarf einiger Worte zur Erklärung. Es beruht nicht auf der Erwärmung durch einen chemischen Verbindungsvorgang. Unsere Leser wissen, daß man einem festen Körper, um ihn zu schmelzen und in eine Flüssigkeit zu verwandeln, Wärme zuführen muß. So schmilzt das Eis an den erwärmenden Strahlen der Sonne, das Wachs an der strahlenden Flamme der Kerze, das Eisen in der Glut des Hochofens. Nur eines ist höchst merkwürdig bei diesem Vorgange und schier unbegreiflich: das Thermometer steigt nicht den tausendsten Teil eines Grades, es rührt sich nicht, man mag dem schmelzenden Körper Wärme zuführen so viel man will. Hat man ein wenig klein gestoßenes Eis zur Hand, ein Becherglas, eine Spirituslampe oder Gasbrenner und ein Thermometer, so kann man sich davon leicht überzeugen. Man hält dann das Glas mit dem Eis über die Lampe und rührt mit dem Thermometer um. Solange das Eis schmilzt, bleibt das Thermometer beharrlich auf 0 Grad stehen und steigt erst wieder, wenn das letzte Eiskriställchen in der Flüssigkeit zergangen ist. Man steht fast vor einem Rätsel. Wo soll denn nur die Wärme geblieben sein, die während des minutenlangen Vorganges in reichlicher Menge von der heißen Flamme auf die Flüssigkeit überging? Nun, man kann sagen, sie war anderweit beschäftigt und konnte sich um das Thermometer nicht kümmern, denn sie hatte Eis von 0 Grad in Wasser von 0 Grad zu verwandeln. In dieser Arbeit ist sie aufgegangen und verborgen, sie ist „latent“ geworden, richtiger würden wir sagen, sie hat sich „in Arbeit verwandelt“. Und wirklich kommt sie wieder zum Vorschein, wenn der Prozeß sich umgekehrt abspielt und Wasser zu Eis wird. Ungeheure Wärmemengen werden so zum Beginn des Winters durch das Gefrieren des Eises erzeugt und mildern die grimmige Einwirkung des Frostes. Selbstverständlich gilt das eben

Gefagte nicht nur für Wasser und Eis, sondern für jeden flüssigen Körper, der sich in einen festen verwandelt.

Wir wollen Kristalle von unterschwefligsaurem Natron — dem bekannten Fixiersalz der Photographen — in einem kleinen Glaskölbchen der Erwärmung durch eine Spiritusflamme aussetzen. Sie schmelzen zu einer farblosen Flüssigkeit ein, worauf man das Kölbchen mit einem Wattebausch verschließt und an einer erschütterungsfreien Stelle unberührt stehen läßt. Nach einigen Stunden hat sich die Lösung abgekühlt, aber sich merkwürdigerweise nicht wieder in den festen Körper zurückverwandelt. Dieser Zustand ist ein ganz unnatürlicher (so etwa wie derjenige eines Stockes, der freistehend auf seiner Spitze balanciert), der kleinste Anlaß genügt, um ihm ein Ende zu bereiten und die Flüssigkeit mit einem Schläge in Kristall zurückzuverwandeln. Dabei kommt denn auch die Wärme wieder zum Vorschein, die vorher zur Schmelzung aufgewendet wurde, und zwar nicht wie beim Vorgang der Eisbildung allmählich, sondern mit aller Plötzlichkeit, so daß eine nicht unbedeutliche Temperaturerhöhung die Folge ist. Man braucht die Flasche nur sanft zu rütteln, um des Erfolges ziemlich sicher zu sein, besser noch, man verursacht die Störung durch Hineinwerfen eines kleinen Natronkristalles. Sofort schießt aus der Lösung ein zweites Kriställchen an, ein drittes, viertes, nach allen Seiten greift der Vorgang aus, und schneller, als wir dies lesen, ist die Flüssigkeit fest geworden und das Glas dabei so heiß, daß man es kaum mit der Hand berühren kann, ja, daß selbst ein Teil der Kristalle wieder schmilzt und so die völlige Erstarrung noch etwas verzögert. Dies Experiment ist überraschend und lehrreich, dabei aber so leicht anzustellen, daß es jeder einmal versuchen sollte. Wir haben keine Besprechung vorangestellt, da es den Schlüssel für das Verständnis aller folgenden Versuche bietet. Es ist so lehrreich, weil es deutlich die ganz verschiedene Funktion unserer Dampfheizungen in den Häusern, gegenüber denen mit heißer Luft und warmem Wasser zeigt. Treibt man heiße Luft oder heißes Wasser durch eine Röhre, so erwärmen sie diese bei weitem nicht so schnell, wie ein Dampfstrom gleicher Temperatur. Die Luft und das Wasser nämlich erhitzen das Rohr nur durch Wärmeleitung, der Wasserdampf aber schlägt sich an dem Rohre nieder, geht aus dem luftförmigen Zustande in den tropfbar flüssigen über und setzt alle Wärme, die er gebraucht hat, um aus Wasser Dampf zu werden, an den Wänden der Röhre wieder ab.

*** Künstliche Kälte in warmen Räumen.** Wir sahen das feste unterschwefligsaure Natron in flüssiges übergehen und konnten uns darüber klar werden, daß sowohl zur Überführung eines festen Körpers in einen flüssigen wie eines flüssigen in einen gasförmigen Wärme nötig sei. In unserem Falle wurde der Wärmeverbrauch durch die Spiritusflamme gedeckt. Führt man jedoch einen festen Körper in einen flüssigen, einen flüssigen in einen gasförmigen zwangsweise über, d. h. ohne äußere Wärmezufuhr, so muß er sich die allemal erforderliche Wärme von anderer Seite holen. Schließlich entzieht er sie sich selbst, da er sich ja am nächsten ist, und muß folgerichtig dadurch kälter werden als er vorher war. Es ist aber nicht schwer, einen Körper zwangsweise zu verändern, man denke nur an die Auflösung von Salz in Wasser, an die Verdunstung von Wasser im Winde. Wir alle haben ja die Erfahrung gemacht, daß wir, aus dem Bade kommend, auch im hohen Sommer und in der Sonne frieren, wenn die Luft frisch geht. Das Wasser gebraucht zu seiner Verdunstung Wärme, und diese entzieht es dem Körper um so heftiger, je schneller die Verdunstung vor sich geht. Daher wird auch der schneller vergasende Weingeist auf dem Körper ein weit intensiveres Gefühl der Kälte zurücklassen als das Wasser. Wollte man einen nackten Menschen, im Sonnenschein stehend, bei regem Luftzug eine Zeitlang mit Äther begießen, so würde er im heißen Sommer erfrieren, als stünde er auf den Schneefeldern Sibiriens.

Durch chemische Operationen kann man einen festen Körper leicht in einen flüssigen überführen, wobei ebenfalls bedeutende Kältegrade erreicht werden können. Jedermann weiß, daß die Straßenbahngesellschaften im Winter auf die zugefrorenen und beschneiten Gleise Salz streuen lassen und daß sie damit ihren Zweck, die harte Kruste zu verflüssigen, vollkommen erreichen. Daß der entstandene Brei nun außerordentlich kalt ist, kälter jedenfalls als der Schnee vorher, interessiert sie nicht weiter, uns aber um so mehr, denn wir haben in der Vermischung von Salz und Schnee oder Eis in der Tat eines der einfachsten und wirksamsten Abkühlungsmittel vor uns, mit dem wir leider nur an eine bestimmte Jahreszeit gebunden sind. Mischen unsere Leser in nicht zu kleinen Quantitäten 1 Teil Schnee mit 1,5 Teilen Salz, und zwar so schnell und innig als möglich, so erhalten sie eine Temperatur von -17°C . Wir vermeiden gern das Wort Kälte im Gegensatz zur Wärme, was leicht zu dem Irrtum verleiten könnte, es handle sich

um zwei grundverschiedene Dinge. In Wahrheit ist jeder, auch der kalte Körper, warm, da man ihm ja noch Wärme entziehen und ihn noch kälter machen kann. Wärme und Kälte sind also nur Ausdrücke persönlicher Empfindung und beziehen sich auf die Abschnitte oberhalb und unterhalb desjenigen Thermometerstandes, bei dem Wasser gefriert.

Sehr leicht, und zwar unabhängig von der Jahreszeit, kann man Wasser in einem Reagenzröhrchen in den weiter unten angegebenen reinlichen Mischungen gefrieren lassen. Vorausgesetzt ist, daß man die Salze in gut gepulbertem Zustande anwendet und daß die Mischung und Lösung schnell geschieht. Man füllt einige Kubikzentimeter Wasser in ein Reagenzröhrchen und rührt die Lösung damit um. Wir nehmen an, daß sich die Lösung zu Anfang auf der Temperatur des frischen Leitungswassers, d. h. auf etwa $+10^{\circ}\text{C}$, befunden habe und geben die erzielten Abkühlungen unter dieser Voraussetzung:

- 1 Teil Wasser gemischt mit 1 Teil salpetersaurem Ammoniak (-15°),
- 1 Teil Wasser gemischt mit 1 Teil salpetersaurem Ammoniak und 1 Teil kristallisierter Soda ($-13,8^{\circ}$),
- 16 Teile Wasser gemischt mit 5 Teilen Salmiak und 5 Teilen Salpeter (-12°).

Für Versuche in größerem Maßstabe ist folgende, allerdings mit einer Säure arbeitende, aber billige Mischung zu empfehlen:

- 5 Teile Salzsäure, 8 Teile Glaubersalz (gestoßen) ($-17,8^{\circ}$).

Das zu gefrierende Wasser muß ständig bewegt werden, da sich sonst an der Glaswandung eine Eiskruste absetzt, die das weitere Vorschreiten des Prozesses aufhält.

Wir machen unsere Leser weiter darauf aufmerksam, daß sie mit einer Art von Stufenverfahren noch geringere Wärmegrade als die angegebenen erzielen können, indem sie nämlich die zu einer Kältemischung gehörigen Substanzen bereits vorher in einer anderen abkühlen. Alle vorher genannten Mischungen sind hierfür brauchbar. Wir fügen eine neue hinzu, indem wir erwähnen, daß 2 Teile Schnee und 3 Teile salzsaurer Kalk die Temperatur bis auf etwa 30° unter den Nullpunkt sinken lassen können. Kühlt man in dieser Mischung nun in gesonderten dünnwandigen Gefäßen 3 Teile Schnee und 2 Teile salzsauren Kalk ab, so werden beide Bestandteile ebenfalls die Temperatur von -30° annehmen und nach ihrer Mischung dann die

Temperatur bis auf etwa -42° sinken lassen. Damit haben wir einen Tiefstand der Wärme erreicht, bei dem Quecksilber bereits fest wird.

*** Künstlicher Nebel in einer Flasche.** Der Ausdruck „künstlich“ ist vielleicht nicht ganz am Platze, da der von uns erzeugte Nebel so echt ist, als er nur sein kann und sich seiner Beschaffenheit nach in nichts von demjenigen unterscheidet, der zur Abendzeit über die feuchten Wiesen zieht. Immerhin wird man nicht gerade in Wasserflaschen nach Nebeln suchen, und sie dort darzustellen, das ist die Kunst, eine Kunst freilich, die man sich erst mit dem Verständnis für die Erscheinung zu eigen macht.

Der aufmerksame Beobachter hat bei den Experimenten über Kältemischungen sicher bemerkt, daß bei einer gewissen Temperatur das Glasgefäß plötzlich beschlug, d. h. sich mit unzähligen kleinen Wassertröpfchen bedeckte, eine Erscheinung, die uns genugsam auch an den Fenstern unserer Zimmer im Winter zu schaffen macht. Woher stammt dieses Wasser, das niemand vorher sah, und warum setzt es sich gerade an der Glaswand ab? Da soll denn gesagt sein, daß es Wasser stets in genügender Menge in der Luft gibt, freilich nicht in flüssiger, sichtbarer, sondern in gasförmiger, unsichtbarer Form. Es ist das Wasser, das unter dem Einfluß der Wärme aus Flüssen und Seen, aus dem feuchten Erdreich, von Bäumen und Gräsern als Wasserdampf aufsteigt. Aber man darf nie vergessen, es verdankt seine Gasgestalt doch eben nur der Erwärmung und ist stets bereit, in seinen flüssigen Zustand wieder zurückzukehren, wenn sich Gelegenheit dazu bietet. So sehen wir denn nach kühler Nacht Millionen und aber Millionen von Wassertröpfchen an Halmen und Büschen glänzen, wir bemerken die gleiche Erscheinung auch an den Wandungen unseres kalten Glasgefäßes. Hier „taut“ es genau so wie auf der Wiese.

Ist viel Wasser dampfförmig in der Luft, so genügt schon eine geringe Abkühlung, um den Wasserniederschlag zu veranlassen. Man nennt die Temperatur, bei der diese Erscheinung eintritt, den „Taupunkt“. Da die Versuche zur Bestimmung des Taupunktes keinerlei Schwierigkeiten machen, so mögen sich unsere Leser an verschiedenen Tagen und zu verschiedenen Tageszeiten einmal daran versuchen.

Man füllt ein kleines, wohl abgetrocknetes, dünnes Becherglas mit lauem Wasser und stellt es an einem schattigen Ort ins Freie.

Darauf wirft man ein Stückchen Eis in das Wasser und rührt mit einem Thermometer um. Das Thermometer beginnt nun langsam zu sinken und plötzlich beschlägt die Außenfläche des Glases mit einer zarten Wasserschicht. In diesem Augenblick wird der Stand des Thermometers notirt, der Taupunkt ist erreicht. Vergleicht man die Höhe des Taupunktes mit der Temperatur der Außenluft, so findet man sehr oft einen großen, bisweilen auch einen nur geringen Unterschied. Letzterer Zustand ist besonders interessant, da dann offenbar schon ein geringer Temperaturabfall der Luft, der bald einmal eintreten kann, genügt, um das dampfförmige Wasser schnell und in großer Menge auf die Erde niederzuschlagen, d. h. einen Regen zu veranlassen. Steht daher das Barometer tief und der Taupunkt hoch, also ist die Differenz zwischen dem Taupunkt und der Außentemperatur gering, so wird man mit großer Bestimmtheit auf Regen rechnen können.

Eine Abkühlung kann auch durch andere Umstände als das Aussetzen der Sonnenstrahlen durch Wolkenbeschattung erfolgen, wie es unser Versuch über die Nebelbildung, in dem eigentlich alles in diesem Abschnitt über die Wärme Gesagte noch einmal zusammengefaßt wird, zeigen soll. Ein Gas dehnt sich bei Erwärmung aus und gibt die Wärme wieder ab, wenn es sich zusammenzieht. Erfolgt die Ausdehnung ohne äußere Wärmezufuhr, so wird das Gas die nötige Wärme aus sich selbst entnehmen müssen und daher gerade so kälter werden, wie die Salze, die wir zwingen, in den flüssigen Zustand überzugehen. Preßt man daher ein Gas in einer Flasche zusammen, läßt es sich auf Außentemperatur abkühlen und gestattet ihm durch Öffnung des Verschlusses dann eine plötzliche Ausdehnung, so wird es sich abkühlen müssen. Enthält es dabei Wasserdampf in so reichlicher Menge, daß die Temperaturerniedrigung genügt, um den Taupunkt zu erreichen, so muß sich der Dampf als Wasser an den Wandungen niederschlagen. Der Tau bedarf stets eines Gegenstandes, an den er sich klammert, und kann niemals frei in der Luft entstehen, wenigstens nicht, wenn diese ganz rein ist und keinerlei mechanische Beimengungen an Stäubchen enthält. Dieser Fall tritt aber immer ein, Verunreinigungen sind in der Luft stets vorhanden, und so begegnen wir denn den winzigen Wasserbläschen oft genug über dem Erdboden schwebend, wo sie durch ihre große Anzahl die Luft undurchscheinend machen und als Nebelmassen dahinziehen.

Nun sind wir auf unser schönes Experiment vorbereitet. Eine Wasserflasche, so groß als nur möglich, wird mit einem Stopfen und einer Glasröhre versehen (Fig. 63). Vor dem Verschließen aber drehen wir die Flasche um und lassen die Dämpfe eines auf einem Löffel brennenden Schwefelstückchens hineinsteigen; ganz wenig Schwefeldampf genügt bereits. Hierdurch werden die Kondensationskerne für die Wasserbläschen geschaffen. Um die Luft stets feucht zu erhalten, genügt es, ein Stückchen durchnäßten Löschpapiers in die Flasche zu werfen



Fig. 63. Nebel in einer Wasserflasche.

oder besser noch, ein Streifen so in den Korken zu klemmen, daß es frei herabhängt. Darauf bläst man aus aller Kraft Luft in die Flasche und kneift den Schlauch so lange zu, als man etwa glaubt, daß die Luft Zeit zur Abkühlung auf Zimmertemperatur braucht. Dann öffnet man plötzlich, gewährt der zusammengepreßten Luft schnellen Austritt und sieht nun das Innere der Flasche sich mit dichtem Nebel erfüllen, dessen Undurchdringlichkeit selbst den berühmten Londoner Nebel zu schanden macht, da man oft durch die Flasche die Hand nicht mehr erkennen kann. Besonders wirkungsvoll wird das Experiment

durch Anbringung eines Lichtes hinter der Flasche, unter dem man sich etwa den Mond vorstellen kann und das so lange hell und klar sichtbar ist, als sich nicht Nebel zeigen. Sobald sie aber auftreten, bildet sich ein strahlender Hof um die Flamme, der durchaus demjenigen des Mondes bei trüber Luft entspricht.

Wird wiederum Luft in die Flasche geblasen, so kann man Zeuge eines interessanten Schauspiels sein. Die zusammengepreßte Luft wird so warm, daß sie anfängt, die Nebelbläschen aufzulösen und zu verdampfen. Wolken ballen sich zusammen, ziehen auf und nieder, ein wildes Nebeltreiben beginnt, bis schließlich die Luft wieder ganz rein und durchscheinend ist. Den gleichen Effekt kann man erzielen, wenn man die mit Nebel gefüllte Flasche den ins Zimmer fallenden wärmeren Sonnenstrahlen aussetzt, und erhält dann eine lebendige Vorstellung von dem Kampfe der Sonne mit den Morgennebeln und den von der kalten Nacht gewebten Dünsten. So spiegelt sich in unserem Experiment ein Stück Natur wieder, die wir um so mehr lieben werden, je besser wir sie verstehen.

Vierter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Lichtlehre.

Die Sonne ist die Spenderin des Lichtes und der Lebensfreude. Wenn nach langer Nacht ihre ersten glutig roten Strahlen die Erde streifen und siegreich die Schleier des Morgennebels durchbrechen, dann öffnen die Blüten ihre Kelche, die Vögel jubeln dem Licht entgegen und auch in die Brust des Menschen zieht Freude ein und Vertrauen zu neuer Arbeit. Die Sonne hat von jeher diesen gewaltigen Zauber auf den Menschen ausgeübt, mehr noch als jetzt in jenen Zeiten, da nur der Kienspan trübe und traurig die langen Winternächte erhellte und prasselnde Holzscheite auf der rauchigen Feuerstätte mühsam die Kälte aus den niedrigen Hütten verscheuchten. Wer kümmert sich heute viel um den Stand der Sonne? Zentralheizung und elektrische Beleuchtung machen die Sorge um sie überflüssig. Damals aber hingen aller Augen an der Himmelskönigin. Wenn der Wintertag kam, an dem der glutige Ball nicht mehr tiefer zum Horizont herabsank, wenn er wieder begann, sich hebend, täglich größere und höhere Kreise am Himmel zu ziehen, Licht, Wärme und Frühlingstage verheißend — dann flammten auf allen Bergen die Zulfener auf und jubelnd wurde das Fest der Winter-Sonnenwende begangen. Die Sonne war der Zeiger, der Himmel das Zifferblatt, an dem man den Beginn der Jahreszeiten und die Stunden des Tages abzulesen vermochte. Wer rühmt sich heute noch dieser Kunst? Kaum noch der Bauer auf dem Felde, der, seine Augen mit dem emporgehobenen Arm beschattend, zum strahlenden Feuerball emporsieht. Wir aber wollen uns zu Beginn eines Kapitels, das von der Lehre des Lichtes handeln soll, dankbar der Spenderin Sonne zuwenden.

*** Die Sonnenuhr.** Jeder, der gelernt hat, die Natur mit offenen Sinnen zu betrachten, wird schon in seiner nächsten Nähe die interessantesten Entdeckungen machen können. Er studiere nur einmal

feinen eigenen Schatten zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten. Der Schatten bleibt nicht stehen, sondern kriecht um ihn herum. Während er des Morgens nach Westen fällt, zeigt er mittags nach Norden und abends nach Osten, und er würde gerade um Mitternacht nach Süden fallen, wenn die Strahlen der Sonne dann nicht durch die Erde aufgehalten würden. Beobachtete er den Schatten allemal zur Mittagszeit an verschiedenen Tagen, so würde er immer eine andere Länge finden. Im Winter ist der Schatten am längsten, im Sommer am kürzesten, und zweimal im Jahre, zu Frühjahr- und Herbstanfang, hat er dieselbe mittlere Größe. Alle diese Erscheinungen hängen natürlich mit dem Stande der Sonne zusammen. Wir wissen bereits, wie die Jahreszeiten zustande kommen oder können es doch leicht auf S. 44 des Buches nachlesen. Es ist in Wahrheit die Erde selbst, die durch die eigentümliche Stellung der Achse zu ihrer Bahn bald die nördliche, bald die südliche Hälfte mehr der Sonne zuwendet. Der Mensch aber, für den die Erde die feste Grundlage ist, kann sich von dem umgekehrten Eindruck nicht losmachen, und er schreibt der Sonne eine Wanderung zu, die eigentlich von der Erde ausgeführt wird. So scheint es denn, als ob die Sonne im Winter kürzere und niedrigere Kreisbahnstücke über den Himmel schlägt, im Sommer weiter ausgreifende und höhere. Mit ihrem Höhenstande verändern sich dann auch die Schattenlängen. Die Sonne geht keineswegs immer genau im Osten auf und im Westen unter, das ist ja auch nicht möglich, wenn ihre scheinbaren Kreisbahnstücke zu verschiedenen Zeiten verschiedene Längen und Höhen haben sollen. Im Winter geht sie über einem Horizontpunkt auf, der zwischen Ost und Süd liegt. Mitternacht erhebt sie sich bis zur Mittagszeit — wo sie immer südlich steht — nur wenig über den Horizont, um nach kurzer Wanderung zwischen Süd und West zu versinken. Desto länger ist dann ihre Wanderung hinter unserem Rücken um den Erdball herum. So liegen die Verhältnisse zur Zeit des kürzesten Tages und der längsten Nacht — am 21. Dezember. Von da ab greifen ihre Kreise immer weiter und höher aus. Sie setzen immer weiter nach Ost zu an, und eines Tages geht die Sonne genau im Osten auf, im Westen unter. Ihre Bahn über dem Horizont ist gerade so groß, wie unter ihm — es ist Frühlings-Tag- und Nachtgleiche am 21. März. Die Sonne bleibt 12 Stunden über und 12 Stunden unter dem Horizont, sie geht also, da sie um 12 Uhr mittags, im Süden stehend, die Hälfte ihrer Tagesbahn zurückgelegt hat, genau um 6 Uhr morgens auf und um

6 Uhr abends unter. Weiter in den Sommer hinein werden die Sonnenkreise noch umfassender und höher, die Tagesreise wird im Verhältnis zur Nachtreise immer größer und wir nähern uns der Zeit der kürzesten Schatten — dem längsten Tage und der kürzesten Nacht, am 21. Juni. Nun geht die Sonne an einem Punkt des Horizontes auf, der zwischen Ost und Nord liegt, und, über Süden einen gewaltig hohen Bogen ziehend, zwischen West und Nord unter. Dann wiederholen sich die Verhältnisse in umgekehrter Reihenfolge, wir haben wieder (am 23. September) Tag- und Nachtgleiche und am 21. Dezember den kürzesten Tag.

Da die Sonne auf unser Tun und Lassen so mächtig einwirkt, hat man nach ihrem Lauf eine Zeiteinteilung geschaffen. Um gewisse geringfügige Schwankungen des Sonnenstandes auszugleichen, ersetzen die Astronomen für ihre Rechnungen die „wahre“ Sonne durch eine „mittlere“ Sonne und teilen die Zeit, die vergeht, während der Sonnenball von seinem höchsten südlichen Stande an einem Tage bis zum nächsten südlichen Stande am anderen Tage wandert, in 24 gleiche Zeiteile, nennen einen jeden solchen Teil eine Stunde, und mechanische Werke, die diese Teilung jeden Augenblick ablesbar ausführen, Uhren. Die einfachste Uhr ist aber schließlich die Sonne selbst, eine Uhr freilich, nach der man nur bei unbewölktem Himmel und bei Tage sehen kann. Jeder Schatten kann der Zeiger sein auf einem Zifferblatt, das wir uns selbst entwerfen wollen.

Eine Sonnenuhr soll also gebaut werden, und zwar mit den einfachsten Mitteln. Ein Becherglas, etwas Pappe und Papier, eine Stricknadel und einen Holzklöß — mehr brauchen wir nicht. An der Hand der Fig. 64, deren obere Hälfte die Sonnenuhr schematisch, deren untere sie in perspektivischer Ansicht darstellt, wollen wir den kleinen Apparat zusammensetzen. Das Becherglas nehme man nicht allzu klein. Ist es etwa 15 cm hoch und 8 cm weit, so wird es seinen Zweck gut erfüllen. Man sieht, daß dieses Becherglas nicht auf den Tisch zu stehen kommt, sondern in ganz genau bestimmter schräger Lage auf einen Holzklöß. Den Holzklöß zu beschaffen ist das einzig Schwierige an der ganzen Einrichtung. Man muß ihn sich unbedingt vom Schreiner zurecht-hobeln lassen. Für das angegebene Glas mag seine Länge 12 cm, seine Breite, gemessen über der oberen schrägen Fläche, 10 cm oder etwas mehr betragen. Die schematische Zeichnung zeigt, daß alle Flächen des Holzklößes, mit Ausnahme der beiden seitlichen rechts und

links, genau berechnete Winkel miteinander einschließen müssen. Der obere ist ein rechter und kann von dem Schreiner leicht durch Anlegen des Winkels nachgemessen werden. Mit beiden unteren jedoch, von denen der eine $37\frac{1}{2}^\circ$, der andere $52\frac{1}{2}^\circ$ beträgt, dürfte er in einige

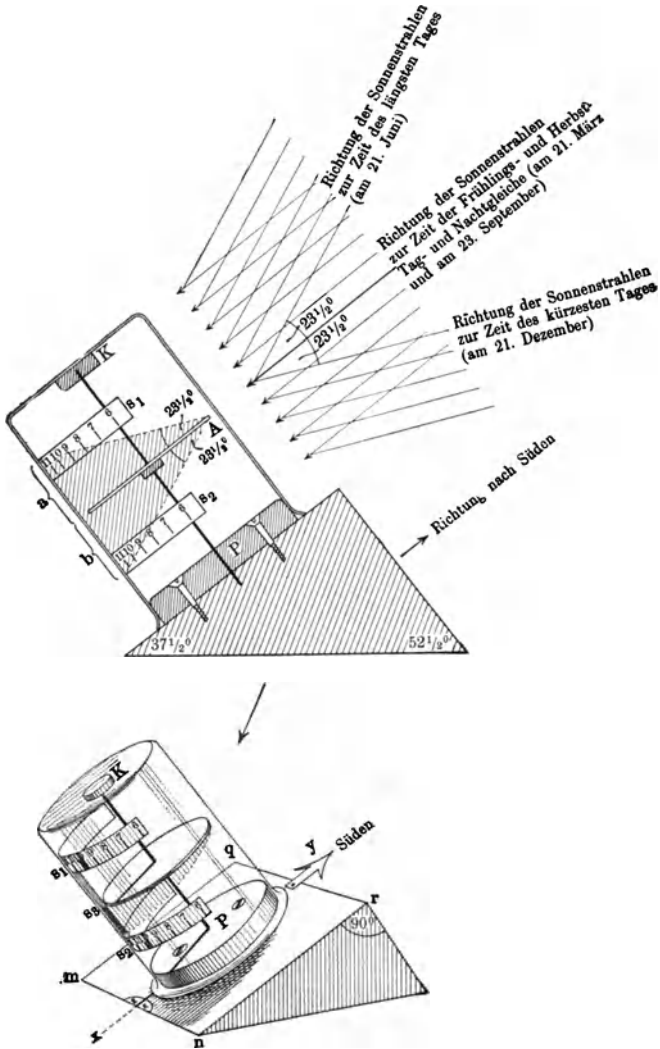


Fig. 64. Eine Sonnenuhr, die zugleich die Jahreszeiten angibt.

Verlegenheit kommen und man liefert ihm daher am besten diese Seitenfläche mit den richtigen Winkeln und in richtiger Größe aus Papp geschnitten ein. Weiß man mit dem Winkelmesser (Transporteur) noch nicht umzugehen, so stelle man sich die Fläche in geforderter Größe her, indem man um die Figur unseres Buches zu den Seiten parallele Linien zieht.

Die Winkel haben der Sonnenhöhe gegenüber eine ganz bestimmte Bedeutung. Richtet man nämlich den Klotz in der bezeichneten Weise mit der rechten schrägen Fläche genau nach Süden, so weist die obere schräge, und von uns zum Aufbau der Uhr benutzte, Fläche genau in die Richtung der Sonnenstrahlen zur Zeit der Frühlings- oder Herbst-Tag- und Nachtgleiche.

Um das Becherglas am Herabgleiten auf der schrägen Fläche zu hindern, wird es über die genau passende vom Drechsler hergestellte Holzscheibe *P* gestülpt. Es genügt, wenn diese eine Höhe von 2 cm hat und zum besseren Halt noch mit einem Zeugstreifen umwickelt wird. Vom Drechsler läßt man sich, genau in der Mitte der Holzscheibe, ein Loch bohren, eben so groß, daß man eine mittelstarke Stricknadel mit Siegellack einfitten kann. Es ist zwar nicht unbedingt notwendig, aber doch wünschenswert, wenn die Nadel gerade so lang ist als das Glas und an ihrem oberen Ende noch einen Halt an einem ebenfalls mit Schellack eingeklebten Korkstückchen *K* findet. Die Nadel trägt genau in ihrer Mitte ein Pappscheibchen, fast so groß als das Glas weit ist. Kann man die Scheibe aus Blech herstellen, so ist dies, da sie sich dann nicht wirft, unbedingt vorzuziehen. Ganz gerade muß sie auf alle Fälle sein.

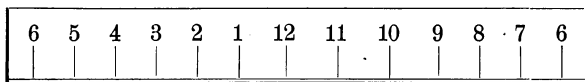
Mit dem Stande der Sonne verschiebt sich der Schatten der Stricknadel auf der Glaswand. Soll er die Stelle eines Uhrzeigers vertreten, so ist noch ein Zifferblatt erforderlich. Dies kann aus zwei, etwa 1,5 cm breiten, durchscheinenden Papierstreifen bestehen, aus zweien, weil je nach dem höheren oder tieferen Stand der Sonne der eine oder andere der Streifen vom Schatten der Scheibe verdeckt sein kann.

Sowohl der Ort als die Einteilung der Streifen ist für unseren Zweck nicht gleichgültig. Soll die Uhr genau genug zeigen, so wende man alle Sorgfalt auf die nun beschriebene Arbeit.

Zunächst zeichne man sich, genau der wahren Größe entsprechend, die Form der Nadel, der Scheibe und des Becherglases — man wählt

ein solches von überall gleicher Weite — auf, wie es in der oberen Figur gesehen ist, und trage darauf oben und unten am Scheibchen einen Winkel von $23\frac{1}{2}^\circ$ an. Die freien Schenkel der Winkel schließen mit der Scheibenrichtung auf der Glaswand zwei, im übrigen gleich große Strecken a und b ein, deren Größe man in Millimetern auf der Zeichnung mißt und sich wohl merkt. Man trägt sie dann auch an dem Becherglas selbst ab, indem man den oberen und unteren Punkt durch einen feinen Tintenstrich bezeichnet. Genau an dieser Stelle soll sich der obere Rand des oberen Zählstreifens, bzw. der untere Rand des unteren Zählstreifens befinden. Verzichtet man jedoch darauf, die Uhr auch als Jahreszeitanzeiger zu verwenden, so bedarf es dieser ganzen Vorkehrungen nicht und man kann die Streifen auch näher oder weiter entfernt von der Scheibe befestigen.

Die Streifen — am besten aus Pauspapier — schneidet man in der Länge so, daß sie etwas mehr als die Hälfte des Glases umfassen und heftet sie mit einer Oblate einstweilen in die richtige Höhe. Darauf bisiert man von dem einen Ende des Streifchens, ohne das Auge zu verrücken, nach dem anderen Ende über die Stricknadel hinweg und macht auf dem Streifchen zwei Marken. Das Streifchen wird dann wieder abgenommen und zwischen den beiden Marken in 12 gleiche Teile geteilt. Der mittlere Teilstrich erhält die Zahl 12, dann die übrigen nach rechts die Zahlen 11, 10, 9, 8, 7, 6 und die Teilstriche nach links die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5, 6, wie es das beigedruckte Schema zeigt:



Ebenso verfährt man mit dem anderen Streifchen. Richtig befestigt werden sie an dem Glase folgendermaßen: Schon bevor man den Sockel des Glases aufsetzte, hat man durch die Mitte der schrägen Klotzfläche eine Linie xy gezogen, die parallel zu den Seitenkanten verläuft und jedenfalls genau senkrecht auf den Kanten mn und qr steht. Auf dieser Linie ist ein kleines Loch gebohrt, in das die Stricknadel, die durch die Holzscheibe P etwas hindurchreicht, hineingesteckt wird. Ist der Apparat so weit fertig, dann stellt man in etwa 2 m Entfernung von ihm, und zwar in der als Süd bezeichneten Richtung, ein Licht auf, etwas erhöht, damit die Nadel einen deutlichen Schatten

auf das Grundbrett wirft. Dann wird die Kerze so lange nach links oder rechts verschoben, bis der Schatten der Nadel genau mit dem Strich xy zusammenfällt, und dann werden die Streifen in richtiger Höhe so an das Glas geklebt, daß der Nadelshadow genau auf den Strich 12 zeigt. Man macht die Streifen nicht zu feucht, damit sie sich nicht dehnen. Vielleicht ist es noch zweckmäßiger, wenn man nach dem Trocknen erst die Teilung von der 12 aus auf dem Glase vornimmt.

Verbindet man noch die beiden Zahlenstreifen zwischen den beiden Teilstrichen 12 durch ein kleines Papierstreifen und überzieht dann das ganze Glas samt Skalen mit einer klaren Schellacklösung, worauf man gelinde erwärmt, so ist die Sonnenuhr fertig und man kann an ihre Aufstellung gehen.

Man wählt ein Plätzchen, das möglichst lange von den Sonnenstrahlen getroffen wird, ohne doch den Unbilden der Witterung allzu sehr ausgesetzt zu sein. Hat man ein Fenster, das nach Süden herausgeht, so kann man die Uhr in einiger Entfernung vom Fenster auch im Zimmer aufstellen, immer aber so, daß sie fest auf einer horizontalen Unterlage steht und von niemand verrückt werden kann. Ein sonniger Tag, um die Zeit der Tag- und Nachtgleichen, eignet sich für die Aufstellung am besten. Die genaue Südrichtung zu finden, bedient man sich einer genau gehenden Taschenuhr und folgt schon einige Minuten vor 12 Uhr mittags der Sonne durch Drehen des ganzen Apparates, derart, daß der Nadelshadow stets auf 12 weist. Im Augenblicke, wo die richtig gehende Uhr 12 zeigt, läßt man ihn stehen und sorgt, ohne weiter an ihm zu rühren, für seine Befestigung auf der Unterlage, die, wie gesagt, stets genau horizontal sein muß.

Von nun ab gibt der Schattenzeiger auf der Skala die sogenannte wahre Sonnenzeit an, die von der mittleren bürgerlichen Zeit meist nur wenig abweicht. Man bemerkt auch weiter an diesem interessanten und unterhaltenden Instrument folgende Erscheinungen, die nicht überraschen können, da sie alle durch das zu Anfang des Kapitels Gesagte schon erklärt sind. Während des Sommers ist die mittlere runde Scheibe von oben beleuchtet, während des Winters von unten. Zweimal im Jahre streifen die Sonnenstrahlen gerade über sie hin, so daß sie nur einen schmalen, ihrer Dicke entsprechenden Schattenstreifen auf den vertikalen Papierstreifen wirft — zur Zeit der Frühlings- und Herbst-Tag- und Nachtgleiche am 21. März und am 23. September. An

diesen Tagen steht der Schattenzeiger genau auf 6, wenn die Sonne aufgeht und genau auf 6, wenn sie untergeht. Zu allen anderen Zeiten wirft die Scheibe einen breiteren Schatten, der im Frühling nach unten, im Herbst nach oben wächst. Zur Zeit des längsten Tages, am 21. Juni, erreicht er gerade die untere Kante der unteren Skala, am kürzesten Tage den oberen Rand der oberen Skala.

Eine so aufgestellte Sonnenuhr nennt man eine Äquatorialuhr, weil ihre Achse zu der des Himmels parallel ist und ihre Scheibenebene, nach allen Seiten ins Ungemessene ausgehnt, genau mit dem Himmelsäquator zusammentrifft. Die großen Fernrohre der Sternwarten haben eben dieselbe äquatoriale Aufstellung.

Gegenläufige Schatten an der Wand. Durch nichts kann die geradlinige, strahlenförmige Ausbreitung des Lichtes so leicht bewiesen werden als durch den Schattenwurf. Denn immer führt eine vom Schatten über den schattenwerfenden Gegenstand gezogene gerade Linie auf die Lichtquelle zurück und ein straffer, der Sonne gerade entgegengesetzener Faden wirft allemal einen punktförmigen Schatten. So viel Lichtquellen, so viel Schatten von ein und demselben Gegenstande.



Fig. 65. Gegenläufige Schatten.

Stellt man, eine Hand breit von einer Wand entfernt, irgend einen schmalen Gegenstand auf, sagen wir einen Bleistift, und in noch größerer Entfernung nebeneinander zwei Lichte, so wird man zwei Schatten erblicken, die jedoch nicht ganz schwarz sind, da dort auf der Wand, wo der eine Schatten hinfällt, noch das Licht der anderen Kerzen ungehindert einwirkt. Die Schatten sind aber nicht immer gleich dunkel, nämlich nur dann, wenn beide Kerzen gleich weit von der Wand entfernt sind und beide gleich hell brennen, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man ein Licht der Wand näher rückt oder den Docht des anderen

verkürzt. Je weiter eine Lichtquelle von der Wand entfernt ist, desto heller muß sie brennen, um denselben Schattenton hervorzurufen wie die näher stehende. Man sieht, mit diesen Schatten ist mehr anzufangen, als man anfangs denkt, sie können sogar in einfachster Weise dazu dienen, Lichtstärken miteinander zu vergleichen.

Ein sich vor der Wand drehender Gegenstand, vielleicht ein Zahnrad, wird natürlich auch einen drehenden Schatten zeigen, dessen Bewegung der des Rades entspricht. Nichts ist natürlicher, als daß dies auch bei zwei Lichtquellen der Fall ist. Jeder kann den Versuch machen. Wer wollte es aber glauben, daß es möglich sei, Rad und Lichte so anzuordnen, daß bei einer Drehung des Rades rechts herum der eine Schatten rechts und der andere links herum läuft? Und doch ist das gar nicht schwierig. Man schneide sich aus steifem Papier einen symmetrischen Stern, stecke eine Stricknadel als Achse hindurch und befestige diese auf beiden Seiten mit einem Korkstückchen. Die Achse mit beiden Händen ergreifend, halte man dann den Stern so, daß er senkrecht und seine Achse parallel zur Wand steht. Rechts und links vom Stern werden, nicht zu nahe, die Lichte aufgestellt; sie entwerfen zwei Schatten dicht beieinander, die sofort gegeneinander zu laufen beginnen, sobald man den Stern gegen die Wand dreht (Fig. 65).

Das Rätsel löst sich sofort, wenn man bedenkt, daß sich der Stern vom rechten Licht aus betrachtet rechts herum, vom linken gesehen aber links herum dreht. So läuft dementsprechend der linke Schatten rechts, der rechte links herum.

Bunte Schatten. Wo kein Licht hinkommt, da ist Finsternis. Nach dieser einfachen, von niemand angezweifelten, Tatsache muß also jeder Schatten pechschwarz erscheinen. Wenn wir trotzdem Schatten begegneten von ausgesprochen grauer Färbung, oder wenn wir nun gar bunte Schatten sehen werden, so ist dies keine Ausnahme von der Regel. In allen solchen Fällen kommt noch von anderer Seite Licht in den Schattenraum hinein.

Wenn die hereinkommende Dämmerung das Lampenlicht erforderlich macht und dann eine kurze Zeitlang zwei Lichtquellen nebeneinander wirken, sieht man die bunten Schatten deutlich. Der Verfasser bemerkt sie, während er dies schreibt, auf seinem Papier. Zwischen dem noch hellen Fenster und seinem Platz steht die Lampe und der Federhalter wirft zwei Schatten. Aber sie sind nicht schwarz, auch

nicht grau, sondern der eine ist blau, der andere intensiv gelb gefärbt. Wo nämlich das Tageslicht den Schatten entwirft, fällt das gelbe Lampenlicht hin und der an und für sich natürlich schwarze Schatten von der Lampe wird durch das bläuliche Tageslicht erhellt.

Man kann sich vom Tageslicht auf folgende Weise unabhängig machen und den Versuch zugleich noch schöner und eindrucksvoller gestalten. Zwei Tischlampen ohne Glocke werden, die eine rot, die andere blau, abgeblendet. Dies geschieht sehr leicht durch Vorsetzen von bunten, nicht zu kleinen Gelatinescheiben, die man bei jedem größeren Drogisten, der sie namentlich zur Weihnachtszeit zum Schmuck seiner Schaufenster verwendet, erhält. Man kann auch zur Not buntes Seidenpapier verwenden. Es werfen dann die beiden Lampen verschiedenartiges Licht nach der Wand, das jedoch, wenn man ein helles Rubinrot und ein blauftichiges Grün wählt, in seiner Gesamtwirkung von Weiß nicht so sehr verschieden ist. Um so überraschender, ja fast verblüffend ist die lebhaftige Färbung der Schatten, von denen der eine blaugrün, der andere rot erscheint. Natürlich ist jeder der beiden Schatten an sich schwarz, wie immer das Licht beschaffen sein mag; der von der roten Lampe herrührende Schatten wird aber von der grünen Lampe beleuchtet und umgekehrt der von der grünen Lampe stammende durch rotes Licht. Verbirgt man die Lampen durch einen Schirm, so wird die Erscheinung für jeden Uneingeweihten ganz rätselhaft, und wenige werden auf die richtige Erklärung verfallen. Man versuche es nur einmal. Sind die Lampen jedoch nicht verdeckt, so kann man sich eine andere Frage erlauben, deren Beantwortung jedoch das Urtheil und und die Beobachtungsgabe der meisten Leute nicht gerade in bestem Lichte erscheinen läßt. Fragt man nämlich etwa, von welcher Lampe der rote Schatten entworfen wird, so ist zehn gegen eins zu wetten, daß man die Antwort erhält: von der roten. Durch Ausblasen der roten Lampe zeigt man dann, wie gründlich sich der Beantworter täuschte oder richtiger, wie wenig er sich die Sache überlegt hat. Dieser Scherz gelingt am besten, wenn die Lampen, deren gegenseitiger Abstand gering sein kann, nicht zu nahe an dem schattenwerfenden Körper stehen und infolgedessen eine Beurteilung durch Wisieren erschweren.

Tanzende Schatten. Man wird stets bemerken, daß ein Schatten um so kleiner erscheint, je weiter die Lichtquelle von dem schattenwerfenden Körper entfernt ist, und daß der Schatten stets eine

Bewegungsrichtung einschlägt, die derjenigen der Lichtquelle entgegengesetzt ist. Auf dieser Tatsache beruht eine einfache optische Spielerei.

Man hängt etwa 1,5 m von einem weißen Laken oder einer geeigneten Wand an zwei Fäden, so daß sie sich nicht drehen kann, eine aus Pappe geschnittene Figur auf. Jedes Licht, das sich vor der Figur befindet, entwirft einen Schatten der Figur auf einer anderen Stelle der Leinwand, so daß eine ganze Versammlung von Schatten gestalten beisammen ist. Man stellt die Lichte auf einem Tisch auf und schiebt sie mit einigen Gehilfen hin und her, vor und zurück, während man von Zeit zu Zeit das eine oder andere von ihnen auch hebt und senkt. Dadurch hat es den Anschein, als führten die Schatten an der Wand einen wilden Tanz auf.

Der Geisterreigen. Viel vollkommener kann man den Eindruck gestalten, wenn man statt der dunkeln Figuren helle Figuren auf dunkeln Grunde tanzen läßt. Man verfährt dann folgendermaßen:

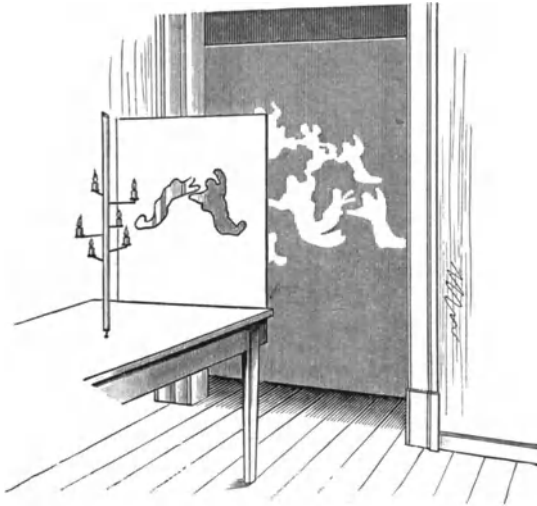


Fig. 66. Geisterreigen.

Es wird wieder das Laken aufgespannt, und zwar diesmal in einem Türrahmen, da bei dieser Versuchsanordnung der Experimentator sich in einem anderen Zimmer wie die Zuschauer befinden muß. Vor das Laken (vgl. Fig. 66) wird ein Tisch gestellt und an seiner Stirnseite

ein großes Pappstück befestigt, auf das man ein oder zwei tanzende Gestalten, nicht zu groß, zeichnet und mit einem scharfen Federmesser ausschneidet. Hinter dem Pappschirm auf dem Tisch wird ein runder Stab — ein Besenstiel — aufgestellt, in den sechs oder mehr Leuchter verschiedener Länge, wie man sie für den Weihnachtsbaum verwendet, eingebohrt werden. Unten schlägt man in den Stab einen Stift ein, um ihn dann leicht auf diesem drehen zu können. Wenn man nun die Lichte anzündet und die Spindel langsam in Drehung versetzt, so werden die hellen Bilder der ausgeschneideten Figuren so oft auf der Leinwand erscheinen, als man Lichte anwendet, und zum Teil nach rechts, zum Teil nach links über die Leinwand wandern, was dann den Anschein hat, als ob die Gestalten einen wirbelnden Tanz umeinander aufführten.

Recht überraschend kann man den Versuch so abändern, daß man zunächst nur ein Licht entzündet und so erst eine Gestalt (oder zwei, wie in unserer Abbildung) erscheinen läßt. Bei jedem neuen Licht erscheinen neue Figuren, so daß sich die Geister zum Tanz zu versammeln scheinen. Hat man im Hintergrunde einige Lichter, die stille stehen, so werden einige Figuren sich nicht an dem Reigen beteiligen und gleichsam die Zuschauer abgeben.

Je weiter die Pappblende von dem Tuch entfernt ist, desto größer werden die Gestalten, sie wachsen natürlich auch mit der Annäherung der Kerzen.

Bilder durch ein Loch. Wer hat nicht schon einmal an einem schönen Sommertage, zum Nachmittagsschläfchen bereit, auf seinem Sofa gelegen, wenn sich das Licht nur mühsam durch einige Ritzen und Löcher der herabgelassenen Jalousien stahl? Und wer hat dann nicht an der Decke oder an der Wand jene seltsamen vorüberhuschenden Schatten bemerkt, die jedesmal auftreten, wenn ein Spaziergänger vorübergeht oder ein Wagen die Straße passiert? Gewiß schon ein Jeder. Es sind nichts anderes als Abbildungen, die mit Hilfe des

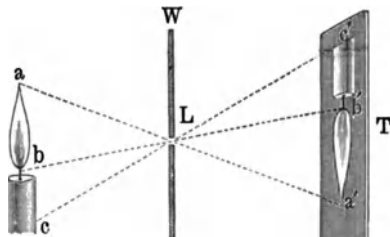


Fig. 67. Bilder durch ein Loch.

Lichtes, wenn auch in unvollkommener Weise, von den Gegenständen außerhalb des Zimmers entworfen werden, sogenannte Lochbilder. Man betrachte einmal die Fig. 67, um zu sehen, wie sie zustande kommen. *W* möge eine mit dem Loch *L* versehene Wand sein. Rechts von ihr möge sich ein verdunkelter Raum befinden, in dem eine mit weißem Papier überzogene Tafel *T* aufgestellt ist. Stellt man vor der Wand eine Kerze auf, so erscheint sofort ihr deutliches, aber umgekehrtes Bild auf der Tafel. Die Erklärung der Erscheinung



Fig. 68. Einfacher Versuch über die geradlinige Ausbreitung des Lichtes.

kann nicht schwer fallen, wenn man sich dabei der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes erinnert und ferner bedenkt, daß nicht nur von selbstleuchtenden Körpern — wie der Flamme — Licht ausgeht, sondern auch von allen Körpern, die vom Licht getroffen werden und die Eigenschaft haben, die Lichtstrahlen zurückzuwerfen. Eine Beobachtung lehrt, daß Licht, das von der Spitze *a* der Flamme ausgeht, durch das Loch hindurch nicht jede beliebige Stelle der Tafel treffen kann, sondern allein die mit *a'* bezeichnete. Eine ähnliche Überlegung läßt sich für jeden anderen Punkt der Flamme anstellen. Es muß mithin auf dem Schirm eine erleuchtete Fläche entstehen, die genau der Gestalt der

Kerzenflamme entspricht, ein Bild, das dann natürlich auf dem Kopfe steht. So bildet sich durch das Loch jeder Gegenstand, der selbst leuchtet oder erleuchtet ist, auf der Tafel ab, jeder Baum, jedes Haus, jeder Mensch, und zwar um so besser, je heller er beleuchtet ist. Man kann sich leicht von dem Vorhandensein des Lochbildes überzeugen, wenn man in die Mitte eines großen Papierbogens mit einem Federhalter ein Loch sticht und dann den Bogen, dem Fenster gegenüber, einer Wand nähert. Man wird dann sehr bald die umgekehrte, aber doch deutliche Abbildung des Fensterkreuzes an der Wand bemerken. Oder man fängt, wie es Fig. 68 zeigt, das Bild einer Kerze auf dem Kachelofen auf, indem man einen dunkeln, mit einem kleinen Loch versehenen Bogen Papier (Aktendeckel) zwischen Licht und Ofen hält. Man beobachtet, daß die Bilder um so größer, aber auch um so lichtschwächer werden, je näher sich das Loch an der Kerze befindet und daß selbstverständlich die Anzahl der Bilder gleich der Anzahl der Löcher multipliziert mit der Anzahl der Kerzen ist. Je größer die Löcher, desto lichtstärker, aber auch desto unschärfer sind die Bilder.

Ein billiger photographischer Apparat. Das Photographieren, ehemals eine schwer zu erlernende und nur von wenigen mit Erfolg ausgeübte Kunst, gehört heutzutage fast schon, wie das Klavierspielen, zum guten Ton. Der Grund hierfür ist die Käuflichkeit der in Unmassen fabrikmäßig hergestellten und sehr empfindlichen photographischen Platten, die ehemals vom Photographen vor jeder Aufnahme gegossen und sorgfältig präpariert werden mußten. Alles dies fällt nun fort. Auch hat sich die Industrie bemüht, verhältnismäßig billige Apparate auf den Markt zu bringen. Und doch sollte daraufhin nicht jedermann photographieren wollen, denn er wird wenig Freude dabei erleben. Der gute Rat sei unseren jungen Lesern hier gegeben: Wenn sie die Absicht haben, sich mit der schönen Lichtbildkunst ernstlich, aber auch wirklich ernstlich zu beschäftigen, dann mögen sie Erspartes oftmals erst zu Erspartem legen, ehe sie sich entschließen, dem Rate eines erfahrenen Fachmannes folgend, einen wirklich gut gearbeiteten Apparat mit guter Linse und gutem Verschluß zu kaufen. Liegt ihnen aber nur daran, irgend einmal ein photographisches Bildchen zu fertigen und den Prozeß der Entwicklung kennen zu lernen, dann ist der billigste Apparat noch viel zu teuer. Es genügt für den Versuch jeder Pappkarton.

Man hält Umschau unter den Pappschachteln, die sich immer im Haushalt ansammeln. Findet man eine darunter, deren Tiefe etwa 15 cm beträgt und deren Boden die Abmessungen von etwa 13×10 cm hat, so ist sie als photographischer Apparat recht geeignet. Doch kommt es so genau darauf nicht an, nur kleiner als angegeben sollte die Bodenfläche nicht sein. Der Boden des Kastens, der später auf das aufzunehmende Objekt gerichtet wird, erhält genau in der Mitte ein recht sauber ausgeschnittenes oder ausgestanzenes Loch von etwa 2 cm Durchmesser. Könnte man nun in den Kasten, auch wenn er geschlossen ist, hineinsehen, so würde man im Innern auf dem Deckel ein Bild der hellen Gegenstände außen — ein Lochbild — bemerken, aber so verschwommen, daß es sich zur photographischen Aufnahme nicht eignet.

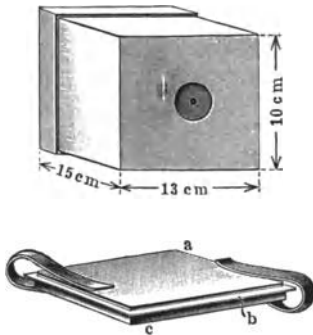


Fig. 69. Ein billiger photographischer Apparat.

Um es schärfer zu machen, muß man das Loch verkleinern und zugleich dafür sorgen, ihm so scharfe Ränder als irgend möglich zu geben. Wir kleben vor das Loch Papier und durchstechen dieses mit einer feinen Nadel (Fig. 69). Selbstverständlich muß es schwarzes Papier sein, das auch nicht die kleinsten Poren zeigt. Man erhält es fast umsonst in den photographischen Handlungen oder beim Photographen, wenn man um das Papier bittet, in dem die Platten verpackt waren. Mit diesem Papier überzieht man auch den

ganzen Kasten, damit keinerlei Licht in ihn hineingelangt. Da das Bildloch durchaus glatte, nicht aufgeworfene Ränder haben muß, sticht man es schnell mit einer rotglühenden Nadel ein. Es sollte nicht mehr als 0,5 mm, aber auch nicht weniger als 0,2 mm Durchmesser haben.

In den Deckel, der sehr gut schließen und mit breiten Rändern weit über die Schachtel greifen muß, wird die Platte eingelegt, auf der das photographische Bild entstehen soll. Um jede Reflexion des Lichtes innerhalb des Kastens zu verhüten, werden Kasten und Deckel ebenfalls mit schwarzem Papier ausgekleidet. Es ist sehr empfehlenswert, den Rand des Deckels innen mit einem schmalen, weichen Tuchstreifen zu bekleben.

Photographische Platten kauft man, zu Paketen gewickelt, in den photographischen Handlungen, deren heute jede Stadt mindestens eine

hat. Man nehme das Format $8\frac{1}{2} \times 10$ cm oder besser noch 9×12 cm und lasse sich ausdrücklich versichern, daß das Paket völlig frisch sei. Die Platten dürfen nur im Dunkeln oder bei rubinrotem Licht geöffnet werden, da daß weiße Licht ihre Schicht sofort zersetzt. Man glaube aber nicht, für seine einfachen Versuche einer wohleingerichteten Dunkelkammer zu bedürfen wie der Photograph. In der Nacht oder den späten Abendstunden ist jedes Zimmer eine Dunkelkammer, falls nicht von der Straße her Licht durch die Fenster hereinfällt. Vor die Fenster gehängte Tücher beseitigen auch diese Lichtspuren.

Note Zylinder sind, für Petroleumlampen passend, in den photographischen Geschäften erhältlich. Damit zur oberen Öffnung kein weißes Licht herausfällt, kaufe man mit dem Zylinder eine Lichtkappe aus Metall, die dem Licht den Austritt verwehrt, ohne aber den Luftzug abzuschneiden. Fällt aus dem Brennerkorb noch weißes Licht heraus, so umschließe man ihn mit einem Pappstreifen. Da, wenn auch in geringem Maße, die roten Strahlen von Einfluß auf die Platte sind, so gewöhne man sich von vornherein daran, die Platten nicht mehr als unbedingt nötig dem roten Lichte auszusetzen und die Operationen zum größten Teil im Schatten eines seitlich der Lampe aufgestellten großen Buches auszuführen. Will man mehrere Aufnahmen am Tage machen, dann bedarf man dazu eines auch am Tage dunkeln Raumes, der sich aber schließlich irgendwo im Keller, unter einer Treppe usw. finden läßt.

Im Schein der roten Lampe wickelt man die Platten aus und heftet eine von ihnen mit weichem Wachs innen an den Deckel. Man kann die Befestigung auch durch eingeklebte Gummischwürchen bewerkstelligen, die etwas über die Ecken der Platte greifen. Die matte Seite der Platte ist die empfindliche. Sie wird leicht herausgefunden, wenn man mit dem Nagel zart an einer Ecke kratzt oder sich die rote Lampe in der Fläche spiegeln läßt. Diese empfindliche Seite kommt nach vorn, dem Loche gegenüber, zu liegen. Bevor man den dunkeln Raum verläßt, vergesse man nicht, die übrigen Platten wieder sorgfältig einzuwickeln.

Vor das Loch drückt man ein schwarzes Stück Papier und stellt den Apparat dem aufzunehmenden Gegenstande gegenüber auf einem Tisch oder sonst einer festen Unterlage auf. Darauf nimmt man das Papier fort.

In der Gelatineschicht der Platte befindet sich eine chemische Silberverbindung, die die Eigentümlichkeit hat, sich unter der Einwirkung des Lichtes zu zersetzen. Auf diese Schicht fällt das vom Loch erzeugte

Bild und verursacht, da es nicht überall gleich hell ist, an verschiedenen Stellen eine verschieden starke Zersetzung, die im übrigen aber der Form des Bildes genau entspricht. Wie lange man das Licht auf die Platte einwirken lassen muß, hängt von der Helligkeit des Gegenstandes ab. Je heller er ist, desto kürzer kann die Belichtungszeit — die Expositionszeit, wie der fachtechnische Ausdruck lautet — sein. Da sie auch abhängt von der Größe des Loches, kann man kaum eine



Fig. 70. Photographische Aufnahme mit Hilfe einer Papptüte.

Regel aufstellen. Jedenfalls ist sie viel, viel länger als bei Apparaten, die statt des Loches eine Linse haben. Das beigedruckte, vom Verfasser mit einem Lochapparat aufgenommene Bild eines Hauseinganges (Fig. 70) wurde bei einem Lochdurchmesser von 0,4 mm in 22 Sekunden hergestellt. Dunklere Gegenstände erfordern eine zehn- oder zwanzigmal längere Expositionszeit, das Innere eines Zimmers vielleicht einen ganzen Tag. Personen lassen sich also nur in grellem Sonnenschein aufnehmen.

Ist die Aufnahme gemacht, während derer natürlich niemand an den Apparat stoßen darf, so verschließt man die Öffnung mit dem dunkeln Papier und trägt den Apparat in die Dunkelkammer zurück.

Betrachtet man die Platte dort bei rotem Licht, so wird man zu seinem Erstaunen auch nicht die leiseste Spur eines Bildes auf der Schicht entdecken. Und doch ist das Bild auf ihr vorhanden, mit allen feinen Feinheiten der Zeichnung und Lichtabstufung. Um sichtbar zu sein, muß es erst entwickelt werden.

Die Entwicklung der Platte wird selbstredend, wie alle vorangehenden Maßnahmen, bei schwachem roten Licht vorgenommen. Der Entwickler ist eine Flüssigkeit, mit der die Platte in einer Schale — ein Teller genügt auch, wenn er tief genug ist — überschüttet wird. Der Photograph kennt viele Entwickler, sie dienen bestimmten Zwecken. Für uns genügt es, einen Entwickler zu wählen, dessen Anwendung so einfach als möglich ist und der nicht erst mit anderen Chemikalien gemischt zu werden braucht. Das in kleinen Flaschen käufliche Rodinal genügt allen Ansprüchen. Man mischt folgendermaßen:

auf 100 Teile Wasser
6 Teile Rodinal.

Diese Entwicklerflüssigkeit wird in der Schale über die Platte gegossen, deren empfindliche Schicht nach oben zu liegen kommt. Es muß genug sein, damit die Platte mit einem Schläge völlig bedeckt wird. Nach wenigen Sekunden beginnt das Bild zu erscheinen, indem sich die zumeist vom Licht getroffenen Stellen zuerst schwärzen. Es entsteht ein Negativ, da die hellsten Gegenstände auf der Platte am dunkelsten werden. Menschen haben auf ihr dunkle Haut und helle Haare, am schwärzesten fällt die Wäsche aus, weil sie ganz weiß ist. Um die Platte richtig beurteilen zu können, betrachtet man sie in der Durchsicht gegen das rote Licht und wartet so lange, bis alle Teile des Originals, auch die dunkelsten (auf der Platte hellsten), erschienen sind und bis das Negativ genügend geschwärzt ist. Kommt die Platte sehr langsam und gibt nur die hellsten Teile des Originals wieder, so hätte die Aufnahme länger dauern müssen; schießt das Bild jedoch sehr schnell hervor und verschwindet ebenso schnell unter einem grauen Schleier, dann war die Platte überbelichtet. Richtig zu belichten ist eine schwierige Kunst, die erst durch lange Übung erlernt wird.

Das Fixierbad. Die so entwickelte Platte wird tüchtig durch Hin- und Herschwenken in einem Eimer abgespült und von den Entwicklerresten befreit. Noch immer aber ist sie lichtempfindlich und darf nicht bei Tageslicht betrachtet werden. Um die noch nicht zersetzte Silberschicht herauszuwaschen, muß die Platte in einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron lichtfest gemacht, d. h. fixiert werden. Man löst dazu das in photographischen Handlungen in Büchsen käufliche saure Fixiersalz in der auf der Büchse angegebenen Menge Wasser auf, gießt die Lösung in eine Schale und legt die Platte — Schicht wiederum nach oben — hinein. Betrachtet man die Platte von Zeit zu Zeit von der Rückseite, so wird man merken, daß die weißliche Schicht allmählich weggefressen wird und die Platte dunkel erscheint. In Wahrheit ist sie durchsichtig geworden und kann nun oberflächlich abgespült und bei Tageslicht betrachtet werden. Um sie aber haltbar zu machen, ist es noch nötig, auch die letzten Spuren von Fixiernatron aus der Schicht herauszuwaschen. Dies geschieht durch Wässern der Platte unter einem nicht zu starken Wasserstrahl. Eine halbe Stunde derartiger Spülung genügt. Hat man Wasserleitung nicht zur Verfügung, so lege man die Platte — immer Schicht nach oben — in eine Schale und wechsle in einer Stunde das Wasser etwa zehnmal. Darauf wird die Platte an einem nicht zu hellen, luftigen, aber staubfreien Orte zum Trocknen aufgestellt. Die aufgeschwemmte Gelatineschicht fällt dabei zu einem feinen, glatten Häutchen zusammen. Unter normalen Bedingungen nimmt die Trocknung fünf bis sechs Stunden in Anspruch, kann aber auch 12 Stunden und länger dauern. Keinenfalls versuche man durch Anwärmen der Platte — etwa auf einem Ofen — den Prozeß zu beschleunigen. Die Schicht würde dann streifig austrocknen oder gar flüssig werden.

Das positive Bild. Man wird sich nicht mit der Herstellung eines Negativs allein begnügen, sondern ein Bild haben wollen, das Licht und Schatten des Originals genau wiedergibt. Dazu muß von der Platte noch einmal ein photographisches Abbild gemacht werden, und zwar auf lichtempfindlichem Papier, nicht durch eine besondere Aufnahme, sondern durch den Prozeß des Kopierens. Man drückt das lichtempfindliche Papier *b*, dessen Herstellung gleich besprochen werden soll, mit der empfindlichen Seite flach gegen die Schicht der Platte *a*, indem man einige Schichten von Zeitungspapier *c* und eine zweite Glasplatte hinterlegt und das Ganze durch Auf-

schieben der billigen Kopierklammern fest zusammengedrückt (Fig. 69). Wird dann die Platte mit der Glasseite dem Licht ausgesetzt, so durchbringt dieses die Schicht und färbt alle Teile des darunter liegenden Papiers am dunkelsten, die auf der Platte am durchsichtigsten sind. So entsteht ein richtiges, positives Bild.

Es gibt außerordentlich viel verschiedene Positivpapiere im Handel, keines aber ist so leicht zu behandeln, wie das folgende, das man sich ohne viele Mühe und mit geringen Kosten selbst präparieren kann. Es gibt schöne blaue Bilder auf weißem Grunde.

Man läßt sich in der photographischen Handlung folgende zwei Lösungen zusammensetzen:

Flasche I. 100 g destilliertes Wasser,
9 g rotes Blutlaugensalz.

Flasche II. 100 g destilliertes Wasser,
25 g grünes, zitronensaures Eisenoxydammoniak.

Beide Lösungen sind getrennt längere Zeit haltbar; Lösung II zeigt an ihrer Oberfläche Neigung zur Schimmelbildung, ohne deswegen unbrauchbar zu werden.

Will man ein Stück Papier oder eine Postkarte lichtempfindlich machen, so mischt man gleiche Teile aus beiden Flaschen zusammen und streicht diese Lösung bei Lampenlicht oder gedämpftem Tageslicht mit einem kleinen Schwämmchen dünn auf und läßt trocknen. Glatte Papiere eignen sich am besten. Das empfindliche, gelbgrün scheinende Papier ist einige Tage, im Dunkeln aufbewahrt, haltbar und kann daher gleich in größerer Menge angefertigt werden. Die gemischte Lösung indes verdirbt schnell.

Das positive Bild braucht nicht entwickelt zu werden, es ist sogleich beim Kopieren sichtbar. Will man den Fortschritt des Bildes beobachten, so hinterlegt man das Papier nicht mit einer Glascheibe, sondern mit einem weichen Buch, dessen eine Seite man dann von Zeit zu Zeit nach Entfernung der einen Kopierlammer, ohne das empfindliche Papier zu verrücken, zur Seite biegen kann. Hat die Platte eine halbe Minute in der Sonne oder zwei bis drei Minuten im hellen Tageslicht gelegen, dann kann man schon einmal nachsehen, was natürlich im dunkleren Zimmer geschehen muß. Man kopiert so lange, bis die anfänglich dunkelsten Stellen des Bildes anfangen, einen eigentümlich graurötlichen Ton anzunehmen und dabei wieder etwas heller werden.

Die weitere Behandlung des Papierbildes ist mehr als einfach. Man hat es, um es lichtfest zu machen, nur in Wasser zu werfen. Hier nimmt es eine schöne, tiefblaue Färbung an, während sich die hellsten Stellen, die bisher gelbgrün waren, glänzend weiß herauswaschen. Hat man das Wasser so oft erneuert, bis es sich nicht mehr grün färbt, so ist das Bild fertig und kann zum Trocknen aufgehängt werden.

Einfacher als wir es eben geschildert, dürfte ein photographisches Bild nicht herzustellen sein. Es kann bei geschickter Herstellung recht nett sein, freilich aber mit den Aufnahmen, die man mit den teureren Linfenapparaten herstellt, an Schärfe nicht wetteifern. Das beigelegte Bild zeigt, was immerhin zu erreichen ist (Fig. 70).

*** Die Camera obscura.** Das von einem Loch entworfene Bild ist außerordentlich lichtschwach, um so mehr, je größer es ist. In unserem photographischen Apparat würden wir das Bild kaum sehen können, und nur die ungeheure Empfindlichkeit der photographischen Platte, auf der sich die Lichteindrücke mit der Zeit addieren und nicht wie in unserem Auge verzehrt werden, ermöglicht eine verhältnismäßig immerhin doch kurze Belichtungszeit. Alles Licht, das im Bilde vorhanden ist, mußte sich durch das Loch drängen und dies ist eben sehr klein. Bei größerer Öffnung wird das Bild wohl lichtstärker, aber auch viel unschärfer und geht schließlich in einen hellen weißen Schein über, in dem man keinerlei Formen und Farben mehr unterscheiden kann. Ganz anders aber, wenn man in die größere Öffnung eine beiderseits nach außen gekrümmte Glaslinse — ein gewöhnliches Brennglas — einsetzt. Diese Linse bringt das Kunststück fertig, trotz ihrer größeren Öffnung ein scharfes Bild zu entwerfen, das dann lichtstark genug ist, um auf weißem Papier mit dem Bleistift nachgezeichnet zu werden.

Wir nehmen irgend ein Brennglas oder eine Lupe zur Hand und machen damit folgenden Versuch.

Zunächst halten wir es etwa 50 cm vor eine Wand, dem Fenster gegenüber. Wir bemerken auf der Wand keine Veränderung oder doch nur einen großen, kreisrunden Schein. In dem Maße aber, wie wir das Glas der Wand nähern, wird der Schein heller und kleiner, gewinnt Gestalt und fast plötzlich taucht das umgekehrte Bild des Fensters auf. Es verschwimmt sofort wieder, wenn wir in

der Bewegung der Linse fortfahren und sie der Wand noch weiter nähern. Hierin unterscheidet sich mithin die Linse von dem Loch: sie gibt nur in einer bestimmten Entfernung deutliche Bilder, während die Lochbilder in verschiedenen Entfernungen mit gleich gutem Erfolge aufgefangen werden können. Es ist sogar die Entfernung der Linse von dem Bildschirm nicht für alle Gegenstände dieselbe. Man wird sehr bald die Erfahrung machen, daß für nahe Gegenstände ein größerer Abstand als für weitere erforderlich ist. Nähert man daher sehr allmählich die Linse dem Schirm (der Wand), so werden erst die

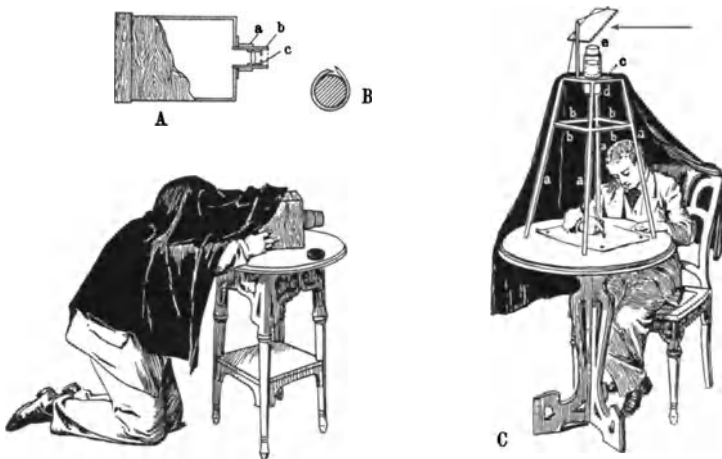


Fig. 71. Die Linsenkamera.

Tische und Stühle im Zimmer scharf abgebildet, darauf, während erstere verschwimmen, das Fenster und schließlich die ferne Landschaft. Den Abstand, in dem eine Linse einen fernen Gegenstand scharf abbildet, nennt man ihre Brennweite. Sie ist bei jeder Linse anders und abhängig von ihrer Krümmung. Stark gekrümmte Linsen haben eine kurze, flache Linsen eine lange Brennweite.

Da wir unsere dunkle Kammer, die Camera obscura, in der das von der Linse entworfenene Bild, durch fremdes Licht nicht gestört, erscheinen soll, nicht übermäßig groß bauen wollen, so ist es zweckmäßig, die gewöhnliche Linse eines Vergrößerungsglases (Leseglases) zu verwenden, deren Brennweite kaum mehr als 20 cm betragen dürfte. Die Einrichtung der Camera ist ganz die im vorigen Paragraphen

beschriebene, nur daß an Stelle der kleinen Öffnung die Linse tritt, welche verschiebbar angeordnet werden muß, um das Bild scharf einzustellen zu können.

Ist die Brennweite der verfügbaren Linse etwa 20 cm, so ist ein Pappkasten geeignet, dessen Tiefe etwa ebenso groß ist. Man schneidet dann in die Mitte der Vorderwand ein Loch, fast so groß wie die Linse, und klebt auf seinem Rande ein vielleicht 3 bis 4 cm weites Papprohr *a* (Fig. 71, A) auf, in dem sich ein zweites, längeres Papprohr *b*, das die Linse enthält, leicht, aber genau anschließend und lichtdicht, verschieben läßt. Die Röhren stellt man leicht her, wenn man die nicht zu starke Pappe um ein rundes Holz von passendem Durchmesser legt, an den Rändern, soweit sie übereinander zu liegen kommen, schräg feilt oder schneidet, mit gutem Leim verklebt und mit Schnur fest umwickelt (Fig. 71, B). Die Linse kann in der Röhre durch zwei Sperrringe aus Pappe festgesetzt werden.

Auch mit diesem Apparat lassen sich photographische Aufnahmen machen, nur ist es nötig, das Bild dort, wo die photographische Platte es auffangen soll, scharf einzustellen. Da man den Kopf in den kleinen Apparat nicht hineinbringen kann, so fertigt man einen zweiten auf den Kasten passenden Deckel, in dem eine viereckige Öffnung, so groß wie die Platte, mit Pauspapier überzogen ist. Auf diesem durchscheinenden Blatt sieht man, vorausgesetzt, daß eine Einstellung der Linse durch Verschiebung des vorderen Rohres erfolgt ist, das Bild in so lebhaften Farben, wie sie das vollendetste Gemälde nicht zu geben vermag. Um durch fremdes Licht nicht gestört zu sein, nimmt man, wie der Photograph, ein dunkles Tuch über den Kopf. Aber — das ganze Bild steht auf dem Kopfe, die Füße der Menschen sind oben, der Kopf hängt nach unten, ein Umstand, der den Genuß an der Sache etwas verkümmert, die Brauchbarkeit des Apparates aber nicht im geringsten stört, da man ja die photographische Platte nachher umkehren kann.

Hat man auf diese Weise scharf eingestellt, so ist es nötig, die Linsenöffnung etwas abzublenden, da sie sonst an den Rändern unscharfe Bilder liefert. Dies geschieht sehr einfach durch Vorsetzen einer kreisrunden, in der Mitte mit einer Öffnung von etwa $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser versehenen Pappscheibe vor die Linse, wie es in Fig. 71, A bei *c* angedeutet ist. Darauf verschließt man noch die Röhre mit einem lichtdichten Deckel, merkt sich genau mit Kreide die Stellung der

Kamera an und trägt sie dann in die Dunkelkammer, wo man bei der roten Lampe den transparenten Deckel mit dem vertauscht, welcher die Platte enthält. Die Reihenfolge der Operationen ist dann genau dieselbe, wie im vorigen Paragraphen angegeben. Nur hat man zu beachten, daß der Linsenapparat ein weit helleres Bild liefert als der Lochapparat und demgemäß kürzere Belichtungszeiten gestattet. Gegenüber einem sonnenbelegten hellen Gegenstande wird es genügen, den Objektivdeckel — Objektiv heißt die Linse in ihrer Röhrenfassung — nur einen Moment abzunehmen, selbst im Zimmer kommt man mit einigen 20, 30 Sekunden Expositionszeit aus. Die Erfahrung ist auch hier der beste Lehrmeister.

Soll das Bild einer Linsenkamera, die man auch wohl „dioptrische Kamera“, im Gegensatz zu der Kamera mit Spiegeln, der „katoptrischen“, nennt, aufrecht stehen, so braucht man zwei Gläser, die um die Summe ihrer Brennweiten voneinander abstehen. Dies würde für unsere Kamera eine Objektivröhre von über 40 cm nötig machen. Man kann jedoch dieser Unbequemlichkeit durch Konstruktion der

*** Spiegellkamera** begegnen. Sie soll die Bilder auch etwas größer liefern und vornehmlich das Nachzeichnen auf einem weißen Papierbogen ermöglichen. Ein Pyramidengestell von 1 m Höhe (vgl. Fig. 71, C) wird aus den vier leichten Latten *a*, den versteifenden Querlatten *b* und dem Kopfbrett *c* so aufgebaut, daß die Füße etwas gespreizt stehen und erlauben, den Kopf und den Arm in das Gestell hineinzubringen*). Das Kopfbrett trägt die Pappröhre *d* und in dieser verschiebbar das Rohr *e* mit der Linse. Diese ist der am schwersten zu beschaffende Teil des ganzen Apparates, denn die Linse muß eine große Öffnung haben, um helle Bilder zu geben, und eine lange Brennweite, in unserem Falle über 1 m, um die Bilder scharf einstellen zu können. Sie ist auch nicht billig und würde für uns unerschwinglich sein, wenn es eine sogenannte achromatische Linse, d. h. eine Linse, welche die Umrisse der Gegenstände ohne farbige Ränder gibt, sein müßte. Es genügt aber jede ordinäre Linse (Brennglas) von 8 bis 10 cm Durchmesser und der angegebenen Brennweite. Man bekommt sie oft sehr billig bei einem Optiker, dem sie aus irgend einem Grunde, durch Kratzer auf ihrer Oberfläche oder einen kleinen

*) Statt des Gestelles kann man natürlich auch, was weit einfacher ist, eine Kiste nehmen.

Sprung, unbrauchbar geworden ist. Dem Bilde tut ein solcher Mangel gar keinen Abbruch, ja selbst ein aus dem Rande fehlendes Stück würde nicht allzuviel schaden, wenn man das Loch mit schwarzem Papier verklebt. Je größer übrigens der Durchmesser der Linse, desto besser.

Über den Tisch, auf dem die Füße der Kamera stehen, spannt man einen weißen Bogen Papier und deckt über das ganze Gestell ein recht dunkles, aber leichtes Tuch so, daß man selbst von ihm bedeckt ist und also mit in dem finsternen Raume sitzt. Da jedoch der Apparat aufrecht steht, würde man einstweilen nichts sehen als den blauen Himmel. Es ist daher nötig, die seitlich von der Landschaft kommenden Lichtstrahlen durch einen Spiegel auf die Linse zu werfen. Unsere Leser ersehen aus der Figur, wie das leicht zu machen ist. Ein etwa 15 cm breiter und 20 cm langer Spiegel aus sehr gutem Glase — die billigen Jahrmarttspiegel sind gänzlich unbrauchbar — wird an seinem Rahmen durch ein Scharnier mit einem auf dem Brette *c* eingeleimten Lattenstück verbunden und erhält andererseits, ebenso wie die Latte auf dem Kopf, eine kleine Öse. Von dieser wird eine Schnur durch die Öse der Latte gezogen und zu dem Zeichner herabgeführt, der es damit in der Hand hat, die Neigung des Spiegels zu ändern und entweder den Horizont der Landschaft oder Teile des Vordergrundes zu betrachten. Sonst sucht er das passende Objekt durch Drehen des Tisches auf, wobei er mit dem Stuhl nachrückt. Es ist selbstverständlich, daß er stets dabei der besichtigten Landschaft den Rücken kehrt.

Es kann kaum etwas Reizvolleres geben, als die Betrachtung dieses Bildes auf dem weißen Papier. Nicht nur, daß alle Farben, alle Formen bis ins kleinste bewunderungswürdig nachgebildet sind — das Bild lebt. Man sieht das Kornfeld wogen, die Zweige und Blätter sich bewegen, Menschen und Tiere ihre Straße ziehen, Wolken-schatten über die Landschaft eilen. Durch diese Vorzüge ist die Spiegelkamera nicht nur ein belehrendes, sondern auch ein unterhaltendes Instrument, und man begegnet ihr daher bisweilen in freistehenden Pavillons und Gartenhäuschen, auf deren Dach man, in einer Röhre nach unten verschiebbar, die Linse mit dem Spiegel angebracht hat, nur daß diese Linse in diesem Falle einen noch größeren Durchmesser und eine längere Brennweite hat als die unserige. Das ganze Häuschen ist dann die dunkle Kammer und die Beschauer treten um einen in der Mitte stehenden weiß gestrichenen Tisch, auf dem das Bild aufgefangen wird.

Das Auge eine Linienkamera. So kunstvoll auch unsere photographischen Apparate sein mögen, so vollendet man auch ihre Objektive schleifen mag, alle miteinander werden durch ein Organ in den Schatten gestellt, das uns der Schöpfer in zwei Exemplaren mit auf den Lebensweg gegeben hat. Das Auge ist in der That nichts anderes als eine Linienkamera aus lebender Substanz, eine Kamera, der keine unserer Einrichtungen fehlt, versehen mit einer Blenden- vorrichtung, einer einstellbaren Linse, einer empfindlichen Platte, bewegt und gerichtet durch das vollendetste System von Nerven und Muskeln. Auch der Deckel vor dem Objektiv fehlt nicht. Überall finden wir an dem Auge schon bekannte Teile des photographischen Apparates wieder.

Der Augapfel ist fast kugelförmig, von der Größe einer mittelmäßigen Walnuß (Fig. 72, A). Auf dem vordersten Teile sitzt eine kleine kugelförmige Erhöhung — dem Objektivansatz vergleichbar — die dem übrigen großen Kugelförper der Form nach nicht anzugehören scheint. Eine feste, elastische und hornartig dichte Umkleidung, die Hornhaut *H*, umschließt und schützt den ganzen Augapfel. Sie ist gut sichtbar in dem „Weißen“ des Augapfels. Doch ist sie nur außen weiß, innen dagegen schwärzlich. Bei Kindern und jungen Leuten schimmert diese dunkle Farbe durch das anfangs sehr durchscheinende Weiße hindurch und gibt ihm den zartblauen Schimmer, der so schön ist. Bei alten Leuten verliert er sich immer mehr, da die Haut fester wird, und geht in ein fahles Gelb über.

Der Borderteil des Auges ist stärker als der übrige Apfel gekrümmt, durchsichtig klar, und zwar so außerordentlich, daß es kaum einen Körper gibt, der an dieser und den dahinter liegenden Stellen durchsichtiger wäre als das Auge. Hier scheint der Augapfel ein Loch (die Pupille) zu haben, das den Zugang zum Innern unmittelbar gestattet. Das ist aber ein Irrtum. Die Hornhaut wölbt sich vielmehr auch schützend über die Pupille, nur daß sie hier nicht milchig weiß, sondern völlig klar ist.

Umgeben wird die Pupille von einer ringförmigen Haut, der Regenbogenhaut (oder Iris) *r*, die völlig die Blende im photographischen Apparat vertritt und ihre Öffnung verkleinert, sobald übermäßig starkes Licht auf das Auge fällt. Ihr automatisches Spiel ist geradezu bewunderungswürdig. Man kann sich jederzeit von ihrer Tätigkeit überzeugen, wenn man ein Licht dem Auge nähert oder von ihm entfernt. Kommt

das Licht dem Auge näher, so verengert die Iris die Pupille und öffnet sie wieder, wenn die Beleuchtung schwächer wird. Im Halbdunkel des Abends sind die Pupillen weit geöffnet, gleichsam als wollten sie jede Spur des spärlichen Lichtes noch in sich aufnehmen. Die Regenbogenhaut bestimmt die Farbe des Auges, da sie bei verschiedenen Personen blau, braun oder auch graugrünlich erscheint.

Der Augapfel besteht aber keineswegs aus nur einer Hautschicht. Unter der festen, trüben Hornhaut liegt die durchsichtige Hornhaut und unter dieser wiederum die Aderhaut, deren Organe das Auge mit Blut versorgen und ernähren. Der Sehnerv *N* tritt vom Gehirn her in den Augapfel ein und breitet sich hier zur innersten Haut, der lichtempfindlichen Netzhaut, aus. Der Augapfel ist keineswegs, wie so oft fälschlich angenommen wird, ein Hohlraum, sondern bis zur Hinterwand ausgefüllt mit einer gallertartigen, höchst durchsichtigen Masse, dem sogenannten Glaskörper *G*, dessen Wirkung auf die Reinheit der Bilder nicht unterschätzt werden darf.

Das Auge ist aber, wie schon angedeutet, keine Loch-, sondern eine Linjenkamera und ihre Linse ist, trotz ihrer organischen Beschaffenheit und obgleich sie von keiner komplizierten Schleifmaschine hergestellt ist, die vollkommenste der Welt, denn sie vermag ihre Krümmung und damit ihre Brennweite in gewissen Grenzen beliebig zu verändern und so ebensowohl das Bild entfernter, wie naher Gegenstände auf der Netzhaut scharf zu zeichnen. Diese Fähigkeit der Linse nennt man ihr Akkommodationsvermögen, das man beim photographischen Apparat nur durch Verschiebung der Linse oder der Mattscheibe erreichen kann. Sie selbst (*L*) ist ziemlich hart, knorpelartig und liegt einerseits — nach hinten — zur Hälfte in einer Vertiefung des Glaskörpers, andererseits wird sie von einer feinen durchsichtigen Haut, der Glashaut, eingeschlossen und an die innere Augapfelwand geheftet.

Zwischen der Linse einerseits und der äußersten Hornhaut andererseits befindet sich eine wässrige Flüssigkeit, in deren Mitte die Iris oder Regenbogenhaut sich bewegt. Sie ist wasserhell, klar, ohne die mindeste Färbung und dient außer zur Lichtbrechung auch zur Erhaltung der vorderen Augenwölbung. Ferner bildet sie zusammen mit der Linse und dem Glaskörper ein optisches System, wie es in unseren Fernrohren und guten photographischen Objektiven Anwendung findet und das, aus verschieden dichten Glasarten bestehend, die Bestimmung

hat, achromatisch zu wirken, d. h. die Farbenränder zu vermeiden, die jede einfache Linse um den entworfenen Gegenstand zeichnet. Die Augenlider sind mit dem Objektivdeckel des photographischen Apparates zu vergleichen.

Den Vorgang des Sehens kann man sich nun auf folgende Art erklären.

Von jedem Punkt eines erleuchteten Gegenstandes gehen Lichtstrahlen aus, gerade wie von einem leuchtenden Körper selbst. Von diesen Lichtstrahlen gehen die meisten für das Auge verloren und nur diejenigen bewirken das Sehen, welche die Pupille unmittelbar treffen. Das Auge nimmt mithin den Strahlentegel auf, der zur Spitze den gesehenen Punkt hat, zur Grundfläche aber die Pupille selbst. Gingen die Strahlen in derselben Richtung weiter fort, so würden sie sich auf der Netzhaut zu einem runden Fleck ausbreiten, der jedenfalls größer wäre als die Pupillenöffnung. Um nun von dem betrachteten hellen Punkt nicht einen verwaschenen Schein, sondern wieder einen Punkt auf der Netzhaut zu erhalten, ist die Linse eingefügt, die wie ein Brennglas die Strahlen wieder zusammenzieht und auf einen Punkt vereinigt. Da das gleiche für jeden Punkt des sichtbaren Gegenstandes geschieht, so entsteht von diesem ein sehr verkleinertes, aber deutliches umgekehrtes Bild auf der Netzhaut des Auges.

Die Netzhaut ist die photographische Platte des Auges, aber eine Platte, für deren Tätigkeit unser Staunen keine Grenzen findet. Denn sie entwickelt sich fortwährend selbst und präpariert sich für jeden neuen Eindruck von frischem. Das Auge ist mithin Plattenfabrik, Atelier und Dunkelkammer zugleich, aber während der Photograph für jedes neue Bild eine neue Platte gebraucht, kommt das Auge mit einer einzigen Platte aus. Die entwickelten Eindrücke kommen im Gehirn zum Bewußtsein und werden dort aufbewahrt.

Wie nun dieser Bewußtseinsvorgang sich abspielt, ist eines der großen, vielleicht unlösbaren Rätsel. Denn niemand kann das lebendige Gehirn bei seiner Tätigkeit beobachten. Das eine aber ist sicher, die Umkehrung der Bilder bietet der Erklärung keine Schwierigkeiten. Daß das Gehirn das verkehrte Bild nicht auf der Netzhaut betrachtet, wie der Photograph das Bild auf der matten Scheibe seines Apparates, ist doch wohl sicher. Denn dazu bedürfte es eines zweiten Auges, für dessen Bild eines dritten und so fort. Nein, das Gehirn empfindet das Bild und besieht es nicht.

Ein künstliches Auge. Es wird unseren Lesern interessant sein, zu erfahren, wie man mit einfachen Mitteln einen kleinen Apparat herstellen kann, der das Auge ziemlich deutlich nachbildet und der vor allem Gelegenheit bietet, gewisse Eigentümlichkeiten des Auges an dem Modell zu studieren.

Die erforderliche kleine Linse ist sehr leicht beschafft. Man findet sie passend in den für botanische Zwecke verwendeten einfachen Lupen. Ein Durchmesser von vielleicht 2 cm und eine Brennweite von 3 bis 4 cm ist gerade passend. Ist die Brennweite in der bereits geschilderten Weise festgestellt, so wählt man einen Gummiball — der dann den Augapfel vorstellen soll — aus, dessen Durchmesser ein wenig größer ist als die Brennweite der Linse (Fig. 72, B). Dann werden auf

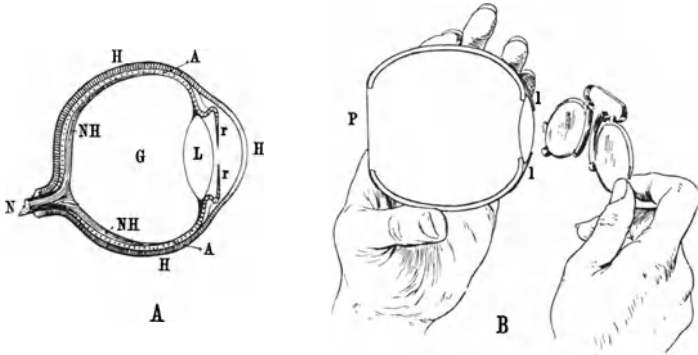


Fig. 72. Künstliches Auge aus einem Gummiball.

dem Ball zwei Punkte, die sich genau gegenüberliegen, bezeichnet und um diese zwei Kreise geschlagen, von denen der eine etwas kleiner, der andere etwas größer ist als die Linse. Vor den kleineren klebt man die Linse mit einem ringförmigen Streifen aus Leinwand (I) fest, dem man, wenn man will, die Färbung der Regenbogenhaut geben kann. Das größere Loch erhält einen glatten Überzug von feinem Pauspapier P. Man kann es sich selbst herstellen, wenn man dünnes, feines Papier mit Fett einreibt. Soll der Ball trotz der verhältnismäßig großen Öffnungen seine kugelige Gestalt nicht verlieren, so muß man ihn dickwandig genug wählen.

Der Apparat ist nun fertig und stellt nichts anderes dar, als eine Linsenamera. Richtet man die Linse gegen das Fenster oder gegen hell beleuchtete Gegenstände, so sieht man deutlich ihre Abbildung

auf dem die Netzhaut des Auges darstellenden Papier. Hat man es mit der Brennweite richtig getroffen, so ist dies Bild völlig deutlich. Jeder Druck auf den künstlichen Augapfel aber, der durch die Finger erfolgt, läßt das Bild verschwimmen, da dann stets die Entfernung zwischen Linse und Schirm entweder zu groß oder zu klein wird. Auch bei dem Auge kommen solche Verdrückungen zweifellos vor, ohne aber daß die Bilder darum unscharf würden. Die Augenlinse besitzt nämlich Eigenschaften, die einer Glaslinse völlig abgehen, sie ist verhältnismäßig weich und kann ihre Krümmung und Brennweite in gewissen Grenzen den Bedürfnissen anpassen. Daher kann sie auch nahe und ferne Gegenstände nacheinander scharf zeichnen, was die Glaslinse nicht vermag, ohne in der Richtung auf den Schirm verschoben zu werden. Betrachtet man das Bild auf dem Papier, so wird man finden, daß entweder nur die nahen oder fernen Gegenstände wirklich scharf sind. Früher nahm man an, das Auge sei im Ruhezustande auf mittelferne Gegenstände scharf eingestellt und es bedürfe einer durch den Willen betätigten Zusammenziehung der Aderhaut und Verdrückung der Linse, um in die Ferne sowohl als in die Nähe scharf sehen zu können. Heute weiß man, daß diese Meinung irrig ist und daß das Auge in der Ruhe stets auf die Ferne scharf eingestellt ist. Man kann sich davon überzeugen. Schließt man die Augen längere Zeit und öffnet sie dann plötzlich, dabei in die Ferne blickend, so erkennt man sogleich alle Gegenstände ganz scharf, nahe Gegenstände erscheinen jedoch im ersten Augenblick völlig unscharf und verschwommen, bis sich das Auge über die Verhältnisse orientiert hat. Es bedarf also für die Akkommodation — die Anpassung — einer gewissen Zeit, trotz deren Kürze eine ganze Reihe von Vorgängen sich in rascher Folge abspielen. Was geschieht wohl, wenn das Auge plötzlich von einem nahen Gegenstande, auf den es sich eingestellt hatte, auf einen fernen gerichtet wird? Zunächst fällt dann ein unscharfes Bild auf die Netzhaut. Dieses Bild wird mittels der Nervenstränge vom Gehirn empfunden, es kommt zum Bewußtsein, aber es löst die Empfindung des Unbehaglichen aus, die jeder unvollkommenen Leistung gegenüber zu entstehen pflegt, und das Gehirn sieht sich nun veranlaßt, das Bild zu korrigieren. Seine Willensäußerung wird durch andere Nervenstränge der Aderhaut gemeldet und diese richtet den Druck auf die Linse so ein, daß die richtige Wölbung und die richtige Brennweite zustande kommt. Alles dies dauert nur den Bruchteil einer Sekunde. Die Anstrengung

der Aderhaut kann man fühlen. Man richte nur einmal sein Auge zunächst eine Zeitlang auf einen nahen Gegenstand, auf die Uhr, und dann mit einem plötzlichen Ruck auf einen entfernteren Gegenstand, über den man sich allerdings vorher klar geworden sein muß, etwa auf das Fensterkreuz. Man wird es im ersten Augenblick unscharf sehen und dann ein eigentümliches Gefühl im Augapfel verspüren, das man mit einem leisen, unbehaglichen Druck bezeichnen könnte. Es ist die Bewegung der Aderhaut und der Linse.

Wir hatten gesagt, daß sich die Linse nur in gewissen Grenzen akkommodieren könne. Ist der Augapfel schon von Natur zu lang oder zu kurz, dann reicht die Anpassungsfähigkeit der Linse nicht in allen Fällen mehr aus. Aus unseren Linsenversuchen (S. 200) ging hervor, daß man die Entfernung zwischen Linse und Schirm verkleinern mußte, um ferne Gegenstände vergrößern mußte, um nahe Gegenstände scharf zu erhalten. Es wird daher Leuten mit übermäßig kurzen Augen leicht werden, in die Ferne zu sehen, aber unmöglich sein, nahe Gegenstände scharf zu erkennen. Man sagt dann: sie seien weitsichtig. Umgekehrt bei einem zu langen Auge, es ist kurzsichtig.

Bekanntlich kann man beide Fehler durch Augengläser korrigieren, auch an unserem künstlichen Auge — und das ist eigentlich das Hübscheste an unserem Versuch. Drückt man nämlich den Ball etwas zusammen, so streckt er sich und das Bild wird verschwommen, das Auge kurzsichtig. Ein vor die Linse gehaltenes Augenglas für Kurzsichtige, also ein solches mit hohlen Gläsern, macht das Bild sofort wieder scharf. Wird der Ball jedoch von vorn nach hinten etwas zusammengedrückt, so verliert das Bild ebenfalls an Schärfe und der Apparat stellt dann ein weitsichtiges Auge dar. Hier korrigiert ein beiderseits gewölbtes Augenglas für Weitsichtige den Fehler ebenfalls. Man kann nun auch verstehen, warum in der Jugend kurzsichtige (zu lange) Augen im Alter besser oder gar weitsichtig (zu kurz) werden können. Denn der Augapfel verliert mit der Zeit an Vollsaftigkeit und trocknet mehr und mehr zusammen, während sich zugleich die klare Feuchtigkeit zwischen Linse und vorderer Hornhaut nicht mehr so reichlich entwickelt und dadurch den Gang der Lichtstrahlen im Sinne einer kürzeren Brennweite verändert.

Allerhand photographische Scherze. Einige unserer Leser werden glückliche Besitzer eines guten photographischen Stativapparates mit brauchbarer lichtstarker Linse und zuverlässigem Momentverschluß

sein. Für diese seien die nachfolgenden unterhaltenden und belehrenden photographischen Spielereien mitgeteilt.

Aufnahmen bei Mondschein. Die sogenannten Mondschein-
effekte auf den Bildern im Handel sind ausnahmslos künstlich erreicht. Man hat entweder in das Bild den Mond einkopiert oder den Schein der untergehenden Sonne hinter Wolken benutzt, um auf der recht dunkel hergestellten Kopie den Eindruck des Mondscheins hervorzurufen.

Aber es gibt auch wirklich bei Mondschein aufgenommene Bilder, nur werden sie nicht in den Handel gebracht, da sie bei oberflächlicher Betrachtung von Tageslichtaufnahmen kaum zu unterscheiden sind. Das Vollmondlicht ist etwa nur den 300 000 sten Teil so wirksam wie das Licht der Sonne und erfordert daher eine entsprechend längere Belichtung. Der Deckel kann bei mittlerer Blende ruhig $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stunden geöffnet bleiben, bei anderen Mondphasen noch entsprechend länger. Schwierig ist bei der schlechten Beleuchtung natürlich das scharfe Einstellen, das man schon bei Tage besorgen muß, falls das Objekt nicht leuchtende Teile (helle Fenster, brennende Straßenlaternen usw.) aufzuweisen hat.

Der Kenner wird ein bei Mondschein aufgenommenes Bild wegen seiner weichen verwaschenen Schatten schätzen, die dem Ganzen einen vornehmen künstlerischen Duft verleihen und durch die Verschiebung des Mondes während der langen Belichtungszeit entstanden sind.

Hat man den Mond selbst mit auf dem Bilde, dann kann man sozusagen die Umdrehung der Erde photographieren. Man richtet den Apparat möglichst nach Süden und läßt ihn in der Nacht, bei starker Abblendung des Objektivs, so lange offen, bis der Mond vorübergezogen ist, oder richtiger, sich die Erde am Monde vorbeigedreht hat. Man erhält dann die scheinbare Bahn unseres treuen Trabanten auf der Kopie als helle Kurve, die sich im Süden am höchsten über den Horizont erhebt. Um immer noch den Horizont im Bilde zu behalten, darf der Mond nicht zu hoch stehen. Man photographiert also im Sommer den Vollmond, im Winter den Mond als zunehmende Sichel (wobei man natürlich nicht so stark abblenden darf). Im Sommer nämlich steht der Vollmond im Süden tief, im Winter hoch. So lernt man bei dieser Gelegenheit auch etwas Astronomie.

Man kann auch, bei voller Öffnung des Objektivs, die Sterne photographieren. Richtet einmal in dunkler, mondloser Nacht (bei Neumond) Guern Apparat schräg nach oben auf den Polarstern, be-

lichtet einige Stunden und berichtet dem Verfasser dann, was auch die Platte verraten hat.

Blitzaufnahmen müssen vom Glück begünstigt sein, sonst ist keinerlei Schwierigkeit dabei. Sie können nur bei Nacht angefertigt werden, da es allemal nötig ist, den Apparat längere Zeit geöffnet zu lassen. Man wählt zum Objekt ein heraufziehendes oder abziehendes Gewitter und richtet den Apparat, der auf die Ferne eingestellt sein muß, auf einen Teil des Horizontes, an dem man schöne Blitze erwartet. Ist ein Blitz herniedergegangen, dessen Spur man auf der Platte vermutet, so schließt man die Kassette und entwickelt. Die Bilder haben den Nachteil, daß außer dem Blitz selbst und vielleicht einigen erleuchteten

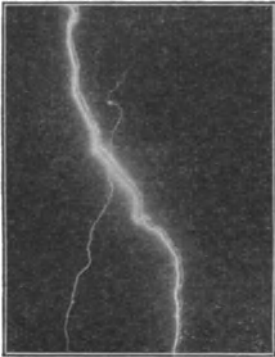


Fig. 73. Blitzaufnahme.

teten Wolken in seiner Nähe nicht viel auf dem Bilde zu sehen ist (Fig. 73). Kann man es daher so einrichten, daß sich der Blitz noch einmal in einer Wasserfläche spiegelt, so hat man für den künstlerischen Ausdruck des Bildes schon viel gewonnen. Sonst kann man auch folgendermaßen verfahren, vorausgesetzt, daß der Apparat, nachdem sich der Blitz auf der Platte eingetragen hat und nachdem das Objektiv geschlossen worden ist, unverrückt an seinem Ort stehen bleiben darf. Man photographiert dann nämlich am

nächsten Morgen die zu dem Blitz gehörige Landschaft auf dieselbe Platte mit kleiner Blende und schnellstem Momentverschluß, damit sie nur wenig hervortritt und der Blitz immer noch als Hauptsache erscheint. Der photographierte Blitz zeigt oft die wunderbarlichsten Bahnen und Verzweigungen.

Eisblumen sind ein schwieriges photographisches Objekt. Sie ergeben ein wenig kontrastreiches Bild, wenn man sie gegen das Licht aufnimmt. Denn es fehlt dem photographischen Bilde der unbeschreibliche Farbenzauber, den die Sonne in den feinen Kristallen der Eisgebilde hervorruft. In auffallendem Lichte kommt man eher zum Ziele. Dazu ist es nötig, die Fenster Scheibe von außen zu photogra-

phieren, was sicher nur bei Fenstern zu ebener Erde oder vom Balkon aus möglich ist. Man kann auch, falls man flink genug dazu ist, so verfahren, daß man das Fenster schnell öffnet und die Aufnahme gegen eine dunkle Gardine macht. Diese Art der Anordnung gibt noch mit die besten Resultate. Immer aber hat man darauf zu achten, daß das Licht nicht von vorn, sondern schräg auf die Scheibe fällt, was die Plastik erhöht (Fig. 74).



Fig. 74. Eisblumen am Fenster.

Photographische Silhouetten, d. h. schwarze Abbildungen, die nur aus Umrißlinien bestehen, lassen sich unschwer anfertigen. Man hat verschiedene Methoden angegeben; die einfachste und meist zum Ziel führende ist folgende. In etwa 2 m Entfernung vor einem hellen Fenster, dessen Vorhänge weit zurückgezogen sind, wird ein Laken straff ausgespannt. Dies geschieht ohne Schwierigkeiten, wenn man zwei Stehleitern oben mit einem Besenstiel verbindet und über diesen das Laken hängt. Es wird vom Fenster aus durchscheinend und gleichmäßig erleuchtet. Vor dem Laken auf der Zimmerseite nimmt in

einiger Entfernung die zu porträtierende Person Platz, und zwar so, daß sie ein scharfes Profil zeigt. Alles überflüssige Licht, das die Person vom Zimmer her erleuchten könnte, muß beseitigt und daher auch ein etwa vorhandenes zweites Fenster verhängt werden. Die Aufnahme wird gegen den durchleuchteten Hintergrund gemacht und dauert bei kleinster Blende nur kurze Zeit. Auf diese Weise erhält man auf der Platte eine weiße Figur auf dunklem Grunde und auf dem Positiv eine scharfe Silhouette. Steckt man sie, falls es sich um ein Brustbild handelt, in einen kleinen ovalen Empirerahmen, so kann man ganz den Eindruck der zur Zeit unserer Urgroßeltern so beliebten, gezeichneten Schwarzbilder hervorrufen.

Verzerrte Bilder lassen sich vorzüglich gut mit unserer Lochkamera anfertigen. Der Versuch lehrt, daß die Größe des Bildes zunimmt mit der Entfernung der Platte vom Bildloch. Ganz sonderbare Verhältnisse kommen daher zustande, wenn verschiedene Teile der Platte ungleich weit vom Loch entfernt sind, sie also zum Beispiel schief liegt. Das kann man leicht erreichen, wenn man die mit Gummihändern auf ein Pappstück geheftete Platte mit diesem in der gewünschten Weise in den Apparat einklemmt und dann den Verschlussdeckel aufsetzt. Wird ein Mensch mit Hilfe dieser Vorrichtung aufgenommen, was, weil es sich um eine lichtschwache Lochkamera handelt, nur bei hellem Sonnenlicht geschehen kann, so wird er je nach der Stellung der Platte entweder einen viel zu dicken Kopf oder Klumpfüße bekommen, auf jeden Fall aber einen possierlichen Anblick darbieten.

Photographien angeblicher Geister. Wir setzen irgend jemand zur Aufnahme auf einen Stuhl; ist er in den Scherz eingeweiht, um so besser, wenn nicht, so schadet es auch nichts. Die bei der Aufnahme geforderte Bewegungslosigkeit des Opfers kommt uns zu statten, das nun nichts davon merkt, wie Freund so und so im weißen Laken leise zur Tür hereinschleicht und mit drohender Gebärde hinter ihm Aufstellung nimmt. Nun beginnt man zu exponieren, und zwar zunächst nur ein Drittel der erforderlichen Zeit. Dann wird der Deckel schnell geschlossen und der „Geist verschwindet“, worauf noch einmal, und nun die letzten zwei Drittel, exponiert werden. Der Erfolg liegt auf der Hand. Während der Porträtirte und alle Zimmermöbel mit voller Deutlichkeit und Undurchsichtigkeit erscheinen, sieht der Geist aus wie ein Schreckgebilde von Dunst und Nebel, das durchscheinend vor

den anderen „dieser Welt“ angehörigen Gegenständen steht. Ist der mit dem Geist Aufzunehmende im Einverständnis, so wird die Aufnahme um so eindrucksvoller, da er dann Schrecken heucheln, oder auch, wenn er mutiger ist, dem Geist mit einem Schwert zu Leibe rücken kann.

* **Die Laterna magica**, ein Instrument, mit dem vor hundert Jahren noch die ärgsten Betrügereien ausgeführt wurden, ist heute eines der beliebtesten Spielzeuge, ja, in verfeinerter Form ist sie weit mehr als ein Spielzeug und dient nicht allein der Unterhaltung, sondern auch der ernstesten Form der Belehrung.

Man könnte die Laterna magica ein umgekehrtes Auge nennen. Denn es gehen in ihr von einem kleinen Gegenstande Lichtstrahlen aus, die, durch eine Linse fallend, außerhalb der Laterne ein vergrößertes Bild entwerfen. Kleine Apparate gibt es in den Spielwarenläden schon zu mäßigen Preisen, aber ihr Licht ist schwach und die Bilderchen sind meist recht unvollkommen. Will man etwas daran wenden, so kann man sich mit Beihilfe des Schlossers oder Klempners selbst einen viel besseren Apparat bauen. Dazu möge folgende Anweisung dienen.

Ein viereckiger, aus Eisenblech genieteteter — nicht gelöteter — Kasten *K* (Fig. 75) enthält in seinem Innern eine Petroleumlampe *L*, deren Licht auf das zu vergrößerte Glasbild fallen soll. Auf die Helligkeit dieser Lampe kommt viel an, auch auf die Form ihrer Flamme, die nicht nach oben in die Länge gezogen sein soll. Deswegen eignet sich auch eine Küchenlampe durchaus nicht, obgleich ihr niedriges Bassin sie für den Apparat sonst recht brauchbar macht. Man schraubt am besten auf das Bassin einen starken Rundbrenner, dessen Flamme in einem kugelförmigen Zylinder durch ein zentrales Metallplättchen breit gedrückt wird. Nach der vorhandenen Lampe richtet sich die Größe des Kastens, der hinten eine Tür haben muß, um die Lampe hineinstellen zu können. Der Schornstein erhält einen viereckigen Querschnitt, braucht nicht hoch zu sein, muß aber nach vorn und hinten so viel Raum lassen, um die Lampe, ohne mit dem Zylinder anzustoßen, ein gutes Stück verschieben zu können. Ein rund gebogener breiter Blechstreifen greift von oben her in den Schornstein ein und dient als Lichtkappe. Aus der Vorderwand des Kastens wird genau in der Höhe der Flamme ein rundes Loch ausgeschnitten, so groß als die Linsen sind, zu denen die Geldmittel ausreichen.

Die Blecharbeiten überläßt man immer dem Klempner, der besser und, wenn wir uns mit ihm angefreundet haben, vielleicht auch billiger arbeitet als wir selbst. Man gebe sie aber nicht eher in Auftrag, als bis man sich über die Wirkung der Laterne ganz im klaren ist.

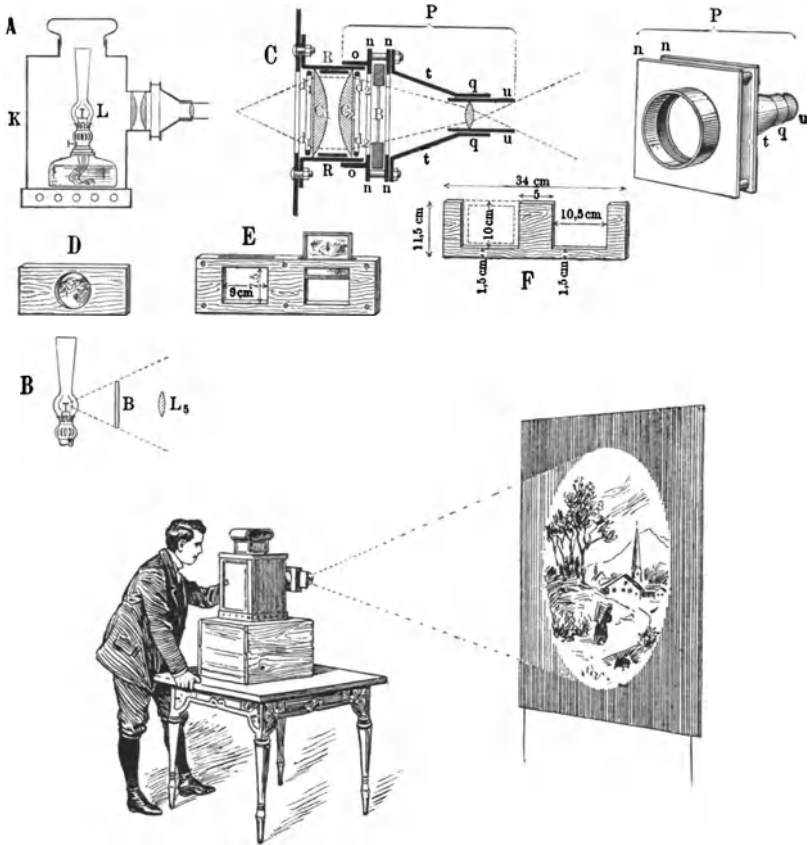


Fig. 75. Laterna magica.

Nehmen wir an, es würde durch eine helle Lampe (Fig. 75, Darstellung B) ein auf Glas gemaltes durchscheinendes Bild B hell erleuchtet, so wirkt das Bild nun selbst wie eine Lichtquelle, und es ist keine Frage, daß man von ihm mittels einer brennglasähnlichen Linse ein vergrößertes Bild auf einer Wand entwerfen kann. Aber man sieht auch,

daß von dem auf das Glasbild fallenden Licht der Lampe, das sich ja kegelförmig ausbreitet, sehr wenig in die Linse L_s fällt. Das vergrößerte Bild an der Wand würde demnach sehr lichtschwach ausfallen, falls man nicht noch durch andere Linsen eine Verdichtung des Lichtes auf die abbildende Linse bewerkstelligt. So entsteht ein ganzes Linsensystem, das in Röhren eingeschlossen wird, um dem Licht keinen Ausweg nach der Seite zu gestatten (Darstellung C). Um die Einrichtung zu verstehen, wollen wir den Gang der Lichtstrahlen, von der Lampe aus, verfolgen. Sie fallen zunächst nicht auf das Bild, sondern auf das Linsenpaar $C_1 C_2$. Beide Linsen sind auf einer Seite flach und kehren die gewölbten Seiten einander zu. Das Rohr R , das sie trägt, ist nicht länger als gerade erforderlich und mit seinen Flanschen durch drei Schraubenbolzen mit dem Lampenkasten verbunden. Die Befestigung der Linsen erfolgt sicher genug durch einen aufgeschlitzten und federnd aufgeklemmten Rohrring zwischen ihnen und die beiden Sperringe aus Draht d_1 und d_2 . Durch die erste Linse werden die Lichtstrahlen parallel gemacht, durch die zweite so zusammengeworfen, daß sie sämtlich in die Objektivlinse fallen. Je größer die Beleuchtungslinsen sind, desto größere Bilder können in den Apparat eingeführt werden. Man gießt derartige Linsen bis zu 40 cm Durchmesser, doch sind diese natürlich sehr teuer. Für unsere Zwecke tun es auch Linsen mit 6 bis 10 cm Durchmesser. Wer es sich leisten kann, solche von 12 cm Durchmesser zu kaufen, wird dann in der Lage sein, auch die im Handel käuflichen, durch Photographie hergestellten Laternenbilder von $8\frac{1}{2} \times 10$ cm zu verwenden.

Der ganze in der Fig. 75 C mit \underline{P} bezeichnete Teil ist als ein Stück aufzufassen und besteht zunächst aus dem kurzen Rohr o , mit dem man ihn auf das Beleuchtungsrohr R aufschieben kann. Dann folgt ein aus zwei Platten nn (vgl. auch die perspektivische Zeichnung der Objektivkopf genannten Vorrichtung) und vier Metallsäulchen hergestellter Schütz, in den sich das Bild einführen läßt, und schließlich der trichterförmige Aufsatz t , an dem sich ein Rohr q befindet, das dem Objektivrohr u (Objektiv heißt die Linse, die das Bild entwirft) zur Führung dient. Die Objektivlinse ist einerseits durch einen breiteren Sperring aus Blech, andererseits durch einen solchen aus steifem Draht befestigt, ganz ähnlich wie die Beleuchtungslinsen. Bemerken wollen wir noch, daß die mit runden Ausschnitten, so groß wie die Beleuchtungslinsen, versehenen viereckigen Bleche des Einschiebeschützes auch

durch kleine, gleich große Holzklötzchen auseinandergehalten werden können, die man mit dem Blech verschraubt oder vernagelt.

Nun etwas über die Linsen. Sie sind leicht zu beschaffen, und was die Beleuchtungslinsen angeht, heutzutage in jedem größeren photographischen Geschäft, meist schon in ein Rohr gefaßt, käuflich. Anders die Objektivlinse. Will man sich hierfür mit einem gewöhnlichen Brennglas, etwa ein halb bis zwei Drittel so groß als die Glasbilder, begnügen, so mag man es ja tun, aber man wird an der „Projektion“ — so nennt man die Erzeugung der vergrößerten Wandbilder — wenig Freude erleben, da sie meist nach außen sehr unscharf ausfällt und bunte Bildränder aufweist. Die große Linse eines alten Opernglases wäre sehr brauchbar, wenn sie nicht eine etwas kurze Brennweite hätte. Oft aber hat man Gelegenheit, beim Optiker oder in einem photographischen Geschäft eine sogenannte Landschaftslinse aufzutreiben, die aus irgend einem Grunde unbrauchbar geworden ist. Wenn sie ein paar Kratzer hat, so schadet das sehr wenig. Derartige Linsen sind überhaupt nicht allzu teuer, da man schon die billigsten Anfängerapparate mit ihnen ausrüstet. Hat die Linse ungefähr 4 cm im Durchmesser und eine Brennweite von 12 bis 16 cm, so ist sie für unsere Zwecke gerade recht. Der Objektivabstand vom Bilde wird dann so bemessen, daß er im Mittel etwas größer ist als die Brennweite.

Die kleinen, bunten, auf Glas gemalten Laterna magica-Bilder haben meist eine runde Form und einen Durchmesser von 3 bis 6 cm. Sie sind in einen Holzrahmen gefaßt (Darstellung D) und können mit diesem vor die Beleuchtungslinsen geschoben werden. Ihr künstlerischer oder belehrender Wert ist recht gering. Mit einer kleinen untergelegten Holzplatte kann man ihnen in dem Einschiebefaß die richtige Höhe geben.

Die Laterna magica wird folgendermaßen aufgestellt. Zunächst stellt man die Laterne auf einem hohen Tisch vor einer weißen Wand oder einem glatt gespannten Laken auf. Man kann zur Befestigung des Lakens auch den Türrahmen benutzen, dann sitzen aber die Zuschauer in dem anderen Zimmer und betrachten das Bild in der Durchsicht. Es ist in diesem Fall zweckmäßig, das Laken durch Anspritzen mit Wasser recht durchscheinend zu machen. Je weiter die Laterne vom Laken entfernt ist, desto größer, aber auch desto lichtschwächer werden die Bilder. Steht der Apparat zu tief, so erhöht man ihn durch eine Kiste; es schadet auch nichts, wenn man ihn ein wenig nach oben richtet.

Darauf wird die Lampe eingesetzt und das Zimmer verdunkelt. Es kommt viel, sehr viel darauf an, daß die Lampe tadellos brennt. Man gleiche daher den Docht jedesmal sorgfältig aus, damit die Flamme überall gleich hoch brennt und voll ausgenutzt werden kann, ohne zu ruhen. Ein bei *B* (Darstellung *C*) eingeführtes Bild wird dann auf dem Schirm erscheinen, aber in den meisten Fällen weder scharf noch in allen Teilen gleichmäßig erleuchtet. Den Punkt der scharfen Einstellung findet man sehr schnell durch Hin- und Herschieben des Objektivrohres *u*, die richtige Ausleuchtung durch Vor- und Zurückrücken der Lampe in der Richtung der Linsen. Oft stimmt auch die Höhe der Lampe nicht genau; man versucht dann etwas unterzulegen, und es ist daher immer gut, wenn die Linsen lieber etwas zu hoch als zu tief angebracht sind.

Bewegt sich der Apparat mit seinem Tisch auf Rollen geräuschlos hin und her, so wird das Bild bald größer, bald kleiner und der Zuschauer, dem die Dunkelheit eine Orientierung nicht gestattet, kann sich dann durchaus des Eindrucks nicht erwehren, als stürze der projizierte Gegenstand auf ihn zu oder entferne sich wieder von ihm. Als Objekte für diesen Versuch können besonders weiße, gespensterähnliche Gestalten mit aufgerissenem Rachen und drohend vorgestreckten Krallen dienen, da in diesem Falle vielleicht noch die Furcht hinzutritt, um die ruhige Überlegung lahm zu legen. Doch heutzutage kennt jedermann die Zauberlaterne und selbst der kleinste Sextaner läßt sich durch einen solchen Hokusfokus nicht mehr aus der Fassung bringen. Man kann sich aber wohl vorstellen, welch einen Eindruck eine derartige Vorführung auf die in Unwissenheit und Aberglauben befangene Gesellschaft früherer Jahrhunderte ausüben mußte.

Will man selbst Laternenbilder anfertigen, so wird man mit der Wahl der Farben in einige Verlegenheit kommen, denn sie sollen durchsichtig sein und auf Glas haften. Es gibt nun allerdings Lasurfarben in Öl (Macke), doch sind sie sehr teuer und trocknen schwer. Ganz gute Resultate aber erreicht man mit Anilinfarben auf folgende Art. Man löst in 100 g heißem Wasser 5 g weißer Gelatine, rührt gut um und filtriert die Lösung, noch heiß, durch ein doppelt zusammengelegtes feines Tuch. Darauf erwärmt man die gut gepuzten Glasplatten, auf denen man die Bilder malen will, legt sie auf eine völlig horizontale Fläche und gießt auf jede Platte, je nach ihrer Größe, 2 bis 6 g der heißen Gelatinelösung. Mit einem rechtwinklig gebogenen Glasstäbchen

oder der glatten Kante eines reinen Stückes Papier läßt sich die Lösung bis zum Rande hin auf den Platten willig und gleichmäßig verteilen. Im Laufe von zwei Stunden pflegt die Gelatine so weit erstarrt zu sein, daß man die Platten aufrecht an einem luftigen, staubfreien Ort zum Trocknen aufstellen kann. Man werde nicht ungeduldig, wenn das Trocknen oft zwölf und mehr Stunden in Anspruch nimmt und benutze die Platten jedenfalls nicht eher, als bis jede wulstige Erhebung auf ihnen verschwunden ist. Auf der eingetrockneten Schicht läßt sich dann mit Bleistift eine Zeichnung entwerfen und mit Anilinfarben ausmalen. Es eignen sich besonders folgende Farben: Himmelblau, Ultramarin, dunkles Grün, Orange, Zinnober, Saturnrot, Violett, Olivgrün, Ocker und Schwarz. Man löst die Pulver in Wasser auf und verwahrt die Lösungen in kleinen Flaschen. Zum Gebrauch verdünnt man auf einer Glasplatte noch einmal mit Wasser ¹⁾. Im allgemeinen gilt die Regel, die Farben nicht zu stark aufzutragen, sondern lieber mehrere Male überzulegen. Zuerst das Himmelblau mit einem breiten Pinsel. Kommt man dabei über die Baumwipfel hinweg, so schadet das gar nichts, da ohnehin das Grün der Blätter viel Blau enthält. Man koloriert dann den Baumschlag mit einer leichten Mischung aus Gelb und Grün. Je feiner die Objekte sind, desto feiner muß auch der Pinsel sein. Ist die Gelatine nicht zu hart, so nimmt sie alle Farben willig an.

In gleicher Weise können auch photographische Laternenbilder, sogenannte Diapositive, gefärbt werden, nur verfolge man nicht dabei in den Fehler, des Guten zu viel zu tun. Je zarter ein derartiges Bild koloriert ist, je mehr noch die Photographie durch die Farben hindurch wirkt, desto vornehmer sieht die Projektion aus.

Wer einen photographischen Apparat besitzt und gute Negative macht, kann sich ohne nennenswerte Mühe photographische Laternenbilder selbst anfertigen. Dann bekommt seine Laterna magica erst vollen Wert, da sie wirklich Erschautes zur eigenen und zur Freude anderer wiedergeben kann. Derartige Bilder dienen auch zu Belehrungszwecken und werden von Lehrmittelanstalten verkauft. Sie haben eine Größe von $8\frac{1}{2} \times 10$ cm, und es ist sehr empfehlenswert, sich von vornherein ebenfalls diesem Format anzuschließen. Man kopiert dann

¹⁾ Bereits gelöst bekommt man die Farben bei Günther und Wagner in Hannover oder von Keilig in den photographischen Handlungen.

das Negativ nicht auf Papier, sondern im Kopierrahmen auf eine empfindliche Diapositivtrockenplatte der gedachten Größe, wobei man diese zweckmäßig noch mit einem schwarzen Papier hinterlegt. Es wird dabei freilich vorausgesetzt, daß das Negativ gleiche Größe habe, doch kann man auch aus einer 9×12 -Platte die interessantesten Partien auswählen. Diapositivplatten sind im Handel zu haben und viel unempfindlicher als gewöhnliche Trockenplatten. Immerhin muß das Einlegen in den Kopierrahmen wie das Entwickeln bei rotem Licht vorgenommen werden. Die Schicht ist sehr fein und wird erst bei einiger Übung gegen die Glasseite mit Sicherheit unterschieden. Exponieren kann man in 1 m Entfernung von einer hellbrennenden Petroleumlampe auf eine mitteldichte Platte etwa acht bis zehn Sekunden. Als Entwickler kann man Kodinal gebrauchen (S. 197), doch eignen sich andere Entwickler (z. B. Metol-Hydrochinon) ebenfalls. Man entwickelt ziemlich kräftig, da die Platte im Fixierbade stark zurückgeht. Sonst verläuft der ganze Prozeß wie bei gewöhnlichen Platten.

Wenn die bemalte Schicht trocken ist, schützt man sie durch Auflage einer zweiten klaren Glasplatte, nicht ohne vorher zum wirkungsvollen Abschluß des Bildes einen rahmenartigen Ausschnitt aus schwarzem Papier (eine Maske) dazwischengelegt zu haben. Um das Eindringen von Staub zwischen die Platten zu verhüten, klebt man sie rings herum mit schmalen Streifen aus schwarzem Papier zu. Dann ist das Laternenbild fertig und erhält noch eine Nummer, um in den Katalog eingereiht zu werden.

Selbstverständlich müssen alle Bilder verkehrt in den Apparat geschoben werden, damit sie an der Wand nicht auf dem Kopf stehen. Recht bequem ist für die Bilder ein Einschiebrahmen, der noch den Vorteil bietet, daß man das eine Bild austauschen kann, während das andere projiziert wird. Ein derartiger Rahmen ist in den Abbildungen E und F der Fig. 75 dargestellt. Das Mittelstück ist aus Laubsäge- oder Zigarrenkistenholz gefertigt und enthält zwei Ausschnitte von 10 cm Höhe und 10,5 cm Breite, mithin etwas größer als die Bilder selbst sind. Die Dicke des Brettchens muß etwas mehr betragen, als diejenige der stärksten Bilder. Auf dieses Holzstück werden dann von beiden Seiten Masken aus Pappe oder besser aus dünnem Blech aufgenagelt oder aufgeschraubt, mit Öffnungen, etwas kleiner als die Bilder selbst. So entstehen, da die Ausschnitte des Holz Brettes größer sind als die der Masken, Führungsnuten und oben zwei Schlitze, durch

welche die Bilder in den Rahmen eingesteckt werden können (E). Hat man sich gleich entschlossen, einen derartigen Rahmen zu verwenden — was allerdings Beleuchtungslinsen von 12 cm Durchmesser nötig macht —, so müssen die Abmessungen des Einführungschlitzes nn (Darstellung C) nach den Maßen des Rahmens eingerichtet sein.

*** Projektion von Experimenten.** Erst in neuerer Zeit hat man erkannt, daß die Zauberlaterne oder, wie man sie jetzt vornehm nennt, „Projektionsapparat“, in hervorragendem Maße geeignet ist, als Beleuchtungsmittel zu dienen. Sie wanderte aus den Händen der Zauberkünstler in die Laboratorien und Hörsäle, wo sie nun nicht allein photographische Darstellungen aus allen Wissensgebieten, sondern auch in kleinen Abmessungen verlaufende physikalische Experimente vielen Zuhörern zugleich sichtbar macht. Wenn auch unsere Laterne nicht mit den kostbarsten Linsen und elektrischem Licht ausgerüstet ist, so kann sie doch dem gleichen Zweck für eine kleinere Zahl von Zuschauern mit Erfolg dienen.

Gar keiner Veränderung bedarf es, wenn sich die Experimente zwischen zwei Glas tafeln abspielen und die ganze Vorrichtung nicht dicker und höher ist als sonst ein Bild mit Einschiebrahmen. Dahin gehören z. B. fast alle Experimente, die sich auf die Kapillaritätsercheinungen beziehen und die Wirkung kleinster Kräfte in Haarröhrchen (*Capillum*: das Haar) oder engen, abgeschlossenen Räumen veranschaulichen. Diese Kräfte haben in der Natur genug zu tun. Sie sind es, die die Feuchtigkeit von den Wurzeln bis in die Kronen der Bäume führen, die den Haaren die Nährsäfte zuleiten, das Löschpapier den Tintenflecks auffaugen lassen usw. Taucht man ein enges Glasrohr in Wasser, so wird man bemerken, daß die Flüssigkeit im Innern des Rohres bis zu einer gewissen Grenze hochsteigt, um so höher, je enger das Rohr ist. Auch hier sind Kapillarkräfte an der Arbeit. Zwei eng zusammengelegte Glasplatten wirken ähnlich. Mit ihrer Hilfe kann man ein sehr schönes Kapillaritätsexperiment projizieren. Man schneidet zwei ebene Glasstreifen etwa 15 bis 20 cm lang und so breit, daß sie sich gerade in den Falz der Laterne einführen lassen. Sind sie, unter Zwischenlage eines schmalen Kartonstreifens auf der einen Seite, zusammengelegt und durch zwei Gummibänder in ihrer Stellung gesichert, so bilden sie gleichsam einen sehr engen, nach der Seite zu spitz verlaufenden Trog. Freilich fehlt diesem Trog der Boden, aber wir

werden sehen, daß, wenn sich einmal Wasser zwischen den Platten befindet, die schon genannten Kräfte in Tätigkeit treten und die Flüssigkeit am Auslaufen verhindern. Man taucht sie in Wasser, dem man irgend eine Färbung, etwa mit roter Tinte, gegeben hat. Sofort dringt die Flüssigkeit ein, und zwischen den Platten zeigt sich ein sonderbares Gebilde, das viel Ähnlichkeit mit einer Koralle hat. Wo nämlich der Raum reichlicher bemessen war, also auf der Seite des Kartonstreifens, ist das Wasser mühelos eingedrungen, und die Kapillaritätskräfte haben

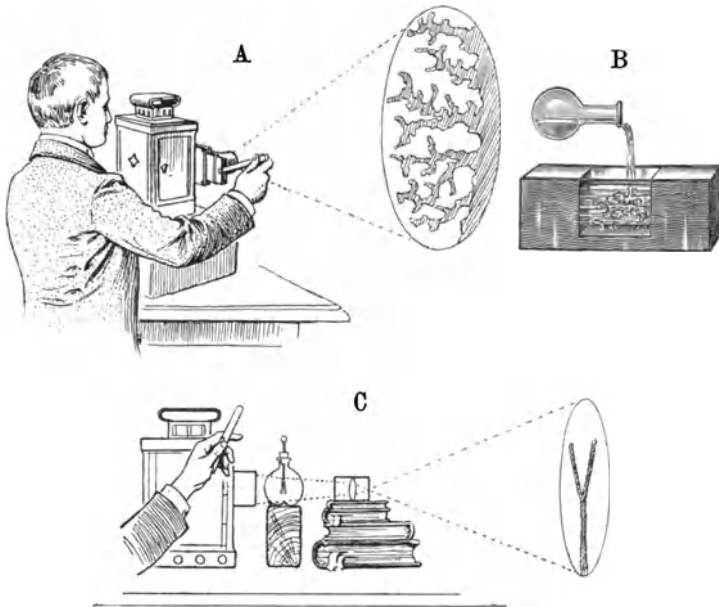


Fig. 76. Projektion von Experimenten.

auch das Bestreben gehabt, es weiter nach den engeren Teilen hinzuziehen. Doch nicht an allen Stellen mit dem gleichen Erfolg. Da die Gläser niemals ganz eben sind, bilden sie, eng aneinanderliegend, gewissermaßen ein System enger, unregelmäßig verlaufender Kanäle und Röhrrchen, in die sich die Flüssigkeit hineinziehen kann. Dazu kommt noch, daß die Gläser an vielen Stellen, auch nach dem besten Putzen, meist unrein und fettig sind und hier die Flüssigkeit abstoßen.

Die Platten wandern dann in die Projektionslaterne (Fig. 76, A) und werden so lange hin und her verschoben, bis diejenige Stelle auf

dem Schirm erscheint, an der sich die Kapillaritätsercheinung besonders schön ausgebildet hat. Darauf wird mit dem Objektiv scharf eingestellt. Damit beginnt aber erst das Experiment. Schiebt man nämlich einen sehr dünnen Gegenstand, etwa die Spitze einer feinen Messerflinge, zwischen die Platten auf der Seite, wo sie eng zusammenliegen, so verändern sich auch sofort die Kapillaritätsverhältnisse, die Kräfte lassen in ihrer Wirkung nach und das kunstvoll verzweigte Gebilde zieht sich auf seine Wurzel zurück, um sofort wieder zu erscheinen, sobald die alten Verhältnisse hergestellt werden. So kann man vor den Augen seiner wißbegierigen Zuhörer die Koralle nicht allein fertig vorführen, sondern auch entstehen lassen.

Besonders schön machen sich wachsende Kristalle im Projektionsapparat. Sie fallen verschieden aus, je nach der Lösung, aus der sie auscheiden. Man verfährt in folgender Weise: Eine heiß gefättigte Lösung von Eisenvitriol — d. h. eine solche, in der sich, auch wenn sie heiß ist, Kristalle nicht mehr lösen wollen — wird mit etwas Gummi oder Leim verjegt und mit einem breiten Pinsel in dünner, gleichmäßiger Lage über einen Glasstreifen gestrichen, wie er in den Projektionsapparat paßt. Nach kurzer Zeit beginnen die Kristalle auszutreten, was auf der Leinwand den Eindruck macht, als schössen mächtige Federbüsche von allen Seiten her in das Gesichtsfeld. Bleizucker (giftig!) zeigt dagegen regelmäßiger Formen, und eine Lösung von Zinkvitriol kristallisiert zu schönen baumartigen Verästelungen aus. Kristalle des blauen Kupfervitriols fallen dagegen zu massig und plump aus, um auf dem Bilde Eindruck zu machen.

Für alle Fälle ist es gut, einen schmalen durchsichtigen Trog in seiner Sammlung zu besitzen, wenn man mit größeren Quantitäten von Flüssigkeiten vor der Laterne experimentieren will. Es ist nicht schwer, sich selbst ein derartiges Gefäß herzustellen, schwerer schon, es völlig zu dichten. Am besten kommt man noch folgendermaßen fort: Aus einem guten, trockenen Brett, das so hoch und breit ist, als es der Einschiebeschlitz der Laterne gestattet, wird, wie Fig. 76 *B* es zeigt, ein rechtwinkliges Stück in der Mitte so groß ausgeschnitten, wie die Laternenbilder sind, worauf die Innenflächen sauber mit der Feile geglättet werden. Durch seitlich aufgekittete Glascheiben wird der Projektionstrog fertig. Es ist aber durchaus nicht gleichgültig, womit man kittet. Siegellack und Schellack springen, sobald das Holz etwas feucht wird, Leim löst sich auf. Am besten hat sich folgender Kitt

bewahrt. Man löst in einem großen eisernen Löffel über der Spiritusflamme zuerst einen Gewichtsteil Kolophonium und gibt dann zwei Gewichtsteile Wachs unter gutem Umrühren hinzu. Die Hitze darf nicht bis zur Entzündung der Harze gesteigert werden. Mit dem heißen Kitt streicht man zunächst schnell und gleichmäßig die drei schmalen Innenflächen des ebenfalls etwas erwärmten Holzrahmens und gibt nach dem Trocknen an dieser Stelle noch einen doppelten Überzug von Asphaltlack, den man nötigenfalls mit Terpentin verdünnen kann. Zum Aufkitzen müssen die Glasscheiben, in einer Ofenröhre erhitzt, bereit liegen und in noch heißem Zustande auf die angewärmten und mit heißem Kitt bestrichenen Seitenflächen aufgedrückt werden. Man preßt dann auf einer horizontalen, ebenen Unterlage mit aufgelegten Gewichten und wartet das völlige Erstarren des Kittes ab, was vielleicht eine Stunde dauert. Etwa fettlich hervorgequollener Kitt läßt sich leicht mit einem scharfen Federmesser entfernen.

Mit Hilfe eines solchen Troges lassen sich viele Experimente zeigen, die uns zum Teil schon bekannt sind. So kann man z. B. in ihm eine Ölkugel auf der Grenze zweier spezifisch verschieden schwerer Flüssigkeiten schweben lassen (S. 106) und anderes mehr. Unsere Abbildung zeigt das mechanische und optische Verhalten einer Kochsalzlösung, die der Experimentator aus einem Fläschchen in gewöhnliches Wasser gießt. Da Salzwasser schwerer ist, sinkt es zu Boden, ein Vorgang, den man gewöhnlich nicht gut bemerken kann, weil beide Flüssigkeiten gleich durchsichtig sind. Auf der Leitwand bietet sich jedoch ein wahrhaft überraschender Anblick. Wie bei einem Vulkanausbruch wälzen sich riesige Wolken empor, die sich wirbelnd nach oben verbreitern und den ganzen Raum ausfüllen. Wir werden weiter unten sehen, daß schräg auffallendes Licht aus seiner Richtung gelenkt wird, wenn es von einem dünneren in einen dichteren durchsichtigen Körper übergeht und umgekehrt. Hier ist das Salzwasser der dichtere, das Leitungswasser der weniger dichte Körper, und ein Lichtstrahl würde dauernd abgelenkt werden, wenn er von Leitungswasser in Salzwasser überginge. Das Salzwasser bewegt sich aber, es sprudelt, wirbelt und breitet sich aus, so daß die Lichtstrahlen unregelmäßige, bald dicke, bald dünne Salzschichten zu durchsetzen haben und daher in wirrem Spiel auf dem Schirm jene schlierenartigen Gebilde hervorrufen. Da der Projektionsapparat umkehrt, wird der Eindruck eines Vulkanausbruches hervorgerufen. Eine ähnliche Schlierenbildung tritt auch

auf, wenn man Wasser in Alkohol oder auch nur kaltes Wasser in wärmeres gießt.

Bisher haben wir durchscheinende Gegenstände projiziert. In vielen Fällen kommt es jedoch weniger auf die Farbe als auf die äußere Form eines Gegenstandes an, und dann kann man mit gutem Erfolg auch die Tätigkeit kleinerer Apparate, die sich dazu eignen, mehreren Personen zugleich zeigen. An die umgekehrten Bilder gewöhnt man sich bald. Freilich bedarf es dazu einer kleinen Veränderung an der Laterne.

Der Gegenstand, etwa ein kleines Elektroskop (s. unter „Elektrizität“), dessen Verhalten gezeigt werden soll, paßt nicht mehr in den Einschiebeschloß. Man entfernt daher, wie es auch Fig. 76 C veranschaulicht, diese ganze Einrichtung von den Beleuchtungslinsen, zieht das Objektivrohr heraus und legt es in der richtigen Höhe, etwa durch Bücher oder Kästen unterstützt, vor den Apparat und rückt es so lange hin und her, bis der dicht vor die Beleuchtungslinse gebrachte Gegenstand im Bilde scharf erscheint. In den meisten Fällen wird dann das Bild noch bunte Ränder haben, weil nicht alles Licht in das Objektiv fällt. Dem kann man schnell abhelfen, wenn man die Lampe in der Laterne näher an die Beleuchtungslinsen heranrückt.

Der Spiegel. Eines der sonderbarsten optischen Instrumente. Ein einfaches, glattes Stück Glas, hinterkleidet mit etwas Silber, aber begabt mit fast zauberhaften Eigenschaften. Wir treten vor den Spiegel hin und sehen plötzlich in ihm einen zweiten Menschen — unser eigenes Ich. Das Bild ist vollkommen. Nichts fehlt an ihm. Jede Augenwimper, jedes Fältchen im Gesicht, jedes Härchen am Kleide, alles ist da, kein Maler könnte im Laufe vieler Jahre ein gleich genaues Abbild liefern. Aber das Bild ist auch bunt; so ohne Tadel ist die Wiedergabe, so überzeugend der Schattenwurf und die Plastik, daß wir in Versuchung kommen, uns selbst zuzunicken. Wahrhaftig, das Bild nickt auch. Und doch ist es nur ein einfaches Stück Glas, mit dem die Natur dieses Wunder zustande bringt. Man sieht, mit wie einfachen Mitteln sie arbeitet. Gewohnheit hat uns gegen das Wunder abgestumpft, aber man darf wohl annehmen, daß der erste Mensch, der sein Spiegelbild sah und sich durch Gebärden allmählich davon überzeugte, daß kein anderer, sondern er selbst zum zweitenmal vorhanden sei, einen heilloßen Schreck mit nach Hause brachte. Denn so

gebildet konnte er nicht sein, um in dem Phantom ein Gaukelspiel des Lichtes zu erkennen. Intelligente Menschenaffen äußern vor einem Spiegel fast stets ihr grenzenloses Erstaunen, ja ihr Entsetzen und gehen dann sofort hinter den Spiegel, um sich zu ihrer Beruhigung von der Nicht-Existenz des Geschauten zu überzeugen.

Das Wunder entsteht durch den Gehorsam des Lichtstrahles gegen eines der einfachsten Gesetze, das der Zurückwerfung oder der Reflexion, ein Gesetz, dem auch der von einer Wand abprallende Ball folgt. Wirft man einen Ball senkrecht gegen die Wand, so kommt er in derselben Richtung von der Wand zurück, als wäre er von jemand geworfen, der hinter der Wand steht. Schleudert man ihn gegen dieselbe Stelle, aber schräg, so wird er nach der anderen Seite zurückgeworfen, und zwar so, daß der Winkel, den die Wurfrichtung mit dem auf der getroffenen Wandstelle errichteten Lot einschließt, gleich ist dem Winkel, den das Lot mit der Richtung des abprallenden Balles bildet. Man nennt den einen Winkel den Einfallswinkel, den anderen den Ausfallswinkel und kann dann das Gesetz folgendermaßen aussprechen: Für die Reflexion ist der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel. Dies gilt für alle Fälle, mag der Winkel noch so groß oder so klein sein. Für den Wurf senkrecht auf die Wand sind z. B. beide Winkel gleich Null, d. h. der Ball kommt in der Wurfrichtung zurück. Der Billardspieler weiß das einfache physikalische Gesetz wohl anzuwenden, wenn er die Richtung berechnet, die sein Ball nach dem Rückprall von der Bande haben wird (vgl. S. 122).

Wir können eine Person auch indirekt mit dem Ball treffen, indem wir schräg werfen und ihn von einer Wand abprallen lassen. Wären der Person die Augen verbunden, so wäre sie offenbar völlig im Unklaren über den Standort des Werfers. Vermuten würde sie ihn aber offenbar in der Richtung, aus der der Ball kommt, d. h. fälschlich dort, wo die Wand sich befindet, oder an einem Ort hinter der Wand. Derartigen Richtungstauschungen unterliegt man sehr oft bei Schallercheinungen (vgl. S. 125), woraus man schließen muß, daß auch der Schallstrahl demselben Reflexionsgesetz gehorcht. Und dem Lichtstrahl ergeht es nicht anders, auch er wird von einer Wand, auf die er trifft, zurückgeworfen, aber nur dann genau in der vom Gesetz geforderten Richtung, wenn die Fläche, der Feinheit des Lichtstrahles entsprechend, völlig glatt ist. Derartige Flächen „spiegeln“ dann, wie man sagt.

Es möge sein SS (Fig. 77) eine völlig gerade, spiegelnde Fläche von der Seite gesehen. Vor dem Spiegel befinde sich ein Licht, das seine Strahlen nach allen Seiten in den Raum aussendet. Ein ganzes Bündel dieser Strahlen fällt auch auf den Spiegel und wird von ihm zurückgeworfen. Wir greifen einige von ihnen heraus und nennen sie der Reihe nach 1, 2, 3, 4. Strahl 1 ist dadurch ausgezeichnet, daß er gerade senkrecht auf den Spiegel fällt und daher in derselben Richtung auf das Licht wieder zurückgeworfen wird. Mit keinem der

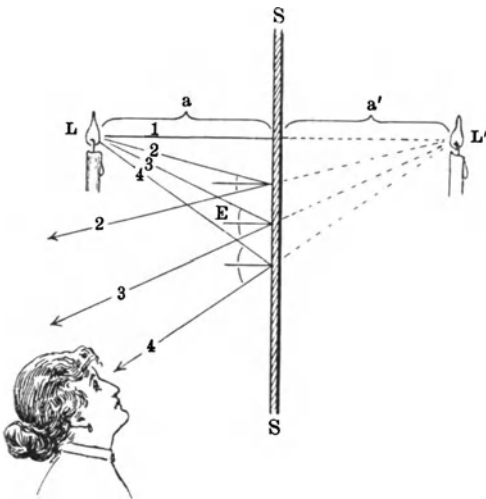


Fig. 77. Spiegelgesetz.

anderen Strahlen geschieht dasselbe, da sie alle mehr oder minder schräg auf den Spiegel fallen und zur Seite gelenkt werden.

Wählen wir für unsere Betrachtung den Strahl 3 heraus, so können wir sofort angeben, wie er reflektiert wird. Wir konstruieren dazu das Einfallslot E senkrecht zur Spiegelfläche und tragen den so ent-

standenen Einfallswinkel als Ausfallswinkel auf der anderen Seite des Lotes an. Führen wir dieselbe Konstruktion für mehrere Strahlen aus, so bemerken wir zwar, daß die reflektierten Strahlen alle nach verschiedenen Richtungen zeigen, daß aber ihre Verlängerungen rückwärts hinter dem Spiegel alle in ein und demselben Punkt L' zusammenlaufen. An dieser Stelle erscheint das Spiegelbild der Kerze, denn ein im Strahle 4 sich befindendes Auge würde Licht aus dieser Richtung wahrnehmen und glauben, eine Kerze in der Strahlenrichtung hinter dem Spiegel zu sehen. Dasselbe gilt für alle anderen Strahlen. Mithin erscheint, wie man sich auch leicht an der Figur überzeugen kann, das Bild genau so weit hinter dem Spiegel, wie der Gegenstand selbst vor ihm liegt.

Spiegelbilder ohne Ende. Um Säle größer erscheinen zu lassen, bekleidet man oft eine der Wände mit einem Spiegel. Ist der Spiegel aus gutem Glase und gut gepuzt, damit keine Unreinigkeit auf ihm seine Anwesenheit verrät, so hat man in der That ganz den Eindruck, als sei der Saal doppelt so groß geworden. Befinden sich aber zufällig oder absichtlich zwei Spiegel einander gegenüber, so wächst er schier ins Unendliche. Denn jedes Spiegelbild ist, optisch genommen, so gut wie der Gegenstand selbst und kann sich wiederum spiegeln. Ein einfacher Versuch mag uns den Beweis liefern. Zwei nicht zu kleine, im übrigen aber möglichst gleiche Spiegel lassen sich schon auf-treiben. Wir hängen den einen an die Wand und setzen uns davor. Sofort erscheint in ihm unser Bild. Wir können an ihm viel merk-würdige Dinge beobachten, z. B., daß in ihm rechts und links vertauscht ist, daß das Haar rechts gescheitelt ist, während wir gewohnt sind, den Scheitel links zu tragen, daß unser Spiegelbild seine linke Hand hebt, wenn wir die rechte bewegen, daß es unmöglich ist, unser eigenes Profil zu sehen, geschweige denn unseren Hinterkopf und anderes mehr. Wird dann der zweite Spiegel hinter unserem Rücken aufgestellt, und zwar genau dem anderen gegenüber und etwas geneigt, so bietet sich plötzlich ein überraschender Anblick. Es ist, als habe sich der Blick in einen ungeheueren, durch die Wand gebrochenen Kanal geöffnet. In diesem Kanal sitzen wir selbst, fünfmal, zehnmal, zwanzigmal, unzählige Male, soweit unser Auge reicht. Wie erklärt sich nun die Erscheinung? Der Spiegel vor uns enthält nicht nur das zunächst von ihm entworfene Bild, sondern er spiegelt auch den Spiegel in unserem Rücken wieder mitsamt dem Bilde, das dieser enthält. Es ist dies aber nichts anderes als eine Rückenansicht von uns, und wir erleben den sonder-baren Fall, unseren eigenen Hinterkopf in einiger Entfernung vor uns zu sehen. Damit aber nicht genug, auch der Hinterspiegel hat unser Porträt im Spiegel vor uns erblickt und dieses noch weiter zurückliegende Abbild ist wieder ein Gegenstand für unseren Spiegel vorn, der es bemerkt und nun noch hinter das verkehrte Bild verlegt. Und so immer weiter. Die Reihe würde endlos sein, wenn nicht sehr bald die in der Entfernung immer kleiner werdenden und dichter aufeinander rückenden Bilder in einem graubräunlichen Dämmerlicht verschwänden, das von der Unvollkommenheit der Spiegel herrührt. Jedenfalls wechselt in der langen Reihe immer ein Vorder- mit einem Rückenbild ab.

Ein Spiegel, in dem Rechts und Links nicht vertauscht ist.

Schneidet man aus Spiegelglas zwei gleich große Scheiben und stößt sie mit ihren Kanten ohne Rahmen genau in einem rechten Winkel zusammen, so entwirft dieser Winkelspiegel, wenn man gerade hineinsieht, ein Bild des Gesichtes wie jeder andere. Aber nur scheinbar. Denn kneift man das rechte Auge zu, so schließt sich im Spiegelbild nicht das gegenüberliegende Auge, sondern das der anderen Seite, mithin ebenfalls das rechte Auge des Spiegelbildes. Beim Heben der

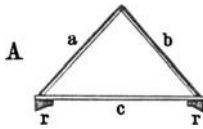


Fig. 78. Ein Spiegel, in dem man drei Augen und zwei Nasen hat.

rechten Hand hebt auch das Spiegelbild die rechte Hand. Es wird unseren Lesern nicht so leicht fallen, die richtige Erklärung zu finden. Das Rätsel löst sich aber sofort, wenn man erfährt, daß das Bild aus zwei Hälften zusammenge setzt ist. Das Abbild der rechten Gesichtshälfte wird zwar von dem rechten Spiegel aufgenommen, jedoch infolge der schrägen Stellung zunächst dem linken Spiegel zugeworfen, der nun seinerseits das Auge glauben macht, es befände sich die rechte Gesichtshälfte links. Das Umgekehrte geschieht mit der linken Gesichtshälfte,

sie erscheint rechts. Da beide Spiegel ohne Rand zusammenpassen, gehen beide Hälften unmerklich ineinander über. Von der wahren Beschaffenheit des Bildes kann man sich jedoch leicht überzeugen, wenn man den Spiegelwinkel vergrößert. Es erscheint dann in jedem Spiegel weniger als eine Gesichtshälfte. Auf jeder Seite verschwindet ein Teil des Gesichtes, man hat zuerst keine Nase, dann kein Auge mehr, zuletzt ist das ganze Gesicht verschwunden und man sieht nichts mehr, wie man sich auch drehen und wenden mag. Das Umgekehrte findet statt,

wenn man den Winkel verkleinert. Das Gesicht wird unverhältnismäßig breit, bekommt einen gewaltig großen Mund, eine dicke Nase, ja zuletzt ist der Mund doppelt so breit als gewöhnlich und mitten auf der Stirn zeigt sich nun zwischen der doppelten Nase ein drittes Auge. Keine Frage, der Spiegel hat ein wahres Scheusal aus uns gemacht (Fig. 78).

Der Verzerrspiegel ist nun eigentlich durch das eben Gesagte schon erklärt. Schließlich ist jeder Spiegel, der etwas schräg seitlich gegen die Wand geneigt ist, bei dem man diese Neigung aber nicht vermutet, ein Verzerrspiegel, denn wer gerade vor ihn hintritt, wird sich zu seinem Staunen nicht sehen können, er wird ebenso wenig ein Spiegelbild haben, wie Peter Schlemiel einen Schatten. Ein zusammengesetzter Spiegel ist jedoch amüsanter in der Wirkung, auch wenn man die Spiegelhälften nur wenig gegeneinander neigt. Man wird dann die Trennungslinie wagerecht verlaufen lassen und die obere Spiegelhälfte eine Wenigkeit nach vorn überneigen. Jeder, der in den Spiegel sieht, und zwar so, daß die Trennungslinie mitten durch den Leib des Spiegelbildes geht, wird unverhältnismäßig lang erscheinen, da jeder Spiegel ein Stück des Leibes zeigt, das auch dem anderen angehört. Ist der Spiegelwinkel dagegen ein mehr als gestreckter — die eine Spiegelhälfte etwas nach hinten geneigt —, so fehlt ein Stück aus der Taille und der Beschauer sieht sich als Zwerg.

Will man den im vorigen Paragraphen besprochenen Winkelspiegel zu einer optischen Täuschung benutzen, also etwa einen „Zauber-
spiegel“ aus ihm machen, „in dem der Beschauer einen ungeheuren Mund, zwei Nasen und drei Augen hat“, so muß man vor allen Dingen dafür sorgen, daß er sich nicht über die wahre Beschaffenheit des Spiegels unterrichten kann. Deshalb setzt man vor die beiden Spiegel *a* und *b* (Fig. 78, A) einen Spiegelrahmen, den man von der Rückseite straff mit einer dichtmaschigen, aber feinen blauen Gaze bezieht (*c*). Das oberhalb entstehende freie Dreieck wird mit Pappe zugedeckt. Der Schleier hüllt das Spiegelbild in einen leichten bläulichen Dunst und macht die Trennungslinie fast unsichtbar, besonders wenn man den Beschauer mit dem Gesicht gegen das Fenster setzt und so zugleich verhütet, daß Licht in den Kasten fällt. Selbstredend hat man alle Sorgfalt auf die genaue Herstellung des Spiegelwinkels zu verwenden.

*** Das Kaleidoskop.** Wie wir schon gesehen haben, wiederholen zwei sich genau gegenüberstehende Spiegel die zwischen ihnen befindlichen Gegenstände unendlich oft. Das ist nicht mehr der Fall bei einem Winkelspiegel. Auch hier werfen die beiden Spiegel einander die Bilder zu, aber diese liegen nicht mehr hintereinander auf einer geraden Linie, sondern auf einem Kreise. Man kann sich leicht von der Richtigkeit des Gesagten überzeugen, wenn man ein Licht oder sonst einen Gegenstand zwischen zwei gegeneinander geneigte Spiegel bringt. Die Zahl der Spiegelbilder hängt von dem Winkel ab, und zwar erscheinen mit dem Gegenstande zusammen so viel Bilder, als der Winkel in einen ganzen Kreiswinkel (360°) aufgeht. Sind die Spiegel also unter einem Winkel von 60° , 45° , 36° , 18° usw. zu einander geneigt, so erblickt man im ganzen 6, 8, 10, 20 Gegenstände. Ihre Anzahl wird um so größer, je kleiner der Winkel wird, immer aber treten die Bilder zu einer schönen symmetrischen Figur zusammen. Diese reizende Symmetrie hat einem Instrument, dem Kaleidoskop, das die Erscheinung besonders schön zeigt, allezeit viel Freunde zugeführt. Es ist nichts als ein verfeinerter Winkelspiegel und seine Anfertigung gar kein besonderes Kunststück.

Man klebt über einen Holzstock eine Pappröhre von etwa 25 cm Länge und 8 cm Weite. Oft ist man dieser Mühe enthoben, wenn man sich eine der Papphüllen verschaffen kann, in denen man jetzt Zeichnungen und gerollte Photographien zu versenden pflegt. Es ist übrigens auch ziemlich gleichgültig, wie lang und breit die Röhre ist. Sie wird innen mit Lack geschwärzt und mit zwei Spiegelstreifen versehen, so lang als die Röhre selbst und $\frac{7}{8}$ ihres Durchmessers breit, also in unserem Falle 7 cm. Die Spiegel stellt man selbst her, indem man das Glas von der Rückseite mit schwarzem Lack zweimal streicht. Derartige schwarze Spiegel haben den Vorteil, daß sie nur auf einer Seite reflektieren und daher keine doppelten Bilder liefern, wie versilberte Spiegel. Die Streifen werden so zusammengestellt, daß sie, mit der einen Längsseite genau aneinanderstoßend, im übrigen die Seiten eines offenen gleichschenkeligen Dreiecks bilden. Die Befestigung erfolgt durch hintergeleimte Korkstücke. Dann wird die Röhre auf der einen Seite mit einem Deckel geschlossen, in dessen Mitte sich ein kleines Guckloch befindet. Man sieht also nicht eigentlich in den Winkelspiegel hinein, sondern an ihm entlang. Um die Einrichtung vollständig zu machen, verschafft man sich eine ganz flache Pillenschachtel, deren

Durchmesser etwas größer sein muß als derjenige der Röhre. Ist sie so groß nicht zu haben, dann muß sich die Röhre nach der Schachtel richten. Sowohl aus dem Deckel als auch aus dem Boden wird dann ein großes kreisförmiges Stück herausgeschnitten, so daß nur noch ein schmaler Rand stehen bleibt. Vor die eine Öffnung klebt man starkes Pauspapier, vor die andere eine runde Glascheibe, beides natürlich von innen, und erhält so einen flachen Zylinder, dessen Boden durchscheinend, dessen Deckel aber durchsichtig ist. Der Deckel wird vor die untere Öffnung des Kaleidoskops geleimt.

Wenn man nun in die Kapsel allerlei Kleinigkeiten, Glasperlen, etwas buntes Papier, Ringe, Moos, aus Papier geschnittene Sternchen und Ähnliches legt und diese durch das Rohr, welches man gegen das Licht hält, betrachtet, so erscheint der Teil der Gegenstände zwischen den Spiegeln sechsmal wiederholt (oder so oft, als der Spiegelwinkel im vollen Kreiswinkel aufgeht). Liegen sie gerade im Winkel, so gibt das Bild einen Stern, liegen sie an der Öffnung, da, wo die Spiegel am weitesten voneinander abstehen, so bilden sie einen Kranz, und beides ist vereinigt, wenn sie gleichmäßiger verteilt sind. Man beachte jedoch, daß die Menge der Gegenstände die Schönheit der Figur nicht ausmacht. Mit jeder Erschütterung oder Drehung kommen die Sächelchen in eine andere Lage und jede, auch die geringste, Veränderung gibt eine neue symmetrische Figur.

Man hat in dem Kaleidoskop mehr sehen wollen als eine niedliche optische Spielerei und es namentlich den Musterzeichnern von Rattun- und Tapetendruckereien zum mühelosen Erfinden von Mustern empfohlen, wir wüßten jedoch nicht, daß es einmal ernstlich und dauernd in einer derartigen Fabrik zur Anwendung gekommen wäre.

Vorrichtung, um angeblich durch einen Stein zu sehen.

Es handelt sich natürlich um einen Scherz, denn durch einen undurchsichtigen Gegenstand kann niemand blicken. Aber der kleine Apparat ist insofern lehrreich, als er zeigt, wie schwer es ist, sich von dem Augenschein durch Überlegung loszumachen und schon deshalb kann seine Anfertigung empfohlen werden. Seine Größe ist recht gleichgültig. Wir wählen folgende Abmessungen:

(Fig. 79.) Aus Pappe wird eine U-förmige Röhre von quadratischem Querschnitt hergestellt, die Schenkel sind je 20 cm, die Grundlinie 25 cm lang, der Durchmesser beträgt 7 cm. Diese Kastenröhre

trägt am oberen Ende, nach innen und außen zeigend, vier Papp-
röhrchen *a*, *b*, *c*, *d*, von denen *a* und *d* mit einem Auszug versehen
und mit einem runden, ganz gewöhnlichen Glaße verschlossen sind.
Man hat so durchaus den Eindruck, als seien diese Röhren Stücke von
zwei Fernrohren *A* und *B*, die man des besseren Haltes wegen und
um ihnen eine genaue Lage einander gerade gegenüber zu geben, durch
den dicken Pappbalken gesteckt hat, dessen obere Enden natürlich ver-
schlossen sind. Dabei sind aber nur die Rohrstücke *a* und *d* auf eine
Öffnung des Kastens aufgeleimt, *b* und *c* sitzen direkt auf der Papp-
wand und sind daher völlig blind. *s*₁, *s*₂, *s*₃, *s*₄ sind Spiegel, die in der
angegebenen Stellung, also unter einem Winkel von 45° zur Wandung,
in die Röhre eingesetzt sind, was allerdings einige Mühe macht.

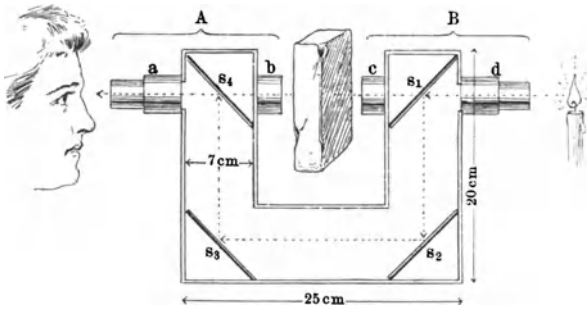


Fig. 79.

Ein Perspektiv, mit dem man angeblich durch einen Stein sehen kann.

Stellt man nun vor *d* ein Licht und blickt in das Rohr bei *a*
hinein, so sieht man das Licht und hat durchaus den Eindruck, als kämen
die Lichtstrahlen durch die beiden (angeblichen) Fernrohre herüber. Wer
die innere Einrichtung des Apparates nicht kennt, wird sich von diesem
Eindruck gar nicht losmachen können. Aber die Lichtstrahlen gehen einen
ganz anderen Weg; sie fallen auf den Spiegel *s*₁, von dort die Röhre
hinab auf *s*₂, werden von diesem Spiegel zur Seite nach *s*₃ geworfen,
von hier im anderen Schenkel der Röhre wieder hinauf nach *s*₄ und von
hier erst in das Auge. Die Täuschung ist so vollkommen, weil das Auge
die Kerze nun an der aus der Strahlenrichtung vermuteten Stelle auch
wirklich findet. Um so größer ist dann das Erstaunen, wenn ein zwischen
die Röhre geschobener Stein an der Erscheinung nichts ändert.

Durchsichtige Spiegel. Es wird jeder schon einmal bemerkt haben, daß eine Fensterscheibe spiegelt, und daß man sowohl in ihr die Gegenstände, die sich vor ihr befinden, erblicken kann, als auch durch sie die Gegenstände hinter ihr. Unsere Damen wissen diese optische Eigenschaft der Glasscheiben wohl zu schätzen, wenn sie, vor den Schaufenstern stehend, scheinbar mit großem Interesse die ausgestellten Sachen betrachten, in Wahrheit aber nur das Spiegelbild benutzen, um ihren Hut oder ihre Haare zu ordnen. Da das Spiegelbild stets so weit hinter dem Spiegel erscheint, wie der Gegenstand sich vor ihm befindet, man aber andererseits durch eine Glasscheibe auch hindurchsieht, wird man den Eindruck haben, als befände sich das Spiegelbild zwischen den anderen Gegenständen im Laden.

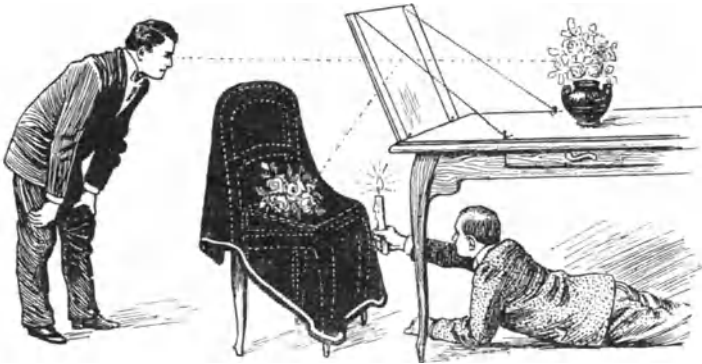


Fig. 80. Erscheinung eines Blumenstraußes in einer leeren Vase.

Diese Erscheinung hat man zu unterhaltenden optischen Täuschungen benutzt, und Geister lassen sich mit ihrer Hilfe viel vollkommener beschwören, als mit der Laterna magica, da sie allen Anforderungen entsprechen, die man an einen ordentlichen Geist berechtigterweise stellen kann. Wer sich vor einem Geist fürchtet, kann das Experiment auch mit einem Blumenstrauß oder mit einigen Goldfischen anstellen.

(Fig. 80.) Man setzt einen Stuhl vor einen Tisch, so daß zwischen seiner Lehne und dem Tischrand noch etwa $\frac{3}{4}$ m Raum bleibt. Der Stuhl wird ganz und gar mit einem schwarzen Tuch bedeckt, und dadurch zugleich dem Zuschauer (linkerhand auf der Abbildung) der Einblick in die Vorgänge unter dem Tisch genommen. Auf den Tisch

stellt man eine niedrige Blumenvase und vorn an den Rand des Tisches eine nicht zu kleine Glasscheibe, der durch Schnur und einige Nägel, oder sonst auf andere Art, leicht eine geringe Neigung nach vorn gegeben werden kann. Durch die Glasscheibe sieht der Beschauer die Vase auf dem Tisch, zugleich aber auch durch Spiegelung den Gegenstand, der auf dem Stuhle liegt, z. B. einen Blumenstrauß. Weiß er nicht, daß die Glasscheibe vorhanden ist, deren Ränder man durch eine Draperie verdecken kann, so vermutet er kein Spiegelbild und wähnt die Blumen wirklich auf dem Tisch zu sehen. Durch Neigung des Straußes wie der Scheibe und durch Verschiebung der Vase bringt man es bald dahin, daß die Blumen über ihr erscheinen, freilich nur so lange, als man sie durch eine unsichtbare Lichtquelle beleuchtet. Erlischt diese, so sind auch die Blumen aus der Vase verschwunden. Selbstredend kann man das Experiment in mannigfachster Weise abändern. Sehr wirksam ist es, statt der Vase ein leeres Goldfischglas aufzustellen, die dazu gehörigen Fische aus Goldpapier zu schneiden und auf den schwarzen Behang des Stuhles zu heften. Man kann sie dann ganz nach Belieben durch Beleuchtung und Verdunkelung in dem Glase erscheinen und wieder verschwinden lassen.

Bei Geistererscheinungen auf großen Bühnen, die sich Spiegelscheiben von zehn und mehr Quadratmeter Fläche leisten können, spielen zwei Schauspieler die Rolle des Geistes und des furchtlosen oder furchtsamen Ritters. Die Ränder der Spiegelscheibe sind dann durch irgendwelche Kulissenstücke, wie Säulen und Gemäuer, geschickt verdeckt und der Darsteller des Ritters spielt hinter ihr. Vor ihr hat sich im Bühnenboden ein breiter Spalt geöffnet, vergleichbar mit dem Raum zwischen Tisch und Stuhl, und in ihm liegt der Geist auf einer beweglichen, schwarz gestrichenen Staffelei. Sobald ihn ein Gehilfe mit der elektrischen Laterne beleuchtet, erscheint er für den Zuschauer auf der Bühne neben dem Ritter, und man muß es ihm lassen, er genügt allen billigen Ansprüchen. Denn obgleich er sich bewegen und drohende Gebärden machen kann, ist er nichts als eitel Blendwerk und Dunst. Tische, Stühle und Mauern bieten für ihn kein Hindernis, das Schwert des Ritters dringt mitten durch ihn hindurch, ohne ihn zu verletzen. Wünscht er wieder zu verschwinden, so genügt ein Wink und sein „Helfers-helfer“ schließt die Laterne. In Shakespeares Königsdrama „Richard III.“ erscheinen zuletzt die Gespenster der von Richard Ermordeten an seinem Lager. Wohlleingerichtete Bühnen

bringen diese Erscheinungen so überzeugend zustande, daß sich niemand des Grauens erwehren kann, auch wenn er weiß, wie's gemacht wird.

Der Profilspiegel. Man mag sich vor einen Spiegel stellen, wie man will, immer wird man sich vergeblich abmühen, sein eigenes Profil zu sehen. Man kann auch seinen eigenen Schattenriß an der Wand nicht sehen, denn sobald man sich nur ein wenig nach der Wand dreht, hört der Schatten auf, Profil zu sein, und wenn man sich erst so weit gewendet hat, um das Bild deutlich zu erkennen, so sieht man schon den Schattenriß des halben Hinterkopfes. Nimmt man dagegen noch einen Spiegel zur Hand, so wird man in ihm den Schattenwurf sehen können, ohne den Kopf zu wenden.

Der Profilspiegel ist denn auch eine Zusammensetzung aus mehreren Spiegeln. Man nimmt deren drei von gleicher Größe und klebt sie durch Zeugstreifen so zusammen, daß zwei von ihnen wie Türflügel an dem dritten hängen und man sie als vorn und oben offenen Kasten auf den Tisch stellen kann. Die Seitenspiegel stellt man so, daß der Winkel gegen den Hauptspiegel größer wird als ein rechter.

Bringt man nun sein Gesicht fast zwischen die Spiegel und wendet sich links, so wird man im linken Seitenspiegel seine rechte Seite scharf im Profil sehen und seine linke Seite im rechten Spiegel. Sieht man nämlich etwas nach links, so faßt der rechte Spiegel das Profil auf, wirft es dem Mittelspiegel zu und dieser wiederum dem linken Seitenspiegel, in dem man es erkennt. Die Damen pflegen derartige Spiegel beim Frisieren zu benutzen.

* **Hohlspiegel** sind Spiegel mit gekrümmter Oberfläche. Meistens handelt es sich um eine kugelige Krümmung. Derartige Spiegel haben besondere Eigenschaften, die sie vor den ebenen Spiegeln auszeichnen.

Zieht man, wie es auf Fig. 81 mehrfach geschehen ist, auf einem Blatt Papier eine horizontale Linie, setzt irgendwo auf ihr mit dem Zirkel ein und schlägt einen halben Kreisbogen, durch dessen Mitte die Linie geht, so kann dieser als die Schnittlinie durch einen kugeligen Hohlspiegel gedacht werden. Stellt man sich die hohle Halbkugel aus Glas vor und auf der Außenseite versilbert, so wird sich offenbar jeder Gegenstand an der Innenseite spiegeln müssen. Es braucht darum

natürlich der Spiegel nicht eine volle Halbkugel zu sein, jedes kleinste Glas ist ein Hohlspiegel, wenn es nur das Stück einer Kugelschale ist.

Der Punkt *K*, um den wir den Spiegel mit einem gewissen Radius konstruiert haben, heißt der Krümmungsmittelpunkt und hat offenbar für den Spiegel eine ganz besondere Bedeutung. Denn bringt man in ihm ein Licht an, so sieht man wohl (Fig. 81, A), daß alle von ihm ausgehenden Strahlen senkrecht auf die Spiegelfläche fallen und von diesen wissen wir bereits, daß sie wieder in derselben Richtung

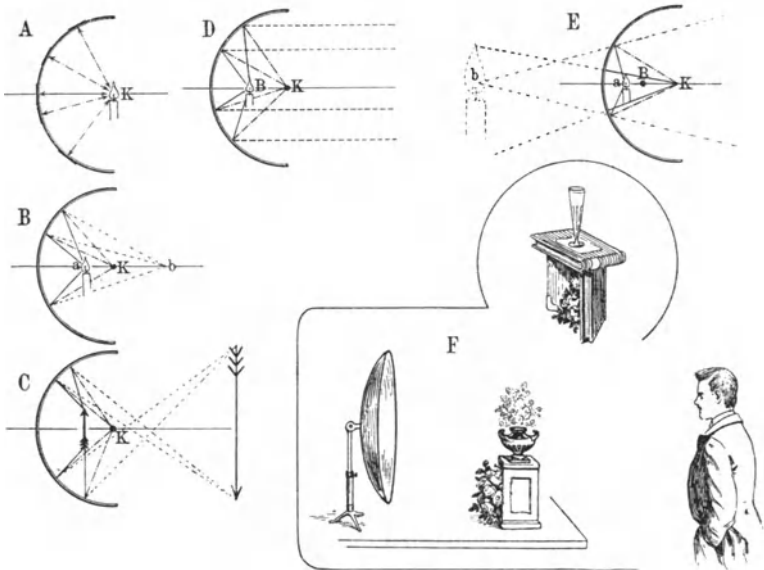


Fig. 81. Erscheinungen am Hohlspiegel.

zurückgeworfen werden, und sich daher in dem Licht wieder vereinigen müssen. Beobachten wir nun die Veränderung der Strahlenrichtung bei der Annäherung des Lichtes an den Spiegel, wobei wir annehmen wollen, daß sie auf der zuerst gezeichneten geraden Linie, der sogenannten optischen Achse des Spiegels, geschehe. Jedenfalls fallen die Strahlen nun nicht mehr senkrecht, sondern schief auf die Spiegelfläche und werden nicht mehr nach der Lichtquelle zurückgeworfen. Ihr Gang läßt sich aber leicht bestimmen, wenn man das Reflexionsgesetz, daß immer der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel sein müsse (S. 122),

berücksichtigt. Das erforderliche Einfallslot im Fußpunkte eines jeden Strahles, von denen wir der Übersichtlichkeit wegen nur drei zeichnen (B), ist schnell hergestellt. Es ist ja nichts anderes als die Verbindungslinie (— · — · — · —) des Krümmungsmittelpunktes *K* mit dem Fußpunkt der einfallenden Strahlen. Strahl und Lot bilden zusammen den Einfallswinkel, den wir auf der anderen Seite des Lotes nur noch einmal anzutragen haben, um sogleich die Richtung des reflektierten Strahles (— · — · —) zu erhalten. Man sieht dann sofort zweierlei, daß nämlich einmal alle reflektierten Strahlen sich in ein und demselben Punkte schneiden und dann, daß der Schnittpunkt auf der optischen Achse und außerhalb des Krümmungsmittelpunktes liegt. Wo aber reflektierte Strahlen sich schneiden, da wissen wir wohl, entsteht nach den für jede Spiegelung gültigen Gesetzen ein Bild der Lichtquelle, nur daß sich bei einem ebenen Spiegel die Strahlen hinter dem Spiegel schneiden, bei einem Hohlspiegel vor ihm (S. 228). Mit dem Hohlspiegelbilde hat es daher auch seine eigene Bewandnis: es liegt in einiger Entfernung vor dem Spiegel frei in der Luft und läßt sich dort gewissermaßen greifen. Wirklich, halten wir an die angegebene Stelle ein Stück Papier, so erscheint auf ihm eine deutliche Abbildung der Kerze, aber auf dem Kopfe stehend. Wiederum ein Unterschied gegen den gewöhnlichen Spiegel. Es ist aber leicht einzusehen, warum das Bild ein verkehrtes ist, und es lohnt sich für unsere Leser schon, einmal Zirkel und Lineal zur Hand zu nehmen und sich ebenfalls davon zu überzeugen. Sie werden sich bei dieser Gelegenheit daran erinnern, daß jeder Punkt eines beleuchteten Körpers, wenn dieser nicht gerade schwarz ist, eine strahlenaussendende Lichtquelle darstellt. So sendet denn auch der auf der Darstellung C (Fig. 81) in den Hohlspiegel gezeichnete aufrechte Pfeil von allen seinen Punkten Lichtstrahlen aus. Wir betrachten nur seine Spitze und seinen Fuß und zeichnen von beiden Punkten aus Strahlen nach dem Spiegel. Es wird unseren Lesern ein Leichtes sein, nach den gegebenen Regeln, durch Konstruktion des Einfallslotes (— · — · —) usw., den Verlauf der reflektierten Strahlen (— · — · —) zu finden, und sie werden sehen, daß die von der Spitze des Pfeiles herrührenden sich sämtlich unterhalb, die von dem Fußende stammenden sich alle oberhalb der optischen Achse schneiden: Hier entstehen ihre Bilder, und im ganzen von dem Pfeil offenbar ein verkehrtes Bild.

Noch etwas anderes wird aus der Zeichnung klar. Je mehr sich die Lichtquelle dem Spiegel nähert, desto weiter außerhalb schneiden

sich die reflektierten Strahlen und bald gelangt man an einen Punkt B (Darstellung D), der wiederum für den Hohlspiegel von größter Bedeutung ist. Alle von ihm ausgehenden Strahlen nämlich schneiden sich überhaupt nicht mehr, sie verlaufen zueinander völlig parallel oder, wie Physiker und Mathematiker sagen, ihr Schnittpunkt liegt im Unendlichen. Während also die Lichtquelle den kurzen Weg vom Krümmungsmittelpunkt K bis zu dem neuen bemerkenswerten Punkt B zurückgelegt hat, mußte das Bild eine ungeheure Reise machen. Es ist erst in kleineren, dann immer größeren und größeren Sätzen davongeeilt und hat schließlich den Sprung vom Endlichen ins Unendliche gewagt.

Wir brauchen wohl kaum noch besonders darauf hinzuweisen, daß der Strahlenverlauf sich im ganzen nicht ändert, wenn man Bild und Lichtquelle miteinander vertauscht. Ist diese unendlich oder doch für unsere Begriffe sehr weit entfernt, dann werden die parallel einfallenden Strahlen sämtlich nach dem Punkt reflektiert, der allemal auf dem halben Wege vom Krümmungsmittelpunkt K nach dem Grunde des Spiegels liegt. Ist die Sonne die Lichtquelle, so entsteht hier von ihr ein verkleinertes Abbild, das ein Stück Papier, mit dem man es auffangen will, sofort in Flammen setzt, denn es werden mit den Lichtstrahlen auch alle auf den Spiegel fallenden Wärmestrahlen — und das sind um so mehr, je größer der Spiegel ist — in diesem Punkte vereinigt, den man daher auch mit Recht den „Brennpunkt“ nennt. So hat denn ein Hohlspiegel ebenso einen Brennpunkt wie eine Linse, nur mit dem Unterschiede, daß er hinter der lichtdurchlässigen Linse, aber vor dem reflektierenden Hohlspiegel liegt.

Was mag nun wohl geschehen, wenn die Lichtquelle dem Hohlspiegel noch über den Brennpunkt hinaus genähert wird? Auch diese Frage wollen wir beantworten. Die Strahlenkonstruktion nach unserem bewährten Rezept (Fig. 81, E) ergibt ein Auseinanderlaufen der reflektierten Strahlen. Von einem Schnittpunkt und einem Bilde vor dem Spiegel kann mithin gar keine Rede sein. Unsere Leser werden sich aber erinnern, daß wir bei einem gewöhnlichen ebenen Spiegel ganz ähnliche Verhältnisse hatten (S. 228). Auch dort schnitten sich nicht die reflektierten Strahlen selbst vor dem Spiegel, wohl aber ihre Verlängerungen rückwärts hinter ihm. So ist es hier ebenfalls: das bisher greifbar vor dem Spiegel schwebende und auf dem Kopfe stehende Bild ist nun scheinbar hinter den Spiegel gerückt, nicht mehr zu fassen und,

wie man sich leicht an der Konstruktion überzeugen kann, vergrößert und aufrecht.

Wir werden zugeben müssen, daß der Hohlspiegel ein wunderbares Instrument ist. Die Lichtquelle (oder sonst ein Gegenstand) macht, man möchte sagen, nur einen kurzen Schritt vom Krümmungsmittelpunkt bis zum Spiegelgrunde, das Bild aber hat inzwischen nicht nur einen unfaßbar weiten Weg zurückgelegt, sondern auch die bemerkenswertesten Größenveränderungen durchgemacht. Als sich die Lichtquelle im Krümmungsmittelpunkt selbst befand, war das Bild genau an der gleichen Stelle, nur stand es auf dem Kopf. Dann lief es, immer auf dem Kopfe stehend, vom Spiegel fort, wurde zugleich aber auch immer größer und größer (Darstellung C), bis es schließlich Entfernungen und Größen erreichte, denen gegenüber alle menschliche Vorstellungskraft erlahmt. Dann befindet sich die Lichtquelle im Brennpunkt. Und nun kommt das Merkwürdigste. Das Bild, das wir eben noch im Unendlichen vor dem Spiegel suchten, erscheint nun plötzlich unfaßbar groß und unendlich weit hinter dem Spiegel. Es hat dabei noch Zeit gefunden, einen Salto mortale auszuführen und steht nun auf den Füßen, auf denen es mit Windeseile, gleichzeitig kleiner und kleiner werdend, herankommt, um zuletzt mit der Lichtquelle zusammenzustoßen, in dem Augenblick, wo diese den Spiegelgrund berührt.

*** Von der Anfertigung eines Hohlspiegels.** Unsere Leser werden nun davon überzeugt sein, daß der Hohlspiegel nicht nur ein amüsanter, sondern auch ein lehrreicher, ja in mancher Beziehung ganz einzigartiges Instrument ist und die Frage nach der Anfertigung eines solchen Spiegels ist daher nur gerechtfertigt. Damit setzen sie aber den Verfasser gleich in die größte Verlegenheit. Denn rund herausgesagt, wirklich gute Hohlspiegel, seien sie nun aus Metall oder aus Glas, kann man nur kaufen und dann sind sie bei einiger Größe recht teuer. Immerhin aber mögen unsere Freunde die Flinte nicht ins Korn werfen. Wenn es nicht darauf ankommt, gute, sondern eben nur brauchbare Resultate zu erzielen, kann man mit einiger Geduld schon etwas erreichen. Hierzu mögen nun einige Fingerzeige gegeben sein.

Die Herstellung von Metallspiegeln werden wir von vornherein als zu schwierig außer Betracht lassen dürfen. Es handelt sich für

uns also zunächst nur um Spiegel aus Glas oder doch nur um solche Metallspiegel, die als Niederschläge auf Glaskörpern entstanden sind.

In den Handlungen für chemische Bedarfsartikel kann man flache, uhrglasähnliche Schalen kaufen, deren Größe von der eines gewöhnlichen Uhrglases bis zu etwa 30 cm Durchmesser schwankt. Eine mittlere Größe von 12 bis 15 cm Durchmesser reicht aus. Bisweilen stellen diese Gläser fast genau das Stück einer Kugelschale dar und dann sind sie für unsere Zwecke brauchbar. Um sie zu prüfen, stellt man in 3 bis 4 m Entfernung von der Schale ein Licht oder eine Lampe ohne Glocke auf und sucht mit einem kleinen Stückchen Papier vor der Schale nach dem Bilde, das natürlich nur schwach ist, da das Glas die meisten Lichtstrahlen hindurchläßt und nur wenige reflektiert. Zeigt sich das Bild an irgend einer Stelle in leidlicher Schärfe, so ist die Schale brauchbar; erhält man aber immer nur einen ganz verwachsenen, ausgedehnten und schlierigen Schein, dann braucht man sich mit dem Glase gar keine Mühe weiter zu geben. Übrigens denke man daran, daß — wenn auch die Lichtquelle nicht gerade unendlich weit entfernt ist — die Entfernung des Bildes vom Grunde des Glases nahezu gleich der Brennweite und die doppelte Entfernung gleich dem Krümmungsradius ist. Man notiert sich beide Zahlen, da es von Interesse ist, für den künftigen Spiegel diese Daten zu haben. Kann man für eine Schalenöffnung von 15 cm eine Brennweite von etwa 8 bis 10 cm erhalten, so bleibt nichts mehr zu wünschen übrig.

Nun kommt es darauf an, aus dem Glase einen wirklichen Spiegel zu machen. Das ist ganz leicht, wenn man auf einen guten Teil des reflektierten Lichtes freiwillig verzichtet. Man braucht dann das Glas nur auf seiner äußeren erhabenen Seite mehrmals mit einem schwarzen Lack zu bestreichen. Es reflektiert dann nur die vordere Glasfläche, und man erhält jedenfalls keine doppelten Bilder, nur sind sie lichtschwach. Immerhin reicht ein derartig hergestellter schwarzer Spiegel völlig aus, um die Spiegelgesetze zu zeigen.

Viel lichtstärkere Bilder kommen natürlich zustande, wenn die Rückseite, wie diejenige der gewöhnlichen Spiegel, versilbert ist. Jeder Spiegelfabrikant wird bereit sein, die Versilberung auszuführen. Schließlich ist es aber gar kein Kunststück, sie selbst mit gutem Erfolg herzustellen, wenn man das zu versilbernde Stück in eine Lösung legt, deren Herstellung hier nach einem bewährten Rezept angegeben sein mag.

Rezept zur Versilberung von Glas. Man setzt drei Lösungen an:

- 1) 5 g salpetersaures Silberoxyd in 100 ccm destillierten Wassers,
- 2) 8 g Seignettesalz in 100 ccm destillierten Wassers,
- 3) 1 Teil konzentrierte Ammoniaklösung auf 10 Teile Wasser.

Unmittelbar vor dem Gebrauch gießt man je 20 ccm von 1 und 2 zusammen und setzt unter Umschütteln sehr allmählich so viel der verdünnten Ammoniaklösung hinzu, bis der entstandene Niederschlag eben gelöst ist. Ein milchiger Schimmer, der etwa noch bleibt, schadet nichts. Diese Mischung wird dann mit destilliertem Wasser auf 250 ccm aufgefüllt und sofort auf den zu versilbernden Gegenstand gegossen, wo sie einige Stunden stehen bleiben kann. Man legt den Gegenstand dazu in eine genügend tiefe Schüssel, erhabene Seite nach oben. Er muß reichlich bedeckt werden. Soll das Glas die Flüssigkeit willig annehmen, so läßt man es vor dem Versuch einen Tag in destilliertem Wasser liegen. Nach der Versilberung, die oberflächlich matt aussieht, nach innen aber lebhaft strahlt, wird vorsichtig unter einem sanft fließenden Wasserstrahl abgespült und an der Luft getrocknet. Ein Überzug von Lack, mit einem weichen Pinsel aufgetragen, dient zum Schutz. Ein Silberniederschlag, der sich vielleicht auch auf der Innenseite angesetzt hat, wird mit einem Wattebausch, den man in stark verdünnte Salpetersäure tauchen kann, fortgenommen.

Die vernickelten Spiegel unserer Klavierlampen taugen für unsere Zwecke nichts, da sie eine viel zu kurze Brennweite haben, dagegen sind die flachen Spiegel der Wagenlaternen und die hohl geschliffenen Rasierpiegel von etwa 10 bis 15 cm Durchmesser sehr brauchbar.

★ **Schwebende Blumen.** Ein zwischen Krümmungsmittelpunkt und Brennpunkt eines Hohlspiegels (Rasierspiegels) befindlicher, auf dem Kopf stehender Gegenstand hat, in einiger Entfernung vor dem Spiegel, ein schwebendes aufrechtes Bild, das sich um so weiter entfernt und zugleich um so größer wird, je weiter der Gegenstand an den Brennpunkt heranrückt. Wenn auch dies Bild nicht auf einem Papierschirm aufgefangen wird, so ist es darum doch vorhanden und schwebt in der Tat frei in der Luft. Man kann es sehen, wenn man sich in einiger Entfernung und in der Richtung der optischen Achse vor

dem Spiegel aufstellt. Es ist so deutlich, daß man wähnt, danach greifen zu können und man würde nicht einen Augenblick zögern, es für etwas Körperliches zu halten, wenn der Gegenstand nicht selbst ebenfalls zu sehen wäre. Man kann ihn aber leicht den Blicken entziehen, wenn man den Spiegel etwas nach oben richtet und damit zugleich das Bild über den Gegenstand bringt, der sich dann durch Bücher und dergleichen verbergen läßt. So kommen ganz wunderbare Erscheinungen zustande.

Fig. 81, F zeigt die Anordnung der Apparate für eine optische Erscheinung (früher nannte man derartige Erscheinungen Phantasmagorien), welche die Anwesenheit eines Blumenstraußes in einer Vase dem in einiger Entfernung vor dem Spiegel stehenden Beschauer vor-täuscht. Es steht aber nur eine leere Vase auf dem Postament und der Blumenstrauß, dessen Bild durch Schiefriechung des Spiegels über der Vase erscheint, hängt an der Rückseite des Postaments. Die Täuschung ist so vollkommen, daß man seinen Augen nicht traut, wenn man das Gefäß bei näherer Besichtigung leer findet. Freilich darf sich außer dem Strauß sonst nichts wieder spiegeln und daher hinterkleidet man den Sockel mit schwarzem Sammet.

Durch Zusammenstellung dreier Bücher kann, wie es die Abbildung ebenfalls zeigt, der Sockel entbehrt werden, nur müssen sie auf einem schwarzen Tuch stehen und selbst dunkel eingebunden sein. Für eine gute Beleuchtung sorgen zwei seitlich stehende Lampen. Den Spiegel kann man auch an die Wand hängen. Da Gegenstand und Bild nahezu gleich groß sind, wird der Strauß sich fast im Krümmungsmittelpunkt (in der doppelten Brennweite) des Spiegels befinden müssen. Stellt man statt der Vase ein durchsichtiges Spitzglas auf, so wird der Strauß auch einen Stiel haben dürfen, der dann mitten im Glase schwebend erscheint. Selbstverständlich braucht es bei dem Strauß kein Bewenden nicht zu haben. Man kann auch eine Statue auf einem Sockel, ein Männchen in einer Flasche, einen Vogel in einem Bauer erscheinen lassen usw. Einen seltsamen Anblick gewährt ein Weinglas, das gefüllt, aber verkehrt in der Luft schwebt, ohne daß ein Tropfen herausfließt.

Man hat diese Hohlspiegel bisweilen in der Theatertechnik angewandt, z. B. um die Darsteller in starker Verkleinerung auf die Bühne zu spiegeln. Ein zweiter Spiegel sorgt dann für abermalige Umkehrung und enthebt die Schauspieler der Mühe, auf dem Kopfe stehen

zu müssen. Diese kleinen, oft nur 20 cm großen, lebenden Püppchen des sogenannten „Tanagratheaters“ bieten einen ganz entzückenden Anblick.

Anders gekrümmte Spiegel. Der Kugelspiegel. Wir werden nun die erhabene, gewölbte Seite einer Kugelschale als Spiegel benutzen; einige Überlegung sagt uns, daß ein so gekrümmter Spiegel so mannigfaltig und interessant wie der Hohlspiegel nicht sein kann. Denn betrachten wir die Strahlen, die von einer Lichtquelle auf eine spiegelnde Kugel fallen, und verfolgen ihren Gang nach dem bekannten Spiegelgesetz, so sehen wir, daß sie stets nach der Reflexion auseinandergehen, wo auch immer die Lichtquelle sich befinden mag. Der Kugelspiegel kann also unter keinen Umständen ein außen in der Luft liegendes greifbares Bild liefern. Immer scheint es innerhalb der Kugel zu liegen, ist stark verkleinert und aufrecht wie der sich spiegelnde Gegenstand. Das Bild wächst stark und schließlich bis zur Größe des Gegenstandes selbst, wenn sich beide an der Oberfläche des Spiegels berühren. Da aber dann das Bild durch den Gegenstand verdeckt wird, kann man wohl sagen, daß das sichtbare Bild eines Kugelspiegels stets kleiner ist als der Gegenstand.



Fig. 82.

Verzerrung durch einen Kugelspiegel.

Er ist also ein Verkleinerungsspiegel und dient daher bisweilen Gärten und Parkanlagen, deren Wege und Beete er in verkleinertem Maßstabe abbildet, angeblich zur Zierde.

Damit wären freilich seine Taten erschöpft. Doch halt! Er verzerrt auch und macht aus jedem vernünftigen Geschöpf ein lächerliches Gebilde, kein Wunder, daß man ihn darum, wie so manchen Menschen, der mit sich das gleiche tut, interessant findet. Die Verzerrungen sind leicht erklärlich, da das Bild schnell mit der Annäherung wächst und verschiedene Teile, z. B. des menschlichen Körpers, stets verschieden weit von dem Spiegel entfernt sind. So erscheint vielleicht

der dem Spiegel zunächst stehende Unterleib unmäßig aufgetrieben, während Kopf, Hände und Füße viel zu klein sind (Fig. 82). In ungeheurer Verzerrung wird der dem Spiegel entgegengestreckte Arm.

Es ist fast nicht nötig, einen derartigen Spiegel anzufertigen. Jede runde vernickelte Teekanne, jede blankte Kugel vom Weihnachtsbaum zeigt die Erscheinungen in genügender Deutlichkeit. Will man durchaus einen besonderen Apparat haben, so schwenkt man eine schwachwandige Kochflasche, wie sie der Chemiker gebraucht, innen mit schwarzem Lack aus. Auch eine Verfilberung läßt sich durch Eingießen der schon genannten Verfilberungsflüssigkeiten leicht herstellen. Um aber nicht zu viel Flüssigkeit zu verbrauchen, die zum zweiten Male nicht verwendet werden kann, gießt man nur etwas Flüssigkeit ein und sorgt durch langsames Drehen und Wenden dafür, daß sie nacheinander mit sämtlichen Teilen der Wandung mehrfach in Berührung kommt.

Der zylindrische Spiegel entsteht durch Umlegen einer spiegelnden Fläche um einen Zylinder und weist daher nur quer zur Achsenrichtung eine Krümmung auf. Es ist nicht schwierig, einen Zylinder Spiegel herzustellen, und zwar am besten durch innere Verfilberung eines Glaszylinders oder eines chemischen Standglases. Um nicht zu viel Verfilberungsflüssigkeit zu gebrauchen, steckt man in das Glas einen hölzernen Stiel, der fast dessen Durchmesser hat. Will man die Verfilberungsflüssigkeit vermeiden, so erinnert man sich des schwarzen inneren Lacküberzuges oder auch der reflektierenden Eigenschaften des Stanniols. Letzteres hat eine matte und eine spiegelnde Seite, die noch völlig glatt ist, wenn man die Zinnfolie (Stanniol ist Zinn) im Handel bezieht. Man schneidet auf einer Unterlage von Zink oder Glas mit Lineal und scharfem Messer ein Stück von erforderlicher Größe heraus und bringt es, ohne es zu knittern, vorsichtig mit der rauhen Fläche auf das vorher dünn mit Leim oder Eiweiß bestrichene Rundglas. Angeedrückt wird mit einem Wattebausch.

Ein zylindrischer Spiegel zeichnet sich dadurch aus, daß er in der Längsrichtung die Eigenschaften eines ebenen, in der Querrichtung diejenigen eines Kugelspiegels hat. Er verzeichnet daher nur nach der einen Richtung, so daß je nach der Stellung des Spiegels ein Mensch in ihm entweder viel zu dick zu seiner Größe oder zu lang zu seiner Breite erscheint. Beachtenswert ist hierbei eine stets wiederkehrende Täuschung. Man empfindet nämlich das Bild als zu breit oder zu lang, obgleich gerade in den beanstandeten Richtungen der Spiegel

jedesmal korrekt zeichnet. Wollte man ein Bild in dem aufrechten Spiegel — der alles zu schmal wiedergibt — natürlich sehen, so müßte man den Gegenstand übertrieben breit zeichnen. Das ist sehr leicht richtig zu machen, denn man braucht nur den Gegenstand zu zeichnen, wie er im Querspiegel erscheint und ihn dann im Längsspiegel zu betrachten und umgekehrt. Schwieriger ist es schon, die Zeichnung richtig zu entwerfen, wenn sie liegen und der Zylinder auf ihr stehen soll. Man hat viele Konstruktionen hierfür angegeben und in älteren Büchern sind viele Seiten auf die Beschreibung dieser „Anamorphosen“ verwendet, nicht nur für Zylinderspiegel, sondern auch für Pyramiden- und Kegelspiegel. Wir sehen in diesen „Anamorphosen“ heute nichts als eine ziemlich müßige Spielerei und können unseren jungen Lesern kaum empfehlen, Zeit darauf zu verwenden. Nur der Vollständigkeit wegen zeigen wir in Fig. 83 die verzerrte Abbildung einer Tänzerin, die im Zylinderspiegel in den richtigen Verhältnissen erscheint.

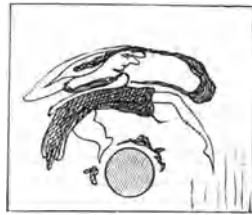


Fig. 83. Wirkung eines Zylinderspiegels.

Optische Wiederherstellung einer verzerrten Zeichnung ohne Spiegel. Man weiß, welche abenteuerlichen Verzerrungen unser Schatten annimmt, wenn wir unter einer Laterne hindurchschreiten. Zuerst streckt sich der Schatten weit hinter uns, dann wird er kleiner, holt uns ein und wird dann vor uns immer länger und länger. Alles an ihm ist übertrieben und verzerrt. Und doch gibt es einen Punkt, von dem aus der Schatten gerade so wohl proportioniert erscheint, wie der Körper. Das ist die Laterne selbst, denn von ihr aus gesehen muß sich der Körper mit dem Schatten decken und kann daher auch nicht in anderen Verhältnissen erscheinen als dieser. Durch eine gleiche Überlegung erklärt sich folgende Anamorphose.

Jrgend eine Konturenzeichnung, etwa die Abbildung eines Soldaten, eines Elefanten usw., wird in ihren Umriffen mit einer Nadel durchstochen und dann in einiger Entfernung von einem Licht ($\frac{1}{2}$ m) senkrecht auf den Tisch gestellt. Es entsteht dann durch die Löcher eine

verzerzte Umrißlinie auf dem Tisch, die sich auf einem horizontal liegenden Bogen Papier auffangen und nachzeichnen läßt. Betrachtet man jedoch diese Zeichnung durch eine kleine Öffnung in einer Pappscheibe von der Stelle aus, an der vorher die Kerze gestanden hat, so erscheint sie völlig richtig.

★ **Das Prisma.** Von unserem Kronleuchter ist einer jener dreikantigen Glaszierate, ein Prisma, herabgefallen und die Neugierde treibt uns, dadurch gegen ein Licht zu blicken. Doch sonderbar, das Licht ist verschwunden, wir mögen das Prisma, das doch aus völlig klarem Glase besteht, drehen und wenden, wie wir wollen. Wir müssen mit dem Körper eine Drehung zur Seite ausführen, um das Licht wieder zu erblicken, in einer ganz anderen Richtung als es wirklich steht und umgeben von den wundervollsten Regenbogenfarben. Wir finden auch durch das Prisma das Fenster wieder, aber sicher nicht in der Richtung, in der es sich in Wahrheit befindet. Alle Gegenstände sind dort, wo Licht und Schatten aneinandergrenzen, mit den prächtvollsten Farben umfümt. Berge, Häuser, Wolken und Bäume nehmen sich im bunten Spiel dieser Farben zauberhaft aus. Für uns eine ganz neuartige Erscheinung, die uns die Frage aufdrängt: was ist mit dem Licht im Prisma geschehen?

Wer hat nicht schon einmal einen Sonnenstrahl in ein Waschbecken oder sonst ein anderes Gefäß mit Wasser fallen sehen und dabei die Beobachtung gemacht, daß der Lichtstrahl an der Oberfläche eine eigentümliche Knickung erhält, so daß er im Wasser in anderer Richtung verläuft als in der Luft? Man hat durchaus den Eindruck, als sei er an dieser Stelle gebrochen wie ein Stab. Fig. 84, A stellt einen derartig durch Wasser gebrochenen Lichtstrahl dar. Eine solche Brechung erfolgt allemal, wenn der Lichtstrahl nicht senkrecht, sondern schräg auf die Trennungsoberfläche von Luft und Wasser fällt. Über die Art der Brechung läßt sich leicht eine Regel bilden. Errichtet man nämlich in dem Punkt, wo der „einfallende Strahl“ die Wasseroberfläche berührt, in seinem Fußpunkt also, auf der Oberfläche ein Lot, das „Einfallslot“ des Strahles — uns sind diese Benennungen schon vom Spiegel her bekannt — und verlängert dieses Lot in das Wasser hinein, so sieht man, daß der Winkel, den der „einfallende“ Strahl mit dem Lot bildet (*a*), in der Luft größer ist als der vom „gebrochenen“ Strahl und dem verlängerten Lot im Wasser eingeschlossene Winkel (*b*). Man

könnte sagen, der Lichtstrahl sei im Wasser dem Lot „zugebrochen“ und das ist immer der Fall, wenn er übergeht von dem optisch dünneren Mittel (hier der Luft) in das optisch dichtere Mittel (hier das Wasser), nur ist die Größe der Ablenkung für verschiedene Stoffe verschieden.

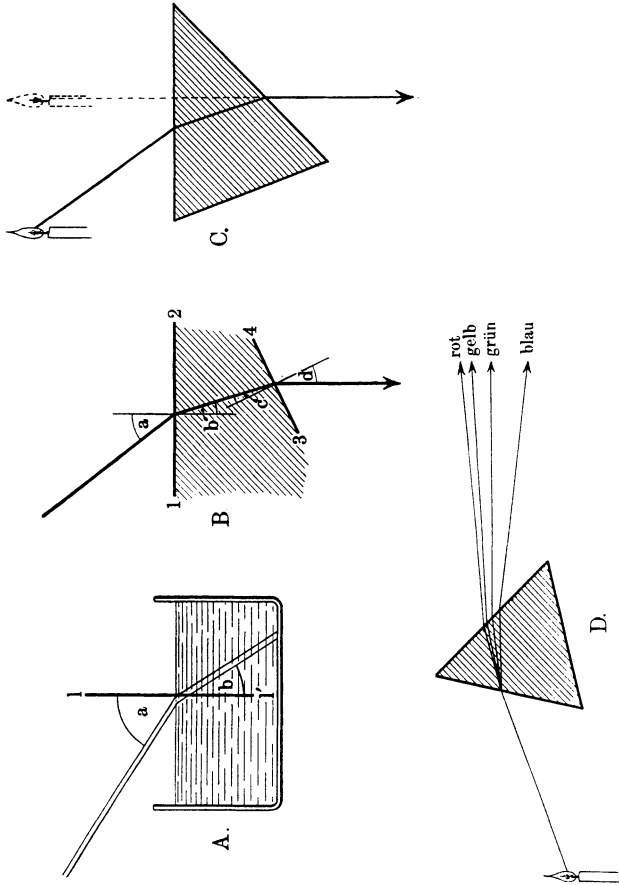


Fig. 84. Prisma.

Der Versuch ist auch umkehrbar und der Strahlenlauf würde kein anderer sein, wenn sich das Licht im Wasser befände und der Strahl von dem optisch dichteren Mittel in das optisch dünnere Mittel austräte. Er würde dann dem Lot nicht zu, sondern von ihm „abgebrochen“.

Man stelle folgenden Versuch an, zu dem es keiner Auslagen bedarf. Ein Geldstück wird in eine nicht zu flache Schüssel gelegt und mit Wasser reichlich bedeckt. Darauf füllt man ein Glas ganz mit Wasser, drückt eine Postkarte darauf, dreht rasch um und stülpt das Glas in die Schüssel. Infolge der Wirkung des Luftdruckes, die wir schon früher kennen lernten, kann dann das Wasser nicht ausfließen und wir dürfen die Postkarte vorsichtig fortziehen. Blickt man nun von

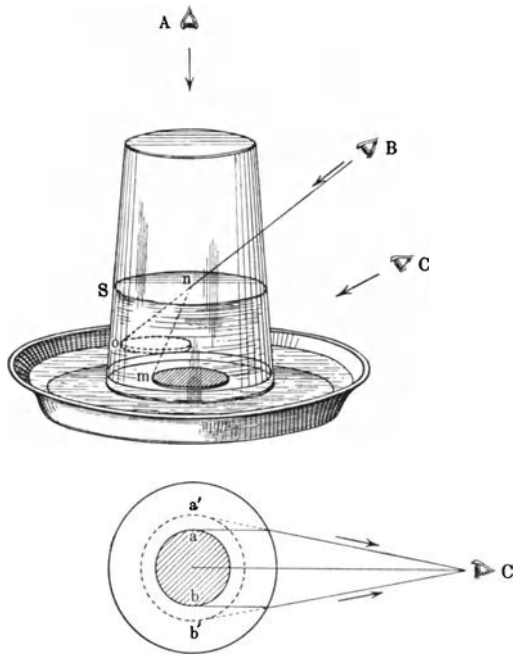


Fig. 85. Münze im Wasser.

oben in das Glas (A, Fig. 85), so erscheint die Münze an Ort und Stelle, schräg betrachtet aber stark emporgehoben (B). Das vom Geldstück ausgehende Licht wird in diesem Falle stark gebrochen, und da das Auge stets den Gegenstand in der Richtung der in ihm eintreffenden Lichtstrahlen sucht, erklärt sich die überraschende und wichtige Erscheinung. Wir kennen sie eigentlich schon, denn wir Schwimmer wissen längst, wie tief wir tauchen müssen, um einen Gegenstand zu ergreifen, der uns, vom Ufer aus gesehen, in geringer Tiefe unter der Wasserober-

fläche zu liegen scheint. Von C aus wird die Münze größer wahrgenommen, als sie ist. Der untere Teil der Figur gibt die Erklärung.

Ein anderes, einfaches Experiment über die Lichtbrechung ist in Fig. 86 dargestellt und wohl ohne weitere Erläuterung verständlich. Es empfiehlt sich, in das Glas etwas Rauch einzublasen; man sieht dann den geradlinigen und den durch das Wasser gebrochenen Lichtstrahl sehr deutlich. Als Lichtquelle dient die Sonne.

Nicht anders wird es sein, wenn ein Lichtstrahl schräg auf einen Glaskörper fällt. Es sei 1 bis 2 (Fig. 84, B) eine Fläche, unterhalb deren sich, zunächst in beliebiger Dicke und Ausdehnung, ein Glaskörper G , oberhalb deren sich Luft befindet. Ein schräg auf diese Trennungs-

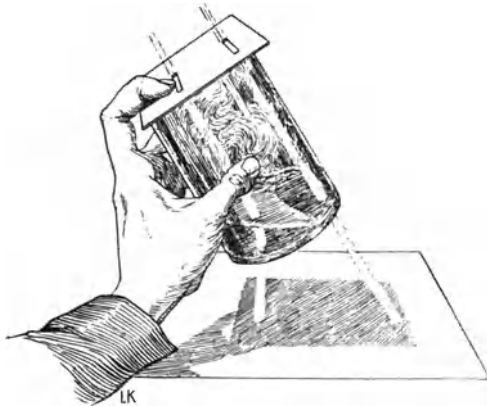


Fig. 86. Wie ein Lichtstrahl gebrochen wird.

fläche fallender Lichtstrahl wird im Glas seine ursprüngliche Richtung ändern, und zwar wird er in ihm, als dem optisch dichteren Mittel, dem Einfallslotte zu gebrochen werden, wie es auch die Zeichnung veranschaulicht (der Winkel a ist größer als der Winkel b). Hört irgendwo, etwa bei 3 bis 4, der Glaskörper auf, dann tritt der Lichtstrahl wieder in das dünnere Medium aus und wird von dem Lot abgebrochen (der Winkel d ist größer als der Winkel c). Wie im übrigen sonst der Glaskörper begrenzt ist, ist für den Verlauf des Lichtstrahles völlig gleichgültig, wir können ihn links stumpf abschneiden und rechts spitz verlaufen lassen, d. h. nichts anderes als ein Prisma aus ihm machen (Fig. 84, C). Unsere Leser erkennen nun deutlich, wie ein Lichtstrahl durch ein Prisma aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird

und wie daher jeder Gegenstand dadurch aus seiner Lage gerückt erscheinen muß. Sie sehen aber auch aus der Figur, wie man das Prisma halten muß, um Erfolg zu haben.

Aber es gibt verschiedenartiges Licht, rotes, grünes, blaues und viele andere Abstufungen mehr, und die Frage erscheint daher wohl berechtigt, ob alle die verschieden gefärbten Lichtstrahlen in gleicher Weise durch das Prisma gebrochen werden. Man kann sich darüber unterrichten, wenn man nacheinander eine rote, grüne, blaue Glasscheibe zwischen die Lichtquelle und das Prisma bringt und andererseits die aus dem Prisma tretenden bunten Strahlen auf einem weißen Schirm auffängt. Dann sieht man, wie das Prisma auf das feinste zwischen den ihm gebotenen Lichtstrahlen unterscheidet und wie es jedem einen besonderen Weg anweist. Am wenigsten aus seiner Richtung gelenkt wird ein roter Strahl, dann ein orangefarbener, ein gelber, grüner, am meisten ein blauer und ein violetter (Fig. 84, D). Lassen wir aber einen weißen Lichtstrahl auf das Prisma fallen, so erscheint er hinter dem Prisma nicht mehr weiß, sondern verbreitert und farbig in der angegebenen Reihenfolge. So sonderbar auch dieses Resultat anmutet und so schwer es uns wird, darüber klar zu werden und daran zu glauben, — nur eins kann die Lösung dieses geheimnisvollen Rätsels sein: das weiße Licht ist eine Zusammenmischung aller Farbenstrahlen. Heute wird jedem Schüler diese Tatsache beigebracht, und er ist gewohnt, sie als etwas Selbstverständliches hinzunehmen, als aber der Physiker Newton diesen Satz zum erstenmal ansprach, da begegnete er nur spöttischem Lächeln. Selbst die größten Geister, wie Goethe und andere, verhielten sich ablehnend, ja Goethe verfertigte sogar ein Spottgedicht auf diese Art verkehrter Naturanschauung. Hätte er geahnt, welche Wunder das geschmähete, dreikantige Stückchen Glas noch enthüllen sollte!

Damit sind zunächst die bunten Farbränder um die Gegenstände erklärt. Von einem Fenster z. B. geht weißes Licht aus, sämtliche Farbenbestandteile enthaltend. Das Prisma sondert sie säuberlich und wir erblicken ein rotes Fenster, dicht daneben — so daß sie sich fast ganz, nur am Rande nicht, überdecken — ein gelbes, ein grünes, ein blaues Fenster. Soweit sich die Farbenbilder überdecken, ergeben sie eine weiße Färbung, an den Rändern jedoch kommt jede Farbe neben der anderen voll zur Geltung. Will man daher nur die Farben haben, so eignet sich eine so breite Leuchtfläche wie ein Fenster für den

Versuch nicht, man sieht dann besser nach einem schmalen Spalt. Die Bilder decken sich dann nicht mehr, sondern die verschieden gefärbten Spaltbilder erscheinen eng nebeneinander, niemals aber zwischen sich eine dunkle Lücke lassend. Vielmehr geht das Rot allmählich in Orange, dann in Gelb, das Gelb in ein helleres, dann dunkleres Grün über, dem sich immer mehr und mehr der blaue und violette Farbton beimischt. Man sieht diese Farben alle nacheinander, wenn man das

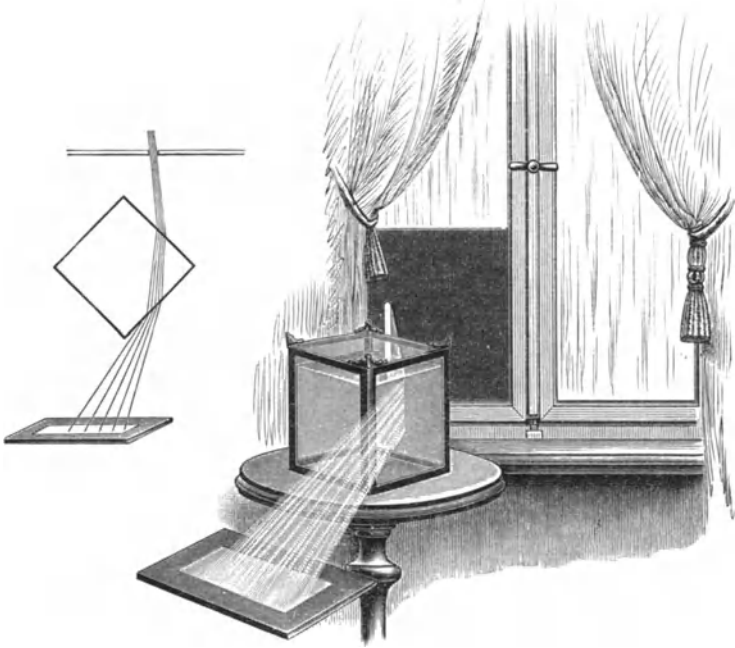


Fig. 87. Das Aquarium als Prisma.

Auge langsam an dem Prisma vorüber bewegt. Man kann sie aber auch, helles Licht vorausgesetzt, auf einem Papierschirm auffangen und erhält dann eine Erscheinung, wie sie prächtiger nicht gedacht werden kann. Kein Maler könnte die Farben so rein wiedergeben. Ein derartiges Farbenband nennt man ein „Spektrum“.

Wirklich gute Prismen von Flint- und Crownnglas sind bei einiger Größe sehr teuer. Wir machen aber auch nicht die Ansprüche des Physikers und können schon viel billiger zu einem einfachen Prisma

kommen, ja, wenn wir ein viereckiges Aquarium besitzen, kostet es gar nichts, denn zwei seiner zusammenstoßenden Seiten lassen sich mit dem Flüssigkeitsinhalt immer für einen prismatischen Apparat ansehen. Um mit Hilfe eines Aquariums ein Spektrums zu entwerfen, verfahren wir nach der Fig. 87. Wir suchen ein Zimmer an der Sonnenseite auf, am besten ein östliches oder westliches — ein südliches eignet sich weniger, da die Sonne in dieser Richtung sehr hoch steht — und verdunkeln das Fenster, zuletzt mit einem Pappstück, in dem sich ein senkrechter, 2 cm breiter und 10 cm langer Schlitz befindet. Man sieht durch ihn das Sonnenlicht als breites Band hereindringen. Auf den Weg der Sonnenstrahlen stellt man das Aquarium, wie die Zeichnung es andeutet, und erhält sofort ein prachtvolles Farbenband auf einem dahinter aufgespannten Stück Papier. Man dreht das Aquarium hin und her und bemerkt, daß je nach der Stellung desselben die Farben mehr oder weniger weit auseinandertreten, das Spektrum wird länger oder kürzer, ist aber am strahlendsten, wenn es so kurz als möglich ist. Steht die Sonne hoch und fallen die Strahlen sehr schräg ein, so erhält man ein verzerrtes, schiefes Spektrum. Es ist dies für uns aber nur ein Schönheitsfehler, der übrigens vermieden werden kann, wenn vor dem Fenster ein nicht zu kleiner Spiegel angebracht wird, der die Sonnenstrahlen auffängt und in horizontaler Richtung auf den Spalt wirft. Da die Sonne aber nach West fort-rückt, vormittags steigend, nachmittags fallend, so muß der Spiegel fortdauernd der Sonne nachgedreht werden, was nur durch eine komplizierte Schnurlaufeinrichtung oder gar ein Uhrwerk geschehen kann, da das Fenster geschlossen bleiben muß. Zum Besten unserer Leser sei daher erzählt, wie sich der Verfasser als Junge einmal auf andere Art geholfen und ein sehr schönes Spektrum zustande gebracht hat.

Es wurde am unverhüllten Fenster ein Topf mit Erde aufgestellt. In dieser steckte ein Stab, der oben einen schräg abgeschnittenen großen Kork mit einem aufgekitteten Spiegelstück trug. Das Fenster ging nach Süden hinaus und die Sonne stand hoch, was für den Spiegelversuch gerade gut war. Durch den Spiegel wurde das Sonnenlicht in horizontaler Richtung nach einem dunkeln Hinterzimmer geleitet und dessen Doppeltür so weit geschlossen, daß das Licht hier durch eine schmale Ritze, die von oben und unten durch vorgehängte Tücher bis auf etwa 10 cm Länge begrenzt wurde, fallen mußte. So war in wenigen Minuten alles geschaffen, der horizontale Lichtstrahl, der Spalt

(in seiner Breite sogar regulierbar) und der dunkle Raum für das Experiment. Das Spektrum durch ein schräg gestelltes Aquarium entworfen, genügte allen billigen Ansprüchen. Von Zeit zu Zeit war es nötig, den Lichtstrahl wieder auf die Türriße zu richten, was aber durch Drehen und Drücken des Stabes im Blumentopf ohne jede Schwierigkeit geschah.

Eine andere einfache Art, ein Spektrum zu erzeugen, gibt Hopkins an. Allerdings erfordert seine Anordnung eine Verdunkelung des Zimmers bis auf einen schmalen, diesmal horizontalen Spalt in einiger Höhe am Fenster, sie hat aber den Vorteil, auch bei hohem Sonnenstande ein unverzerrtes Spektrum zu liefern. Hat man den

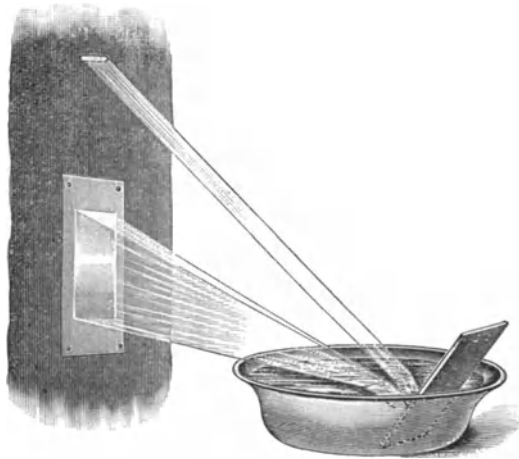


Fig. 88. Die Wachsenschüssel als Prisma.

horizontalen Spalt hergestellt und so ein breites, schräg abwärts gerichtetes Lichtband erhalten, so bedarf es nur noch einer fast bis zum Rande gefüllten Schüssel mit Wasser und eines Spiegelstückes ohne Rahmen von etwa 12 cm Breite und 20 cm Höhe. Der Lichtstrahl (Fig. 88) wird unter Wasser an dem schräg in die Schüssel gestellten Spiegel aufgefangen und wieder in die Luft zurückgeworfen. Dabei erleidet er eine zweimalige Brechung, aber auch eine Auseinanderlegung in seine Farbenbestandteile. Man fängt das Spektrum auf einem Blatt Papier unterhalb des Spaltes auf und hat es dann natürlich nicht mit einem horizontalen, sondern vertikalen Farbenbände zu tun. Rot liegt oben, Blau unten.

* **Was das Prisma verrät.** Will man nicht gerade das Spektrum auf einem Schirm auffangen und vielen zugleich zeigen, so genügt schon ein ganz kleines Prisma, um die Erscheinungen für die eigene Person wahrnehmen zu können. Ja, sie sind dann womöglich noch reiner und schöner. An Stelle des Schirmes tritt die Netzhaut des Auges.

Kann man ein Prisma aus Flintglas bekommen, so ist es für den Versuch, auch wenn es noch so klein ist, vielmal mehr wert als

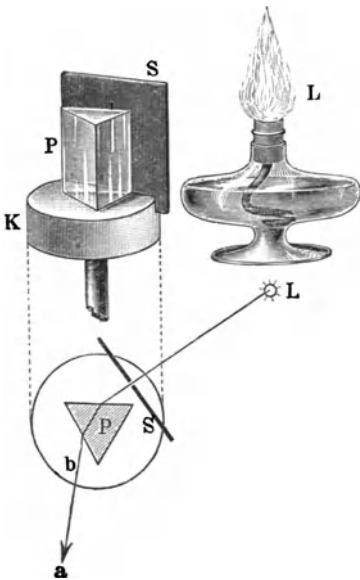


Fig. 89. Ein billiges Spektroskop.

alle großen Prismen aus gewöhnlichem Glas. Man kann sehr bescheiden sein, eine Höhe von 2 cm, ja selbst von nur 1 cm reicht völlig aus. Der Preis für derartig kleine Prismen ist immerhin noch erschwinglich, namentlich, wenn sie etwas beschädigt sind. Wenn nur noch zwei Seiten gut erhalten sind, kann man das Prisma ruhig nehmen und etwas abgestoßene Kanten schaden gar nichts.

Das kleine Flintglasprisma befestigt man nun auf einem Kork *K* (Fig. 89) nicht mit Leim, der das Prisma beschädigen würde, sondern, indem man den Kork etwas ausschneidet und das Prisma festklemmt.

Der Kork erhält unten einen Stiel als Handhabe. Vor das Prisma macht man einen Schnitt und klemmt in ihm ein schwarz gestrichenes ebenes Kartonstückchen fest, in das man mit einem scharfen Messer einen Schlitz schneidet, nicht länger als $\frac{1}{2}$ cm und nicht breiter als $\frac{1}{2}$ mm. Man kann sogar noch ein zweites Plättchen mit einem womöglich noch engeren Spalt in Bereitschaft halten. In Pappe wird man ihn freilich nicht mehr schneiden können, dagegen läßt er sich leicht in Stanniol herstellen. Ein Blättchen Stanniol wird auf ein Glasplättchen, so groß als vorhin der Karton, geklebt und mit Lineal

und Messer ein winziger Spalt hineingeschnitten. Man kann so, je nach der Breite der Messerschneide, Spalte von $\frac{1}{10}$ mm Breite und noch weniger anfertigen. Nur hat man dafür zu sorgen, daß dort, wo der Spalt hinkommen soll, kein Klebemittel sitzt. Die unter der Figur befindliche Aufsicht zeigt, in welcher Richtung zum Prisma der Kerb in den Kork geschnitten werden muß.

Damit ist das Instrument, dessen Höhe im ganzen nicht mehr als 5 cm zu betragen braucht, fertig. Man kann mit ihm jederzeit das Spektrum einer Lichtquelle schauen, es ist ein „Spektroskop“, freilich in seiner allereinfachsten Form. Die Spektroskope der Physiker und Astronomen sind viel umfangreicher und kosten oft viele Tausende von Mark. Was aber jeden denkenden Menschen interessieren muß, sieht man an unserem Apparat ebensogut. Seine Benutzung erfordert allerdings einige Übung, und der Anfänger wird leicht auf der Suche nach dem Spaltbild die Geduld verlieren. Die Aufsicht unseres Spektroskopes zeigt den Gang der Strahlen, die von einer Lichtquelle L durch den Spalt P fallen. Sie werden hier in der bekannten Weise zweimal gebrochen und treten schließlich in der Richtung ba in die Luft aus. In ihr scheint für das Auge die Lichtquelle zu liegen. Will man daher den Apparat anwenden, so hält man ihn senkrecht, tritt etwas seitlich zur Lichtquelle, dreht den Apparat so, daß die Strahlen lotrecht auf den Spaltschirm fallen und visiert mit dem Auge in der Richtung ab . Man wird ein herrliches Spektrum wahrnehmen, das zwar um so dunkler wird, je enger der Spalt ist, aber auch um so farbenreiner.

Sollte das Spektrum an seinen Rändern zu verwaschen erscheinen, so rückt man zweckmäßig den Spalt vom Prisma ab und mehr nach der Flamme zu. Eine geeignete Befestigung für ihn wird sich leicht finden lassen.

Einmal im Besitz dieses Instrumentes, regt sich in uns natürlich die Begierde, möglichst viel Lichtquellen mit ihm auf ihre Farbenbestandteile zu untersuchen. Wir lassen den Spalt nacheinander erleuchten durch eine Kerze, eine Lampe, einen Auerbrenner, ohne aber einen wesentlichen Unterschied der Spektren wahrzunehmen. Immer erscheint das glänzende Lichtband, bei dem eine Farbe unmerklich in die andere übergeht, nur daß vielleicht beim Auerbrenner das Blau kräftiger leuchtet als bei der Kerze. Dann untersuchen wir eine Spiritusflamme. Sie leuchtet so gut wie gar nicht, und das

Spektrum ist daher sehr matt, kaum sichtbar. Bringt man jedoch ein feines Glasröhrchen in die Flamme, so färbt sie sich nach kurzer Zeit durch den Natriumgehalt des Glases gelb und leuchtet ziemlich kräftig. Wir erwarten nun, ein helleres Spektrum zu sehen, können aber trotz aller Bemühungen nichts erkennen als eine helle gelbe Linie genau an derselben Stelle, wo wir sonst das Gelb im Spektrum zu finden gewohnt sind. Der glühende Natriumdampf ist mithin ein ganz merkwürdiger Körper, es sendet weder rote, noch grüne, noch blaue Strahlen, sondern einzig und allein gelbe aus. Das verrät das Prisma, aber es plaudert noch mehr Geheimnisse aus. Wir streuen etwas Kochsalz auf den Docht, wieder wird die Flamme hell und wieder erscheint an derselben Stelle die helle gelbe Linie. Was bedeutet das? Nun, doch sicherlich nichts anderes, als daß im Kochsalz Natrium enthalten ist. Der Chemiker bestätigt unsere Vermutung, Kochsalz ist Chlornatrium, eine chemische Verbindung von Natrium und Chlor.

Für die weiteren Versuche gibt uns der Apotheker vielleicht etwas Lithiumchlorid und Strontiumchlorid ab. Es genügen Spuren von jedem Stoff. Ist alles Kochsalz in der Flamme verdampft und diese wieder völlig farblos, was oft sehr lange dauert — man nimmt daher besser eine andere Spiritusflamme — so streut man etwas Lithiumchlorid auf den Docht, oder besser noch, man drückt einen der kleinen Kristalle in das Ohr einer Stopfnadel und steckt diese so tief in den Docht, daß die Flamme den Kristall umspült. Es wird sogleich ein rötliches Licht entstehen, und im Spektroskop erscheinen zwei scharfe Linien dicht beieinander, von denen die eine rot, die andere orange leuchtet. Wo immer in der Welt Lithiumdämpfe glühen, werden im Spektroskop diese beiden Linien zu sehen sein. Derselbe Versuch, mit Strontiumchlorid wiederholt, ergibt ebenfalls eine rötliche Flamme, aber das Prisma zeigt einen wesentlichen Unterschied, es erscheinen nämlich drei Linien, die eine im roten, die andere im gelben, die dritte im blauen Teile des Spektrums. Das Spektroskop wird beide Stoffe niemals miteinander verwechseln. Es liefert für jeden Stoff, mögen die Linien auch noch so zahlreich werden, ein charakteristisches Spektrum, das nur allein eben diesem Stoff und keinem sonst zukommt. Mögen auch die Stoffe durcheinander gemischt sein und ihre Gase vereint glühen, immer wird uns der erfahrene Physiker nach einem Blick durch das Prisma sagen können, welche Stoffe sich in der Flamme befinden. Seine Wissenschaft ist die „Spektralanalyse.“

Man hat herausgefunden, daß allemal dann das Spektrum zusammenhängend, wie bei einer Kerze ist, wenn es sich um einen festen, glühenden Körper handelt. In der Kerze glühen sehr kleine, aber feste Kohlenstoffteilchen. Ist der leuchtende Körper aber ein glühendes Gas, dann erscheint ein Linienspektrum.

Zu allen Zeiten ist die Sehnsucht nach der Erkenntnis der fernen Gestirne im Menschenherzen mächtig gewesen. Schon das Volksliedchen sagt:

Funkle, funkle, schöner Stern,
Was du bist, wie wüßt' ichs gern.

Doch kein Bote wird jemals in jene fernsten Tiefen des Himmelsraumes gelangen, und die Kraft unserer Fernrohre erlahmt machtlos an den ungemessenen Entfernungen, die der zitternde Lichtstrahl in vielleicht erst Jahrtausenden durchhirt. Niemand ahnte, daß diese Lichtstrahlen etwas zu sagen hatten, bis man das verachtete, kantige Stückchen Glas schätzen lernte. Es gibt Antwort auf unsere Fragen. Man schaut hindurch nach einem Stern, und eine Reihe wohlbekannterer glänzender Linien erscheint. Was bedeuten sie? Zunächst, daß der Stern, dessen Größe, dessen Entfernung uns vielleicht völlig unbekannt bleibt, in seiner Heimat eine Sonne ist von ungeheurer hoher Temperatur, denn wie sollten wohl sonst feste Körper an seiner Oberfläche zu glühenden Gasen werden? Die Linien verraten auch die Namen der Gase, es sind Eisen, Nickel, Wasserstoff, Stickstoff und andere mehr, kurz Stoffe, die auch auf unserer Erde heimisch sind. Ihr Vorkommen auch in fernsten Räumen beweist den einheitlichen Bau des Weltgebäudes.

Der Farbkreis. Man kann die Farbenstrahlen eines Spektrums durch eine Sammellinse wieder zusammenziehen und auf einen Fleck vereinigen. Dieser Fleck ist dann völlig weiß. Einen schlagenderen Beweis für die Farbmatur des weißen Lichtes dürfte man kaum erbringen können.

Auch auf andere Weise gelingt es, die Spektralfarben wieder zu Weiß zu vereinigen.

Eine mit weißem Papier überzogene und auf den akustischen Kreis (S. 130) passende runde Pappscheibe wird durch Linien von der Mitte aus in verschieden große Sektoren eingeteilt. Sie werden mit den Spektralfarben bemalt, wobei man darauf achtet, daß, wie

im Spektrum, das Violett den größten, das Orange den kleinsten Platz einnimmt. Fig. 90 zeigt, wie die Farben zu verteilen sind. Man trage dünn auf, wähle aber doch möglichst reine, leuchtende Farben. Das Bekleben der Sektoren mit bunten Papieren ist weniger zu empfehlen, da man sie schwer in der richtigen Färbung erhält.

Läßt man die Scheibe auf dem Kreisel rasch umlaufen, so erscheint sie, hell beleuchtet, völlig grau, ohne daß irgend eine Farbe hervorsticht. Grau ist aber nichts anderes, als ein schwach leuchtendes Weiß.

Niemand wird glauben, daß sich die Farben auf der Scheibe mischen. Sie bleiben hübsch nebeneinander, mag sie sich nun so schnell drehen, wie sie will. Die Verschmelzung geschieht auf der Netzhaut unseres Auges, das die Eigenschaft hat, Eindrücke länger zu empfinden als sie dauern und das daher, obgleich die Farben nacheinander auf die Netzhaut fallen, Rot, Gelb, Grün, Blau zugleich sieht. So entsteht der Eindruck des Weißes.

Von der richtigen Wahl der Farben hängt ungemein viel ab, und wenn man trotz aller Mühe kein reines Weiß zustande bringt, so beweist das nichts gegen unsere Theorie, sondern eben nur, daß die Farbstoffe an Leuchtkraft und Reinheit mit den prismatischen Farben nicht wetteifern können.

Wer keinen Kreisel besitzt, kann die Farben auch auf ein Garnröllchen malen und mit der Aufspulvorrichtung der Nähmaschine in Umdrehung versetzen.

Farben in heller Beleuchtung schwarz erscheinen zu lassen.

Eines der überraschendsten Experimente, das zugleich Aufschluß gibt über die Natur der Körperfarben, kann man mit dem Sonnenspektrum anstellen, wie wir es mit Hilfe des Aquariums erzeugten. Bedingung ist nur, daß der Raum, in dem das Spektrum zu sehen ist, wirklich dunkel ist. Wie es sich mit den Farben der Körper verhält, wollen wir aber gleich vorweg sagen. Daß ein Gegenstand gefärbt, z. B. rot

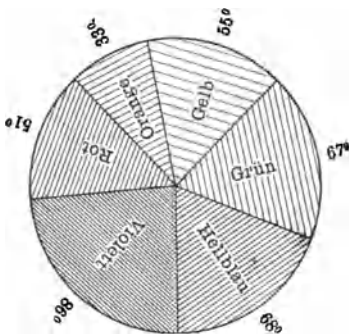


Fig. 90. Scheibe zum Farbkreisel.

erscheint, ist eine Eigenschaft, eine Fähigkeit von ihm gegenüber dem weißen Licht, denn im Dunkeln ist die Farbe verschwunden. In weißer Beleuchtung fallen mit und in dem weißen Licht alle Farbenstrahlen auf ihn, er wirkt aber nur für einen von ihnen als Spiegel, für den roten nämlich, den er in unser Auge zurückwirft; alle anderen verschluckt er, wodurch sie für uns unsichtbar werden. Daher erscheint er uns rot. Ein anderer Körper macht dasselbe Experiment vielleicht mit den grünen Strahlen, ihn nennen wir grün, da von ihm aus nur grünes Licht in unser Auge fällt, uff. Ein schwarzer Körper hat die Fähigkeit, alle Strahlen zu verschlucken, es gelangt kein einziger Lichtstrahl in das Auge, und ein weißer Körper wirft alle Strahlen zurück, die, wie bekannt, in ihrer Gesamtheit den Eindruck Weiß hervorrufen.

Trotzdem wir nun mit dieser Wissenschaft ausgerüstet sind, wird immer noch folgendes Experiment einen verblüffenden Eindruck auf uns machen. Wir nehmen einen schmalen zinnoberroten Papierstreifen und halten ihn in die roten Strahlen des Spektrums. Er leuchtet prächtig rot. Der gelbe Teil des Spektrums ist womöglich noch heller als der rote und veranlaßt uns, das Papier nach ihm hinüber zu schieben. Aber was ist mit ihm nur geschehen? Es hat plötzlich alle Farbe verloren und sieht kohlschwarz aus, wie ein Stück schwarzer Sammet und verändert sich auch nicht im grünen und blauen Licht, nur im roten erhält es seine Leuchtkraft wieder. Eigentlich liegt die Erklärung auf der Hand. Ein Körper, den wir rot zu nennen pflegen, hat die Eigenschaft, allein die roten Strahlen zurückzuwerfen. In gelber, grüner, blauer Beleuchtung wirft er kein Licht zurück und erscheint daher schwarz. Wir sehen einen Körper immer nur dann und bezeichnen ihn als hell, wenn von ihm aus Lichtstrahlen irgendwelcher Art in unser Auge gelangen. Wollten wir den Versuch mit einem grünen Streifen wiederholen, so würde dieser nur im grünen Licht hell, in jeder anderen Beleuchtung aber schwarz erscheinen. Orange ist aus Rot und Gelb gemischt, ein so gefärbter Streifen hat mithin die Eigenschaft, sowohl das Rot als auch das Gelb zurückzuwerfen. Er erscheint im roten Teile des Spektrums rot, im gelben gelb, in allen anderen schwarz. So kann man im Spektrum jede Farbmischung auf ihre Bestandteile hin untersuchen.

Es ist jedoch nicht unbedingt nötig, immer ein Spektrum für den Versuch zu haben. Wir wissen bereits, daß ein Glasröhrchen, mit seinem Ende in eine Weingeistflamme gehalten, durch Natrium-

verdampfung eine allein gelbe Beleuchtung hervorbringt. In ihr werden daher alle nicht gelben Körper schwarz erscheinen müssen und daher gewährt denn ein Blumenstrauß im Natriumlicht einen mehr als sonderbaren Anblick. Alle Farbe ist gewichen, die Blätter machen einen düsteren, uralten Eindruck, die roten, eben noch so frischen Rosen sind fast schwarz und nur die weißen und gelben Blumen leuchten hell. Wenn die Blätter, obgleich sie sonst grün erscheinen, doch nicht völlig schwarz werden, so liegt das an geringen gelben Farbenbestandteilen, die sie neben den grünen enthalten. Die Gesichter der Umstehenden aber sehen wahrhaft schreckhaft aus. Jede Färbung ist aus ihnen gewichen. Das Wangenrot ist verblüht, Lippen und Zahnfleisch sind aschfahl geworden und die Augen haben einen leeren, stieren Ausdruck angenommen. Es graut uns fast, in dieser Gesellschaft zu sein, und wie befreit atmen wir auf, wenn eine entzündete Kerze mit ihrem weißen Licht den Dingen Farben und Leben wieder zurückgibt.

Einen Buchstaben in heller Beleuchtung verschwinden zu lassen. Dieser Versuch bedarf einiger Vorbereitungen, wenn man ihn mehreren zugleich zeigen will. Zunächst muß das Zimmer völlig verdunkelt werden, bis auf eine etwa zwei Hände große Öffnung, zu der das helle Tageslicht hereinfällt. Diese Öffnung kann nacheinander mit einer blauen, grünen oder roten Glasscheibe bedeckt werden.

Zweitens muß man auf weißem Papier einen Buchstaben mit rotem Zinnober malen. Schreibpapier, besser aber noch ein Kartonstück von mattem Glanz, ist gut geeignet. Bringt man den Buchstaben in das verdunkelte Zimmer und läßt durch die Öffnung weißes Licht herein, so leuchtet der Buchstabe hellrot auf hellweißem Grunde. Das erscheint selbstverständlich, bedarf aber doch einer kurzen Erklärung. Der Untergrund erscheint weiß, weil er die Eigenschaft hat, sämtliche Farben zu reflektieren. Da weißes Licht auf ihn fällt, ist ihm hierzu Gelegenheit gegeben. Der Buchstabe dagegen reflektiert nur Rot, und da das weiße Licht Rot auch enthält, kann er rot erscheinen.

Nun schieben wir eine blaue Scheibe vor die Fensteröffnung und sofort zeigt sich eine Veränderung. Der Untergrund ist mit der Beleuchtung mitgegangen, er ist blau geworden, der Buchstabe aber hat seine rote Farbe verloren und erscheint dunkel. Unsere Leser werden um die Erklärung nicht verlegen sein. Der Untergrund kann Blau reflektieren, der Buchstabe nicht. Auch einer grünen Beleuchtung gegen-

über verändert er sein Schwarz nicht, während der Untergrund grün wird. Um bei dem Wechsel der Scheiben nicht inzwischen durch weißes Licht gestört zu werden, deckt man die rote Scheibe über die grüne und zieht diese hinter der roten vorsichtig hervor. Nun ist das Zimmer hellrot erleuchtet. Wir erkennen deutlich jeden Gegenstand, jeden Stuhl, den Ofen, den Tisch, aber nach unserem Buchstaben suchen wir vergebens. Wo er gegessen hat, sehen wir nur noch ein hell erleuchtetes, leeres Papier. Auf jeden Unbefangenen muß dieses Experiment einen gewaltigen Eindruck machen, obgleich seine Erklärung im Grunde nicht schwerer ist als die der vorangegangenen Versuche auch. Der Untergrund hat die Fähigkeit, die auf ihn fallenden roten Strahlen zu reflektieren, der Buchstabe aber ebenfalls, daher erscheinen beide gleich hell, sind voneinander nicht zu unterscheiden und der Buchstabe ist scheinbar auf dem Untergrund nicht mehr vorhanden.

Zweierlei ist jedoch für das Gelingen des Versuches unbedingt nötig: ein wirklich gutes Zinnober, das nur rot ist und keinerlei Beimengung anderer Farben hat, und Scheiben, die außer Grün, Blau und Rot nicht noch andere Strahlen hindurchlassen. Die rote Scheibe bekommt man noch am ehesten, sie darf nicht den geringsten Stich ins Bläuliche haben, schwerer schon die blaue, selten gut nur die grüne, die fast immer auch etwas Rot hindurchläßt.

Man kann den roten Buchstaben auch auf schwarzem Sammetgrund malen. Dann ist er, wie sich unsere Leser selbst sagen können, nur in roter Beleuchtung zu sehen, in jeder anderen verschwunden.

Jede Verdunkelungsvorrichtung kann entbehrt werden, wenn man das Experiment nur für sich selbst anstellen will. Dann braucht man nur den Buchstaben in helles Licht zu rücken und ihn durch die bunten Gläser zu betrachten.

★ **Ein leuchtender Wasserstrahl.** Auf S. 248 sahen wir, daß ein schräg von Luft in Wasser übergehender Lichtstrahl im Wasser dem Einfallslot zu gebrochen wird, und wurden uns darüber klar, daß auch der umgekehrte Strahlenweg vom Wasser in die Luft möglich sei. Freilich muß nun hier eine kleine Einschränkung gemacht werden. Während nämlich der Strahl von Luft nach Wasser unter allen Umständen übertritt, kann der aus dem Wasser kommende Strahl nicht immer in die Luft hinaus. Das ist nur der Fall, wenn der Winkel α (Fig. 91, A), unter dem der Strahl gegen die Trennungsfäche von

Wasser und Luft tritt, nicht zu klein wird. Geschieht dies, wie in der Darstellung B, so tritt kein Licht in die Luft über, da die Trennungsfäche nun wie ein Spiegel wirkt und den Strahl nach den einfachen Spiegelgesetzen wieder in das Wasser zurückschickt. Man kann sich davon leicht überzeugen, wenn man von unten schräg gegen die Wasseroberfläche eines Aquariums blickt, man sieht dann in dieser Fläche den Fußboden sich spiegeln. In einem solchen Falle spricht der Physiker von einer totalen Reflexion des Lichtes an der Trennungsfäche. Man kann sie kaum effektvoller zeigen als durch folgendes Experiment.

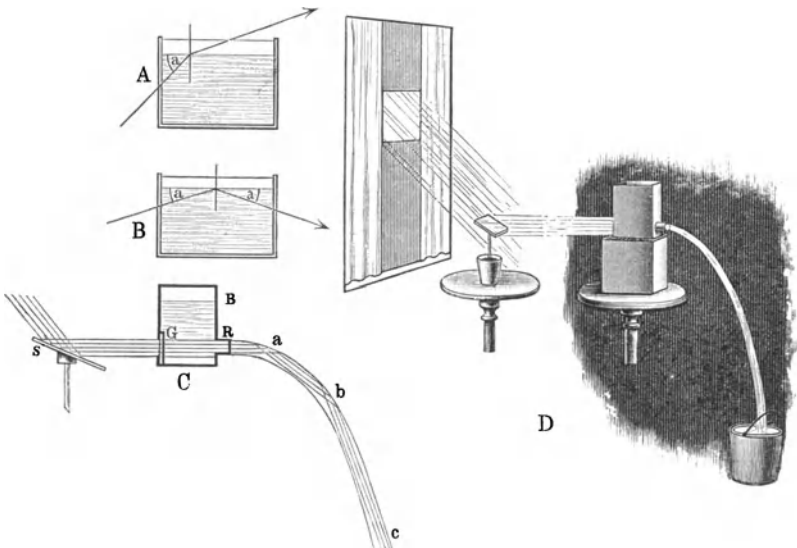


Fig. 91. Ein leuchtender Brunnen.

(Fig. 91, C und D.) Ein schräg durch das Fenster einfallendes Bündel Sonnenstrahlen wird durch einen Spiegel *S* horizontal nach einer dunkeln Ecke des Zimmers oder besser noch nach einem finstern Flur geworfen. Der Spiegel ist, um ihn den Sonnenstrahlen nachrücken zu können, nach unserem bewährten Rezept (S. 254) mit Kork und Stab in einem Blumentopf befestigt. Es handelt sich darum, den Lichtstrahl in einen Wasserstrahl hineinzuleiten. Dazu wird eine große, starkwandige Tee- oder Kefsbüchse *B* an zwei gegenüberliegenden Seiten, nahe dem Boden, mit zwei Löchern versehen, von denen das eine, etwa 6 cm weite, mit einer Glasplatte *G* verschlossen

wird und das andere, halb so große, einen Blechrohransatz R von einigen Zentimetern Länge erhält. Ansatz R wird mit einem Kork verschlossen. Die Glasplatte kittet man am besten mit dem schon bekannten Wachskolophoniumkitt fest. Sie muß reichlich weit über den Rand greifen, und keine Spur von Wasser darf sich beim Kitten auf dem Blech befinden. Ist dieses zu dünn, dann wird bei jeder Bewegung des Kastens die Scheibe wieder abplagen. Man verschmiere sie zur Sicherheit auch an ihrem Rande dick mit dem heiß aufgetragenen Kitt.

Ist so der Kasten fertiggestellt, dann gibt man ihm eine erhöhte Stellung auf einem Tisch, so daß der Lichtstrahl vom Fenster genau durch die Glascheibe G und das Gefäß in die Blechtülle R fällt. Darauf füllt man es mit Wasser, das durch Milchzusatz etwas getrübt werden kann.

Sobald man den Stopfen öffnet, wird das Wasser in einem dicken zusammenhängenden Strahl in einen untergestellten Eimer fließen. Auch dem Licht wird ein Ausweg gebahnt, es tritt in den Wasserstrahl und trifft sehr bald, da es sich geradlinig fortpflanzt, der Strahl aber gekrümmt ist, bei a auf die Scheidgrenze von Wasser und Luft. Der Winkel, unter dem er dies tut, ist jedoch sehr klein und es tritt der Fall der völligen Zurückwerfung ein, d. h. die Grenzfläche wirkt wie ein Spiegel und leitet das Licht durch den Wasserstrahl nach b , wo sich dieselbe Erscheinung wiederholt. Es wird nach c reflektiert usw. Man steht daher vor der bemerkenswerten Tatsache, daß ein einmal in dem Wasserstrahl gefangener Lichtstrahl diesen nicht wieder verlassen kann. Und der Erfolg? Die Lichtstrahlen erleuchten die in dem Wasser dahinströmenden Milchteilchen und erwecken den Eindruck weißflüssigen, glühend dahinrauschenden Metalles. Man kann sich kaum einen schöneren Anblick denken, der noch erhöht wird durch Absperrung allen überflüssigen Lichtes im Zimmer, und wenn man vor die Glascheibe eine Sammellinse setzt, deren Brennpunkt in der Ausflußöffnung des Wassers liegt. Da das Wasser die Brennweite etwas vergrößert, ist eine Linse gerade recht, deren Brennweite in Luft zwei Drittel der Entfernung GR beträgt. Bunte, aber nicht zu dunkle Glascheiben, in den Gänge der Strahlen gehalten, steigern die Wirkung ebenfalls. Das Licht zieht sich hinab bis zum Eimer, wo die letzten Spritzer noch wie Diamanten funkeln, namentlich, wenn man das Wasser mit etwas Milch ein klein wenig trübt.

Man hat das Experiment ins große übertragen und namentlich auf Ausstellungen gewaltige Springbrunnen mit innerer Erleuchtung der Wasserstrahlen aufgestellt. Sie üben, besonders im Wechsel farbigen Lichtes, auf den Beschauer einen magischen Zauber aus.

Sehr einfach und ohne Kosten, wenn auch nicht so schön, kann man denselben Versuch auch folgendermaßen anstellen: Man leitet das Sonnenlicht von einem am Fenster aufgestellten Spiegel auf den

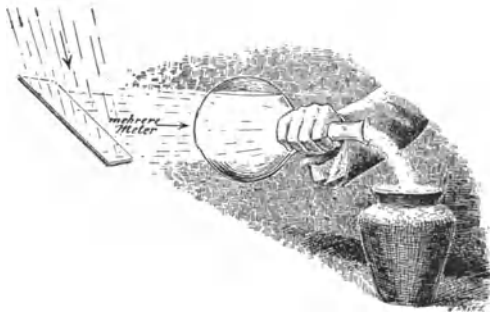


Fig. 92. Leuchtender Wasserstrahl.

Boden einer mit etwas getrübttem Wasser (Milchzusatz!) ganz gefüllten, runden und zierlosen Wasserflasche. Der — leider ruckweise — ausfließende Wasserstrahl leuchtet lebhaft und erfüllt auch einen untergestellten Topf mit seinem Licht (Fig. 92). Den Versuch macht man in einer dunkeln Zimmerecke.

Eine Fata Morgana über der heißen Herdplatte. Die Fee Morgana, nach der Sage die zauberkundige Stiefschwester des mythischen Königs Arthur, soll ihre Macht in allerhand irreführenden Luftspiegelungen gezeigt haben und noch heute zeigen. Was an der Fee Wahres ist, wissen wir nicht, mit den Luftspiegelungen aber hat es seine Richtigkeit. Sie lassen sich erklären aus den eben erörterten Gesetzen der Brechung und der totalen Reflexion.

(Fig. 93). Über dem heißen Wüstenboden lagern sich oft verschieden warme und darum auch verschieden dichte Luftschichten ab, die heißen zu unterst, die kälteren darüber. Fällt ein, etwa von einem Palmenvipfel ausgehender, Lichtstrahl (b) schräg auf diese Schichten, so wird er gerade so gebrochen — nur nicht so stark — als ginge er

von Wasser in Luft über, also vom Einfallskote fort. Dadurch trifft er die nächsten Schichtengrenzen unter immer kleinerem Winkel, und schließlich ist dieser einmal so klein geworden, daß es mit der Brechung nicht weiter geht und der Fall der totalen Reflexion eintritt. Die reflektierte Schicht wirkt dann wie ein Spiegel, in dem der Wüstenreiter ein umgekehrtes Bild der Palme sieht. Wo sollte sie sich wohl sonst spiegeln als im Wasser? Wasser, langentbehrtes und ersehntes

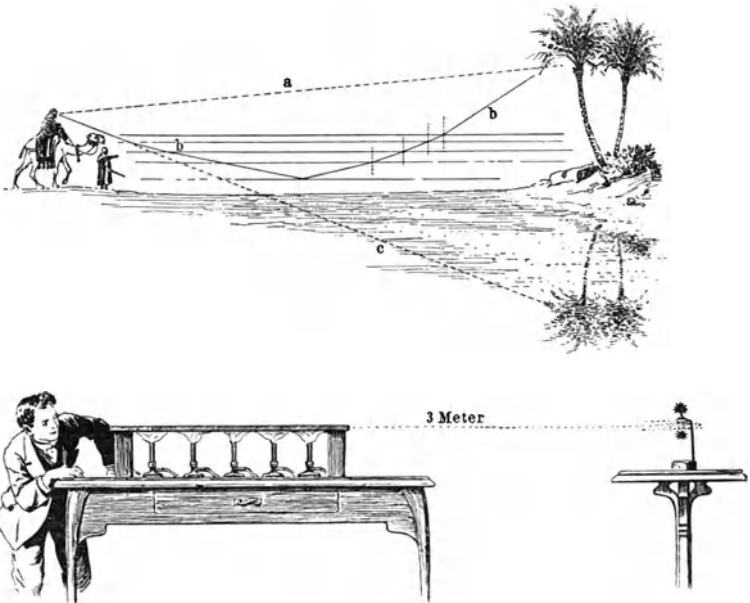


Fig. 93. Eine künstliche Fata Morgana.

Wasser zeigt sich. Hierig stürzen Menschen und Tiere auf die Tränke zu, um nichts zu finden, als den nackten heißen Wüstenboden. Wahrlich die Fee Morgana ist grausam. Der Araber freilich weiß von ihr ebensowenig etwas, wie von einer Luftspiegelung, er nennt die äffende Erscheinung sehr bezeichnend „Sehrab“, d. h. „geheimnisvolles Wasser“.

Auf unserer Zeichnung sind die Verhältnisse insofern falsch dargestellt, als der Reiter sich viel zu nahe an der Palme befindet. Bei einem so steilen Winkel kann in Luftschichten unmöglich schon eine totale Reflexion stattfinden.

Und nun reisen wir, um die Fata Morgana zu sehen, sofort nach — der Küche. Sie zeigt sich zwar auch hier, wie in der Wüste, nur selten und unter besonders günstigen Umständen, wird jedoch für den sehr aufmerksamen Beobachter bisweilen sichtbar, wenn er sich nämlich so weit langsam niederbeugt, daß sein Auge eben noch die Herdplatte, die in ihrer ganzen Ausdehnung sehr heiß, fast glühend sein muß, streift. Er kann dann bemerken, wie entfernte, in der Seehlinie liegende, sehr kleine Gegenstände (etwa kleine Stückchen Kreide, die in die richtige Höhe gebracht wurden) ein Spiegelbild unter sich zeigen. Der Verfasser benutzte für den Versuch eine 80 cm lange Eisenplatte (siehe die Abbildung), die durch fünf Bunsenbrenner sehr stark erhitzt war. Das Objekt, ein kleiner, aus weißem Papier geschnittener, 2 cm hoher Palmbaum, befand sich in 3 m Entfernung von der Platte. Seine Stellung konnte in der Höhe verändert werden. Es erschien ein sehr deutliches Spiegelbild, dessen Umrisse wie in fließendem Wasser schwankten.

An der Ost- und Nordsee kann man recht häufig beobachten, wie ferne Küstenstriche, etwas aus dem Wasser emporgehoben, scheinbar in der Luft schweben. Auch diese, von den deutschen Seefahrern „Kimmung“ genannte Erscheinung beruht auf einer Brechung und Spiegelung des Lichtes in ungleich erwärmten Luftschichten.

Farbenspiele im Fernrohr. Dieser Paragraph wendet sich an die Besitzer kleiner Fernrohre, denen es ein leichtes ist, sich fast ohne Kosten den Anblick eines Farbenspiels von seltener Pracht zu verschaffen. Wie freilich das Phänomen zustande kommt, können wir unseren Lesern leider nicht auseinandersetzen, da hierzu ein tieferes Eindringen in die Lehre vom Licht erforderlich ist. Durch langatmige und doch oberflächliche Erklärungen aber wollen wir ihnen die Freude an der schönen Erscheinung nicht verderben.

Man stellt das Fernrohr auf den Tisch und schaut mit ihm nach einem fernen, von der Sonne beleuchteten, glänzenden Gegenstande. In Ermangelung eines solchen kann man auch auf einen vor dem Fenster angebrachten, gut polierten Metallknopf oder eine glänzende Kugel vom Christbaum einstellen. Der strahlende Punkt muß den Beschauer förmlich blenden.

Vor das Objektiv des Fernrohres passend, fertige man sich eine Anzahl Pappdeckel, schneide sie jedoch so weit rund aus, daß nur der

Objektivrand, nicht aber die Linse bedeckt wird. Den Durchblick dürfen sie nicht behindern.

In den Deckelrand hinein klebt man runde Plättchen aus nicht zu dünnem Stanniol, aus denen man vorher auf einer Glasunterlage mit einem sehr scharfen Messer regelmäßig angeordnete, kleine Öffnungen (Fig. 94) herausgeschnitten hat. Es ist einem dabei ganz überlassen, die Öffnungen quadratisch oder schräg, groß oder klein zu machen, auch über ihre Anordnungen zu Sternen, Dreiecken und Kreisen wird keinerlei Vorschrift gemacht.

Bringt man ein derartiges Plättchen mit seinem Deckelring vor die vordere Öffnung des Fernrohres und richtet dieses auf den glänzenden Punkt, so wird man überrascht sein, eine sternartige Figur aus den herrlichsten, leuchtendsten Regenbogenfarben zu erblicken, die mit jedem neuen Plättchen wechselt, immer aber gleich wunderbar ist.

Man hat das auf S. 232 besprochene Spiegelinstrument ein Kaleidostop, einen „Schönseher“, genannt, im Vergleich jedoch mit den bunten, symmetrischen Erscheinungen im Fernrohr erscheint es ganz unbedeutend.

Die Anfertigung derartiger Stanniolscheiben erfordert einige Ruhe und Sorgfalt. Um sich Lust zu dieser Arbeit zu machen, kann man einen vorläufigen Versuch vornehmen, der gar keine Vorbereitungen erfordert. Man hält dann nur ein feines Drahtnetz oder einen engmaschigen Schleier aus Seidengaze vor das Objektiv und richtet das Rohr wiederum auf den entfernten glänzenden Punkt. Die Erscheinung ist fast ebenso schön, nur ist der Stern der vielen Öffnungen wegen weniger ausgebildet.

Unseren Lesern wollen wir im Vertrauen mitteilen, daß sie dieselbe Erscheinung, allerdings bei weitem nicht so ausgeprägt und schön, auch ohne Fernrohr oder alle sonstigen Vorrichtungen beobachten können, wenn sie nämlich des Abends durch die Poren eines aufgespannten Regenschirmes nach einer Laterne sehen. Auch hier zeigt sich daselbe

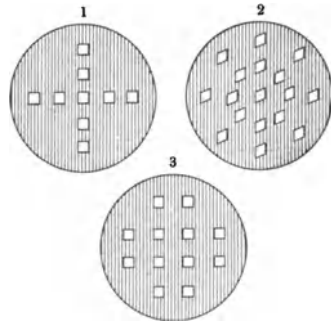


Fig. 94. Stanniolplättchen zu den Farbenspielen im Fernrohr.

bunte, strahlige Farbenspiel, besonders bei Regenwetter. Da man sich zu dem Versuch den Regenschirm borgen kann, so ist er der billigste des ganzen Buches, denn er kostet gar nichts.

*** Durchsichtige Körper bunt erscheinen zu lassen, ohne sie zu färben.** Und nun wollen wir gemeinsam einen Versuch anstellen, der ein ganz wunderbares und schier unbegreifliches Resultat liefert. Freilich überlegt sich der Verfasser, ob er ihn mitteilen soll,

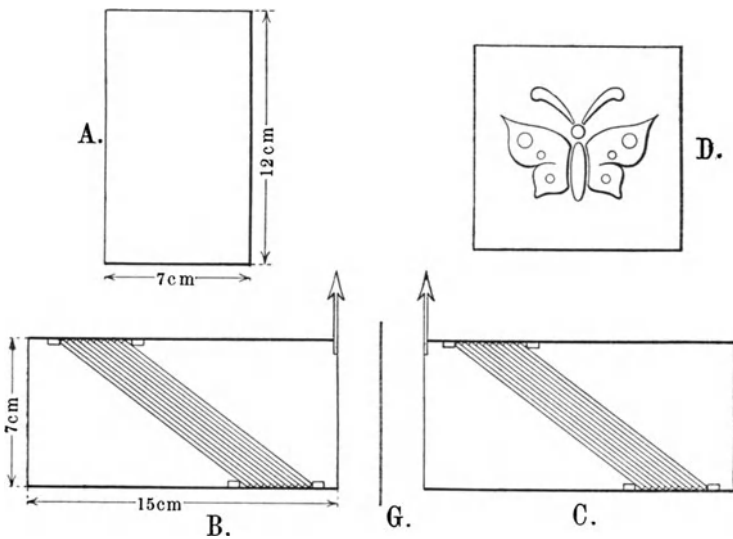


Fig. 95.

Vorrichtung, um farblose Glimmerstücke bunt erscheinen zu lassen.

denn wiederum kann er es nicht wagen, seinen jungen Lesern für das, was er ihnen zeigt, auch eine Erklärung zu geben. Sie setzt nämlich physikalische Vorkenntnisse voraus, wie wir sie erst ganz allmählich durch den Besuch der höheren Lehranstalten erwerben. Doch ist ja jedes Naturereignis ein Wunder, bis der rastlose Menschenggeist eine Lösung für das Rätsel gefunden hat, und es wäre verkehrt, einen Vorgang nicht auf sich wirken zu lassen, weil man im Augenblick keine Erklärung für ihn bei der Hand hat. Nur der, der bemerkt und staunt, forscht auch.

Die Sache verhält sich nun so. Wir halten in den Händen ein dünnes Blättchen Glimmer, wie wir es uns leicht aus einem Lampengeschäft, das Glimmerzylinder führt, beschaffen können. Gegen das Licht gehalten, erscheint es völlig klar, und niemand wird, wie er es auch drehen und wenden mag, eine Farbe an ihm erkennen. Wir wetten nun, imstande zu sein, für irgend einen Beobachter das Blättchen in den herrlichsten Farben prangend erscheinen zu lassen, während ein anderer zu gleicher Zeit an ihm auch nicht die leiseste Spur einer Färbung zu bemerken vermag. Das ist doch noch eine Wette! Aber keine Furcht, wir werden sie nicht verlieren. Freilich bedarf es einiger Vorbereitungen.

Abbildung 95 zeigt alles, was wir brauchen. Wir verfertigen uns zunächst zwei Kästen von starker Pappe, B und C, 15 cm lang und eine Kleinigkeit mehr als 7 cm hoch und breit, also von der Seite gesehen, quadratisch. An beiden Seiten jedoch bleiben die beiden Kästen offen, so daß man in der Längsrichtung durch sie hindurchblicken kann. Soll der Versuch gut gelingen, so müssen die Kästen im Innern geschwärzt werden, was mit einer aus Kienruß und Leimwasser hergestellten Farbe leicht geschieht; auch kann man sie mit stumpfem, schwarzem Papier überziehen.

Inzwischen haben wir uns vom Glaser in recht genauen Maßen einige Glascheiben schneiden lassen, 7 cm breit und 12 cm hoch (A). Sechs solcher Platten reichen schon für unseren Versuch aus, auch ist es nicht gerade nötig, Spiegelglas zu verwenden; gutes, ebenes, blasenfreies Glas genügt, nur stellen wir als Bedingung, daß es möglichst dünn sei. Erlauben es uns unsere Mittel, 12 oder gar 20 Platten anzuschaffen, so wird das Experiment freilich um vieles schöner.

Die Glasplatten werden auf beiden Seiten sorgfältig gepußt, aufeinandergelegt und so in die Kästen gebracht, daß in jeden von ihnen die gleiche Anzahl kommt. Da sie höher sind als breit, die Kästen aber quadratisch, so kann man sie in diesen nicht ganz aufrichten. Die Glasplatten kommen daher in eine geneigte Lage, in der sie durch vorgeleimte Pappstreifen befestigt werden, wie es die Figur deutlich zeigt. Nun sind wir eigentlich mit den Vorbereitungen fertig. Befestigen wir auf den Papphüllen in aufrechter Stellung zwei kleine Pfeile aus Holz oder Pappe, so erleichtern wir dadurch den Gebrauch der kleinen Vorrichtung.

Mit diesen unter einem bestimmten Winkel angebrachten Glasplattenfäßen hat es nun eine ganz sonderbare Verwandtnis. Sie zeigen

eine Erscheinung, die wie ein Wunder anmutet. Wir halten den ersten Kasten gegen das Fenster und können natürlich durch ihn hindurchsehen, wie wir ihn auch drehen mögen, ebenso selbstverständlich auch durch die Glasplatten des anderen Kastens. Nun wollen wir einmal beide Kästen hintereinander stellen, so wie die Figur es zeigt, daß nämlich beide Glasplattensätze in der gleichen Richtung geneigt sind und die beiden Pfeile nach oben zeigen. (Wohlverstanden also, immer so, daß die beiden Kästen vor dem Auge eine gerade Richtung miteinander bilden.) Wir sehen anstandslos auch durch die beiden Kästen hindurch, wennschon natürlich das Licht durch die größere Anzahl von Glasplatten eine Wenigkeit getrübt erscheint. Nun drehen wir den einen der Kästen — es ist gleich welchen — um 90° herum, so daß beide zwar noch eine Richtung bilden, die Pfeile aber gekreuzt sind. Jetzt trauen wir unseren Augen nicht. Obgleich doch beide Kästen nur Glas enthalten und obgleich wir durch jeden einzeln frei hindurchsehen können, vermögen wir es nicht mehr bei beiden Kästen, wenn die Pfeile gekreuzt sind. Drehen wir wieder zurück, so wird auch sofort der Durchguß wieder frei. Enthalten die Kästen nur wenige Platten, so ist zwar das Durchsehen bei gekreuzten Pfeilen nicht ganz unmöglich, aber doch sehr erschwert.

Doch damit noch nicht genug! Wir stellen die Kästchen vor das Fenster auf einen kleinen Tisch, genau in eine Richtung hintereinander und so, daß die Pfeile sich kreuzen, also der Durchguß nicht möglich ist. Dann halten wir die Glimmerplatte zwischen beide Kästen, so wie es die Abbildung bei G zeigt, und — nun können wir mit einem Schlage wieder durch beide Kästen hindurchsehen! Hat die Glimmerplatte außerdem gerade die richtige Dicke — wir können sie leicht durch Aufspalten mit dem Taschenmesser dünner machen —, so erstrahlt sie in einer prachtvollen Färbung, purpur, gelb, grün, blau, violett und natürlich nur für den Beobachter, der unsere wunderbare Vorrichtung benutzt, für jeden anderen ist das Blättchen unscheinbar und farblos. Der gute Freund wird die Wette verloren geben, aber gern bereit sein, mit uns noch einige Versuche anzustellen.

Wir haben sehr bald heraus, daß die Färbung des Glimmers von seiner Dicke abhängt. Denn wenn das Stück ungleich dick ist, erscheint es gleichzeitig in vielen Farben. Darauf gründen wir ein anmutiges Experiment. Wir spalten unser Glimmerstück in mehrere Tafeln und schneiden mit der Schere aus einer von ihnen irgend eine

Figur, z. B. einen Schmetterling aus. Eine Glasplatte, etwa so groß wie die Öffnung der Kästen, dient als Unterlage für ihn, als Befestigungsmittel verwenden wir klares Gummiarabicum. Durch Aufkleben weiterer Lagen sorgen wir ferner dafür, daß nicht alle Teile der Figur gleich stark sind, daß z. B. die Flügel aus einer Lage, Körper, Kopf und Fühler aus zwei Lagen, die auf die Flügel aufgesetzten Verzierungen im ganzen aus drei Lagen bestehen. Halten wir nun das an und für sich ganz farblose Gebilde zwischen die Kästen und schauen hindurch, so erblicken wir auf dunklem Grunde einen Schmetterling in den herrlichsten Farben, vorausgesetzt allerdings, daß die Gesamtstärke der Schichten nicht zu groß ist und am besten noch nicht einen Millimeter beträgt (Fig. 95, D).

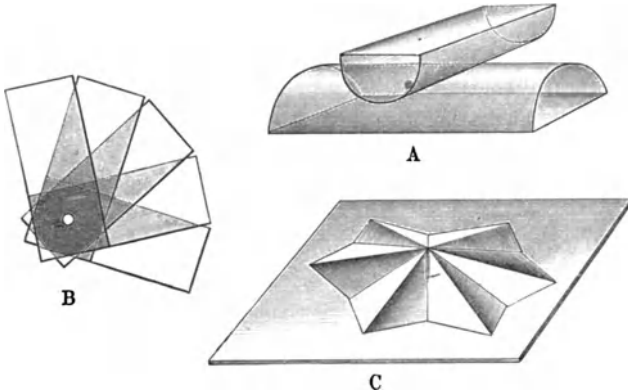


Fig. 96. Glimmerfiguren.

Drehen wir jetzt die Kästen wieder so, daß die Pfeile beide aufrecht stehen, so wollen wir wieder unseren Augen nicht trauen. Der Schmetterling ist ein ganz anderer geworden, alle Farben haben sich verändert. Waren die Flügel früher etwa blau, so sind sie nun gelb, war der Flügelschmuck grün, so ist er nun rot, ußf. Auch zeigt sich der Schmetterling auf hellem Grunde. Ganz entzückend wird der Anblick, wenn man vor den Schmetterling noch eine ganz dünne Glimmerplatte hält, die dann im Augenblick alle seine Farben verändert. Dreht man aber die Platte langsam, so gehen die Farben allmählich in andere über und ihr Spiel wird hundertfältig.

Selbstverständlich sind unserer Phantasie und unserer Schaffensfreudigkeit nun gar keine Grenzen gesteckt. Wir können uns alle mög-

lichen Figuren ausdenken und sie so prächtig verzieren, wie wir nur wollen. Ganz besonders schön macht sich ein Blumenstrauß, auch seien hier noch kurz einige Winke zur Bildung anderer Figuren gegeben. Eine reizende Farbenerscheinung in Gestalt eines von farbigen Streifen durchsetzten Kreuzes erhält man, wenn man aus dünnen Glimmerplatten zwei Halbzylinder klebt, in Gestalt und Abmessung wie es Fig. 96, A angibt. Man bringt sie in gekreuzter Stellung zwischen die Pappröhren. Ein schöner Effekt wird auch durch Anfertigung eines Fächerkreises aus Glimmer erhalten (Fig. 96, B). Etwas mühsamer herzustellen, aber in der Wirkung sehr eindrucksvoll ist ein flach erhabener Stern mit sechs Ecken (Fig. 96, C). Er wird auf eine Glasplatte geklebt und die Mitte durch ein leichtes Hölzchen unterstützt. Vorteilhaft ist es, sich erst ein Papiermodell anzufertigen und danach die Glimmerteile zu schneiden.

Die eben angeführten Versuche sind für die Wissenschaft von größter Bedeutung geworden. Wir werden uns an sie erinnern, wenn uns im Unterricht von den großen Entdeckungen erzählt wird, die die Gelehrten durch sie über die Natur des Lichtes gemacht haben.

Mit Hilfe der Glasplattensätze zu erkennen, ob in einem Glaase Wasser Zucker aufgelöst ist. Unsere Glasplatten sind in der That wahre Zauberkünstler. Nun sollen sie uns gar dazu dienen, einem Glaase Wasser seinen Gehalt an Zucker anzusehen, was doch gewiß nicht so ohne weiteres gelingt, wenn die Zuckerlösung völlig klar ist. Dieses Experiment gründet sich auf die Fähigkeit des Zuckers, mit dem Licht, das durch den ersten Pappkasten hindurchgegangen ist, eine ähnliche Veränderung vorzunehmen wie der Glimmer, so zwar, daß es dann auch durch den zweiten Pappkasten hindurch kann, selbst wenn die Pfeile gekreuzt stehen. Mit anderen Worten: Ein Glas mit gewöhnlichem Wasser, zwischen die gekreuzten Kästen gebracht, ändert nichts an der Dunkelheit, eine Zuckerlösung dagegen läßt Licht hindurchtreten. Bedingung für das Gelingen dieser Versuche ist, das die Kästen gegen helles Licht (Fenster) gerichtet werden und daß die Zuckerlösung nicht zu schwach sei.

Es ist selbstverständlich, daß man auf diese Erscheinung viele Scherze gründen kann, wichtiger ist aber, daß wir in diesem einfachen Apparat eine der segensreichsten Vorrichtungen vor uns haben, deren sich der Arzt bedient. Wir haben alle von der Zuckerkrankheit und

ihren armen Opfern gehört, wir wissen aber auch, daß sie heilbar ist, wenn sie in ihren ersten Anfängen schon erkannt werden kann. Unser Apparat ist sehr einfach und roh und es bedarf schon starker Lösungen, um eine Wirkung hervorzubringen. In verbesserter Form aber, wie ihn der Mechaniker als Saccharimeter anfertigt, gehört er zu den feinsten Mitteln, mit denen man auch die geringsten Spuren von Zucker in den Ausscheidungen der Kranken nachweisen kann.

Optische Täuschungen.

Optischen Täuschungen sind wir schon mehrfach in diesem Buche begegnet, denn genau betrachtet ist ja, wenn auch nicht jedes Spiegelbild, so doch jedenfalls jedes von einem Hohlspiegel entworfene, reelle Bild eine Täuschung. Das Verschwinden des roten Buchstabens (auf S. 263) und ganz sicher die Fata Morgana könnte man ebenfalls eine optische Täuschung nennen.

Wenn wir trotzdem den optischen Täuschungen noch einen besonderen Abschnitt widmen, so geschieht es, weil die Fülle der Täuschungen mit den angeführten Beispielen noch bei weitem nicht erschöpft ist.

Am leichtesten wohl unterliegt das Auge den Raumauschungen, bei denen es durch irgendwelche Nebenumstände das Urtheil über die wahre Entfernung zweier Gegenstände voneinander verliert. Wir erwähnten einer derartigen Täuschung bereits auf S. 124 des Buches, wo wir daran erinnerten, daß ein winziges Fleckchen an der Fensterscheibe oft wie ein riesenhaftes Gebilde erscheinen kann, wenn falsche Entfernungsschätzung es an den Himmel verlegt. Einer ähnlichen Erscheinung sieht sich bisweilen der Wanderer im Gebirge gegenüber. Wenn des Morgens oder des Abends Nebelwände sich aus den feuchten Thälern erheben, bemerkt er plötzlich im Nebel eine riesenhafte Schattengestalt vor sich, die etwas Schreckhaftes an sich hat und von Leuten, die ihr im Harz begegneten, mit dem Namen „Brodtengespenst“ belegt wurde. Dieses Gespenst erweist sich aber als der harmlose Schatten des Wanderers, den die tiefliegende Sonne auf die Nebelwand wirft, denn es macht alle Bewegungen mit, hebt den Bergstock und nickt mit dem Kopf. Bedrohlich wirkt nur die riesige Größe des Gebildes, und

gerade diese ist eine optische Täuschung. Wie groß ist es denn wohl in Wahrheit? Im Falle des „Brockengespenstes“ ist die Sonne als Lichtquelle für unsere Begriffe unendlich weit entfernt. Der Schatten kann also nicht größer sein als der Wanderer selbst. Und woher nun die Täuschung? Eine Überschätzung des Raumes, weiter nichts. Man glaubt das Schattenbild in sehr großer Entfernung, während es in Wahrheit gar nicht weit ist, derselbe Irrtum also, der den Fleck an der Fensterscheibe so groß erscheinen ließ.

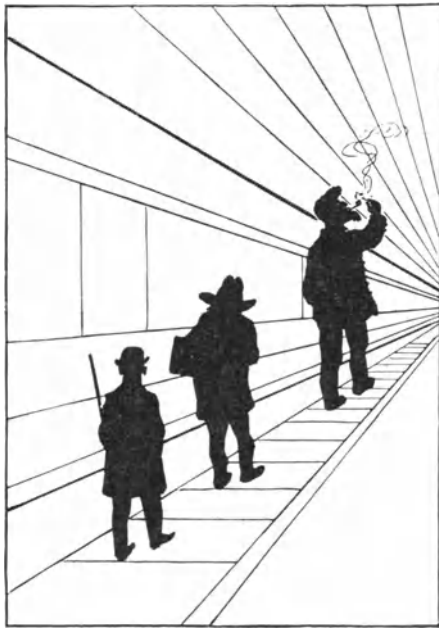


Fig. 97. Perspektivische Täuschung.

Noch deutlicher tritt dieselbe Täuschung hervor bei Betrachtung der Fig. 97. Es sind auf ihr drei Menschen abgebildet, der eine links unten, der andere rechts oben, der dritte zwischen beiden. Man kann sich bei ihrer Betrachtung eines Lächelns nicht erwehren, denn nur der mittelfste macht einen normalen Eindruck, der erste sieht aus wie ein Zwerg, der andere wie ein ungeschlachter Riese. Der Zirkel beweist jedoch, daß sie einander völlig gleich sind, und die optische Täuschung wird offenbar durch das sonstige Beiwerk an Linien hervorgerufen.

Man hat diese mit Absicht von allen Seiten her nach einem Punkt verlaufen lassen und dadurch den Eindruck hervorgerufen, als handle es sich um eine Art Bild, und die drei Personen stünden nicht neben, sondern hintereinander, etwa auf dem Bürgersteig einer Straße. Es erscheint dann die in größere Entfernung versetzte Figur, gerade wie das Brocengespinnst, viel zu groß. Daß wirklich diese Täuschung nur eine perspektivische ist, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man die drei Figuren erst ohne und dann mit den schrägen Linien zeichnet. Die Täuschung tritt nur im zweiten Falle ein.

Im allgemeinen kann man sagen, daß ein mit Gegenständen angefüllter Raum größer erscheint als ein leerer. Betrachten wir die drei Kugeln 1, 2 und 3 in Fig. 98, so wird man sich darüber klar sein, daß sie voneinander gleich weit entfernt sind. Doch das ist eine Täuschung, der Zirkel zeigt uns die Entfernung zwischen 1 und 2 bedeutend kleiner als die zwischen 2 und 3. Sie erscheint aber größer

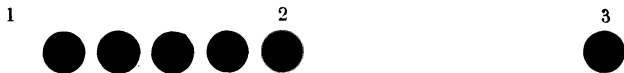


Fig. 98. Raumtäuschung.

als sie ist, weil der Raum zwischen 1 und 2 mit Gegenständen, ebenfalls Kugeln, ausgefüllt ist. Eine ähnliche und derselben Erklärung zugängliche Erscheinung bemerkte der Verfasser, als er gelegentlich einen Kalender durchblätterte. Ein Teil von ihm ist umstehend abgedruckt. Man sieht einige Zahlenreihen durch horizontale Striche abgeteilt. Diese scheinen, obgleich sie an allen Stellen gleich dick sind, doch nach rechts hin dünner zu werden, da hier die Zahlen — als den Raum ausfüllende Gegenstände — auf sie eindringen.

Derartigen Täuschungen unterliegt man oft auch in freier Natur. Wenn die Sonne sich zum Horizont herabsenkt, scheint sie immer größer und größer zu werden, weil sie sich dann für unser Auge irdischen Gegenständen nähert, fernen Häusern und Bäumen, an denen wir ihren Durchmesser abschätzen können. Man ist oft erstaunt, den Mond hoch am Himmel so klein wiederzusehen, der noch bei seinem Aufgang so riesenhaft erschien.

Sonderbar genug ist auch die Tatsache, daß man durch irgend eine falsche Vorstellung, über die man sich gar nicht einmal Rechenschaft

zu geben braucht, solchen Raumauschungen ausgesetzt ist. Fig. 99 zeigt zwei konzentrische Kreispaare nebeneinander. Wir betrachten nur die beiden inneren Kreise. Welcher ist wohl der größere, der linke oder rechte? Man wird ohne Bedenken antworten, der linke, aber mit Unrecht, sie sind beide gleich groß. Man kann sich aber dem Eindruck nicht entziehen, es mit zwei ungleich starken Ringen oder mit dem Querschnitt durch Röhren verschiedener Wandstärke zu tun zu haben. Mit dieser Vorstellung lastet gleichsam auf dem rechten inneren Kreise, ihn für unser Gefühl und dann auch für unser Auge scheinbar zusammendrückend, eine größere Masse als auf dem linken, der darum weniger

11	11	11	11
12	12	12	12
13	13	13	13
14	14	14	14
15	15	15	15
16	16	16	16
17	17	17	17
18	18	18	18
19	19	19	19
20	20	20	20
21	21	21	21
22	22	22	22
23	23	23	23
24	24	24	24
25	25	25	25
26	26	26	26
27	27	27	27
28	28	28	28
29	29	29	29
30	30	30	30
31	31	31	31

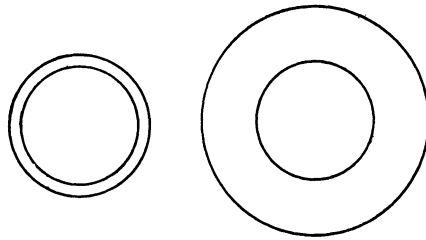


Fig. 99. Optische Täuschung an Kreisen.

zusammengedrückt erscheint. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser scheinbar sehr kühnen Behauptung ist die Tatsache, daß die Erscheinung durch Schraffierung der Ringe noch deutlicher hervortritt.

Richtungstäuschungen. Wenn zwei Richtungen im Bilde der Landschaft bevorzugt erscheinen, so sind es sicherlich die wagerechte und die senkrechte. Welche von beiden die bevorzugte ist, kann man schwer sagen, wahrscheinlich sind die horizontalen Linien, wenn auch nicht an Zahl, so doch an Ausdehnung den senkrechten überlegen. Ganz sicher aber scheinen wir über sie besser unterrichtet, schon durch die Gewohnheit, von links nach rechts zu schreiben und zu lesen. Allmählich hat man sich dadurch ein recht sicheres Urteil über die Länge horizontaler

Gebilde erworben. Vertikalen Linien gegenüber kommt man jedoch in einige Verlegenheit, man ist zum mindesten unsicher, meistens aber überschätzt man ihre Länge. Man betrachte nur einmal die Fig. 100, die zwei Linien, eine horizontale und eine vertikale, zugleich zeigt. Wenn man schätzen sollte, so würde man die vertikale Linie für etwa ein Drittel länger halten als die wagerechte, sie sind jedoch gleich lang. Es ist ergötzlich zu sehen, wie groß oft das Maß der Täuschung ist. Fast jeder kennt den berühmten Versuch mit dem Zylinderhut. Man bittet jemand, der womöglich selbst einen Zylinder oder steifen Hut trägt und eigentlich über ihn unterrichtet sein sollte, dessen Höhe an der Wand, vom Fußboden aus messend, mit der flachen Hand anzugeben. Auf die Bitte, sich nicht zu täuschen, pflegt er meist der Höhe noch etwas zuzulegen. Um so größer ist dann das Erstaunen, wenn der untergestellte Zylinder selbst beweist, wie gewaltig seine Höhe überschätzt worden ist. Es handelt sich oft um den doppelten Betrag. Infolge derselben Täuschung pflegt ein aus freier Hand gezeichnetes Quadrat meist zu niedrig auszufallen.

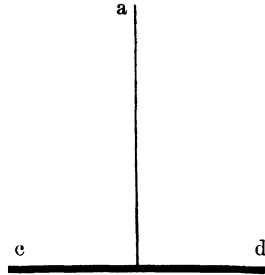


Fig. 100.

Optische Täuschung an senkrecht aufeinander stehenden Linien.

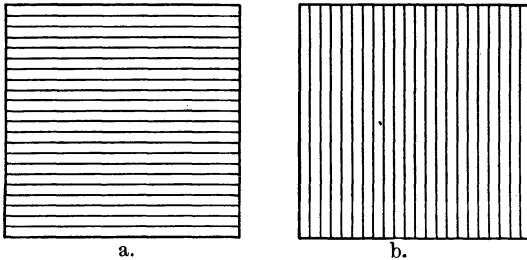


Fig. 101. Optische Täuschung an Quadraten.

Vielleicht ist es auch nicht ausgeschlossen, daß der horizontale Raum überschätzt wird, besonders, wenn auf der Zeichnung noch horizontales Linienwerk vorhanden ist. So bei den beiden Quadraten Fig. 101, von denen das rechte breiter erscheint. Daher tragen auch Damen, die schlanker erscheinen wollen, nicht ohne Erfolg längsgestreifte

kleider. Linienzutaten, die nicht zu dem zu schätzenden Objekt gehören, führen fast stets das Urtheil irre. Zwei ganz gleich lange Linien, Fig. 102, sind an ihren Enden mit verschieden gerichteten Fortsätzen versehen.

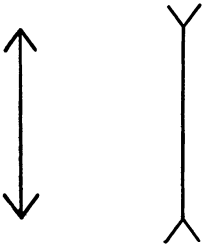


Fig. 102.
Täuschung an Pfeilen.

Durch diese unscheinbare Zutat allein erscheint die rechte Linie um ein bedeutendes verlängert. Fig. 103 stellt eine ganz ähnliche Erscheinung dar, hervorgerufen durch schräge Schraffurung. Man hat deutlich den Eindruck, als liefen die beiden Linienbänder nach rechts hin auseinander. Fast noch deutlicher zeigt sich die Erscheinung auf Fig. 104. Die wagerecht verlaufenden Linien sind vollkommen gerade und einander parallel.

Aber, auch wenn man sich hiervon mit einem Lineal überzeugt hat, kann man den Eindruck durchaus nicht los werden, als seien sie in der Mitte geknickt und liefen mit den Enden aufeinander zu oder auseinander. Zu allen Zeiten haben die Baumeister



Fig. 103. Streifentäuschung.

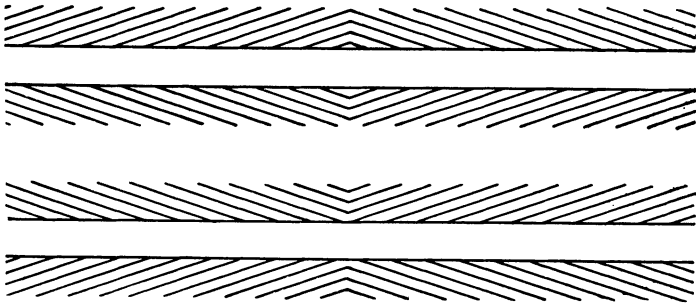


Fig. 104. Streifentäuschung.

derartige optische Täuschungen, die gerade Linien krumm erscheinen ließen, bei ihren Bauwerken lästig empfunden, aber sie fanden meist einen Ausweg, indem sich sagten, daß es unter Umständen besser sei, einen Balken krumm zu machen, als ihn krumm erscheinen zu lassen.

Man findet daher den Balken über den Säulen der Giebelfront antiker Gebäude oftmals schwach nach oben gewölbt, um ihn gerade auszu-
sehen zu machen. Hätte man ihn schnurgerade gelegt, so würde er unter den schrägen Linien des Giebels in der Mitte nach unten einen Knick gezeigt haben.

Sollten sich unsere Leser vielleicht entscheiden können, welche der beiden unter dem schwarzen Balken (Fig. 105) sichtbaren Linien die Fortsetzung der oberen ist? Sie werden zum mindesten im Zweifel sein, dann aber sich aufs Raten verlegen und wahrscheinlich die falsche wählen.

Ebenso kurios ist die Täuschung Fig. 106. Zwei Ringstücke sind übereinander gezeichnet und beide ganz gleich groß, das untere jedoch erscheint bedeutend länger. Der Beschauer merkt hier kaum, daß man

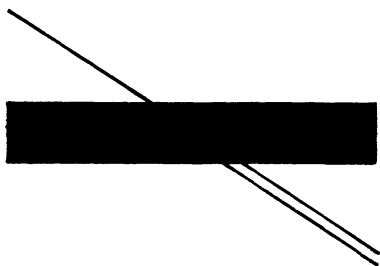


Fig. 105. Richtungstäuschung.

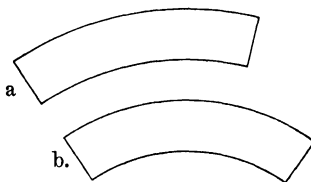


Fig. 106.

Täuschung an Ringstücken.

ihn überlistet hat. Man mutet ihm zu, die Länge zweier Linien abzuschätzen, deren Anfänge man, wie leicht einzusehen ist, gar nicht untereinander gebracht hat. Der wahre Sachverhalt wird dadurch verschleiert, daß die seitlich abschneidenden Linien bei der verschobenen Lage der Ringstücke gerade in dieselbe Richtung kommen.

Bewegungstäuschungen. Deren gibt es nun eine ganze Menge. Wer hat nicht schon einmal von einer Brücke ins Wasser gesehen und sich schließlich eingebildet, die feste Brücke führe mit ihm gegen den Strom. Wer hat nicht schon einmal geglaubt, das Fallen eines hohen Fabrikshornsteins wahrzunehmen, und doch waren es nur darüber hinwegeilende Wolken, die diese Erscheinung hervorriefen. Sie richten aber wirklich zuweilen Unheil an. Wer als Hans Guckindieflust, auf Schlittschuhen stehend, die über ihm ziehenden Wolken eine Weile ansieht, wird plötzlich fallen. Denn er hat bald den Eindruck, als stünden

die Wolken und er selbst fiel. Um diesem vermeintlichen Sturz zu begegnen, führt er dann eine Bewegung aus, die ihn — den in Wahrheit gerade stehenden — niederstreckt. Je weniger er sich dabei über das Wesen der Bewegung selbst anderweit unterrichten kann, desto mächtiger ist die Täuschung. Sie ist beim Eisenbahnwagen, der still zu stehen scheint, während die Felder laufen, nicht allzu eindrucksvoll und nachhaltig, da das Rütteln des Wagens sehr bald zeigt, wer der sich bewegende Teil ist. Schwerer ist schon diese Rechenenschaft bei der angeblich fahrenden Brücke, da beiderseits die mechanischen oder akustischen Merkmale der Bewegung fehlen. Aus eben diesem Grunde ist auch eine optische Täuschung so gewaltig, der von Tag zu Tag immer wieder, trotz besseren Wissens, alle Menschen unterliegen. Wir denken an die scheinbare Bewegung der Sonne und der Gestirne um den Erdball.

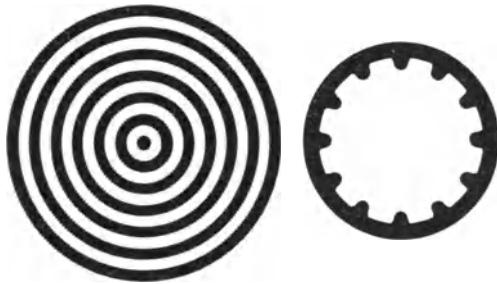


Fig. 107. Bewegungstäuschung.

Scheinbar umlaufende Kreise und Zahnräder. Eine Anzahl der sonderbarsten Bewegungstäuschungen hat der bekannte englische Physiker und Elektriker S. P. Thompson angegeben. Sie sind in den Figuren 107 und 108 nachgebildet. Ihre Erklärung würde uns hier zu weit führen, nur so viel sei gesagt, daß das Unvermögen der Augen, schnellen Bewegungen zu folgen, die Erscheinung begünstigt.

Man sieht auf der Fig. 107 eine Anzahl konzentrischer Kreise, deren Abstand voneinander ebenso groß ist, wie ihre Linienstärke. Führen nun unsere jungen Leser mit dem Buch, dabei die Figur aufmerksam betrachtend, eine geringe kreisende Bewegung aus, so beginnen sofort die Kreise herumzulaufen, und zwar im Sinne der Bewegung. Anders verhält sich der rechte, mit einwärts gerichteten Zähnen versehene Kreis.

Er läuft der Bewegung scheinbar entgegen. Eine Verbindung beider Erscheinungen stellt sich in Fig. 108 dar. Sechs konzentrische Kreise umlagern ein Zahnrad. Die Täuschung ist hier ganz besonders auffällig. Während die Kreise deutlich nach rechts umlaufen, zeigt gleichzeitig das Zahnrad eine unverkennbare Umdrehungsbewegung nach links.

Eine andere, womöglich noch überraschendere Bewegungstäuschung läßt sich mit Hilfe der Poggendorff'schen Scheibe zeigen. Es ist dies eine etwa 20 cm im Durchmesser haltende Pappscheibe, Fig. 109, auf der sich drei Reihen von Punkten in gleichen Abständen befinden. Der innere Kreis enthält 8, der mittlere 9, der äußere 10 Punkte. Man steckt die Scheibe auf einen Kreisel — unser akustischer Kreisel von



Fig. 108. Scheinbar rechts laufende Kreise und links laufendes Zahnrad.

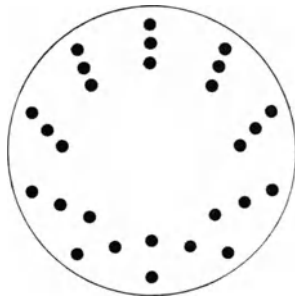


Fig. 109. Poggendorff's Scheibe.

§. 130 eignet sich ganz besonders dazu — und setzt sie nicht allzu rasch in Umdrehung. Der Kreisel sollte groß und schwer genug sein, um eine Zeitlang gleichmäßig zu laufen. Sofort verschwimmen die Punkte zu drei matten Kreisen. Inzwischen hat man eine Postkarte in der Mitte mit einem etwa halbfingerbreiten und langen Schlitze versehen und bewegt diesen, nach der Scheibe blickend, rasch vor einem Auge hin und her. Sofort werden wieder Punkte auf der Scheibe sichtbar, die in sonderbarer Bewegung zu sein scheinen. Bald laufen sie vorwärts, bald rückwärts, bisweilen scheint sogar eine Reihe, etwa die mittlere, völlig still zu stehen, während dann gleichzeitig die äußere Reihe rechts herum, die innere links herum zu laufen scheint. Und doch läuft die Scheibe mit langsam abnehmender Geschwindigkeit immer in demselben

Sinne. Unsere Leser werden dieser Erscheinung ratlos gegenüberstehen, obgleich bei einigem Nachdenken ihre Erklärung gar nicht so schwer ist.

Stellen wir uns einmal vor, wir drehen die Scheibe in einer finsternen Gewitternacht. Plötzlich wird sie von einem Blitz erhellt. Zweifellos werden wir trotz schnellster Bewegung Punkte auf ihr sehen. Denn ein Blitzschlag dauert so kurze Zeit an — er ist noch weit kürzer als er scheint —, daß man sagen kann, die Scheibe habe sich während der Zeit ihrer Erleuchtung praktisch so gut wie nicht gedreht. Die Punkte müssen daher völlig scharf und voneinander getrennt erscheinen. Nehmen wir nun weiter an, es folgten derartige Erleuchtungen einander schnell in regelmäßigen Zwischenräumen, so könnte ja zufällig ihr Tempo und dasjenige der Scheibe so übereinstimmen, daß, was etwa die mittlere Punktreihe anbelangt, gerade bei der nächsten Beleuchtung der folgende Punkt immer an die Stelle seines Vorgängers gerückt ist. Man würde mithin immer wieder an demselben Fleck einen Punkt sehen und glauben — da ein Punkt dem anderen völlig gleicht —, es immer mit demselben Punkt zu tun zu haben. So steht denn diese Reihe scheinbar still. Das ist das ganze Geheimnis. Bei unserem Kreiseler Versuch sind die blitzartigen Beleuchtungen ersetzt durch den zeitweisen Anblick der Scheibe durch den Schlitze. Ob eine der Reihen stehen soll, hängt also ab von der Geschwindigkeit des Kreisels und derjenigen des Schlitzes. Wenn der Kiesel nicht mehr zu schnell läuft, wird man leicht die mittlere Reihe zur Ruhe bekommen. Aber die anderen Reihen, von denen dann die äußere rechts, die innere links herum lief — werden unsere Freunde fragen —, wie ist es denn mit diesen? Nur Geduld! Die äußere Reihe enthält einen Punkt mehr, die innere einen Punkt weniger als die mittlere. Deshalb hat in der einen Reihe jeder Punkt beim Sichtbarwerden den Platz seines Vorgängers etwas überholt und ist auf der anderen Reihe gegen ihn zurückgeblieben, und so scheint denn die eine Punktreihe sich langsam vorwärts zu schieben, während die andere sich ebenso langsam rückwärts bewegt.

Der Schnellseher, jetzt als Kinematograph groß und klein bekannt, beruht genau auf der gleichen Erscheinung, und wir hätten auf die Erörterung der Poggendorff'schen Scheibe nicht so viel Zeit und Platz verwendet, wenn wir nicht glaubten, damit auch den Schnellseher so gut wie ganz erklärt zu haben. Einen Satz heben wir an dieser Stelle noch einmal besonders hervor, er lautete dem Sinne nach: Da in den Reihen ein Punkt gerade so aussieht wie der andere, so glaubt

man, es immer mit demselben Punkt zu tun zu haben, während es in Wahrheit immer der folgende ist. Wenn der Nachfolger nun aber nicht so aussieht wie der Vorgänger? Dann kann sich darum das Auge doch noch nicht von seiner Täuschung losmachen, es glaubt vielmehr ein und denselben Punkt sich nach und nach verändern zu sehen. Hat man statt der Punkte einen Schmied in verschiedenen, aber aufeinander folgenden Stellungen seiner Tätigkeit dargestellt, so wird man meinen, ihn wirklich hämmern zu sehen. Nur hat man dafür zu sorgen, daß die aufeinander folgenden Bilder nur wenig verschieden voneinander

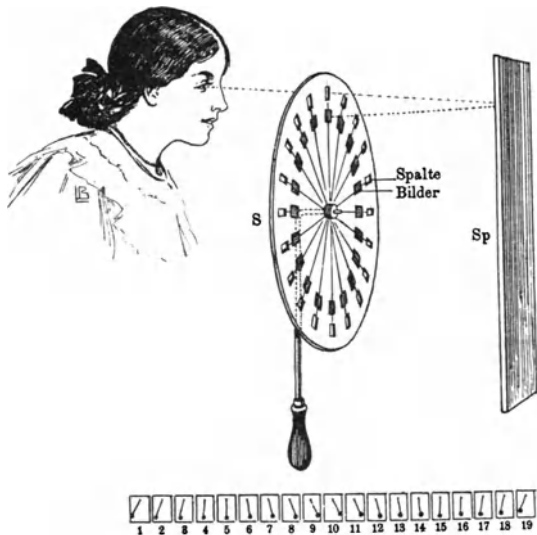


Fig. 110. Der Schnellseher.

sind. Je mehr solcher Bilder zu einer Reihe gehören, desto weniger Sprunghaftes wird die Darstellung an sich haben.

Unser Kreiseln eignet sich für kinematographische Zwecke wenig, wohl aber eine andere leicht herzustellende Vorrichtung. Eine Scheibe S (Fig. 110) aus starker Pappe vom etwa 30 bis 40 cm Durchmesser wird in so viel gleiche Teile eingeteilt, als man Bilder zeichnen will. Durch diese Teilstriche werden von der Mitte aus strahlenförmig Linien gezogen und in einer Entfernung von 3 cm vom Rande, genau auf diesen Linien, $\frac{1}{2}$ cm breite, kurze Spalte eingeschnitten. Unter den Spalten werden die Bilder in richtiger Reihenfolge aufgeklebt. Dreht

man die Scheibe vor einem Spiegel *Sp* und sieht dabei durch die Spalte nach den Bildern, so scheinen sie Leben bekommen zu haben. Man wähle ganz einfache Darstellungen und zeichne etwa ein hin und her schwingendes Pendel, und zwar so, daß sich, wie es auch die Zeichnung, veranschaulicht, die letzte Darstellung an die erste wieder anschließt. Wie man die Scheibe mit einem krummen Draht, auf dem sie sich zwischen zwei Korkstücken dreht, halten kann, zeigt die Abbildung ebenfalls.

Mit schwierigen Abbildungen versuche man sich nicht erst, da sie stets zu ungenau ausfallen. Man kann jedoch seine einfachen fortlaufenden Zeichnungen (z. B. einen sich drehenden Stern, einen Vogel, der mit den Flügeln schlägt, u. a. m.) auf die Blätter eines kleinen Notizblocks

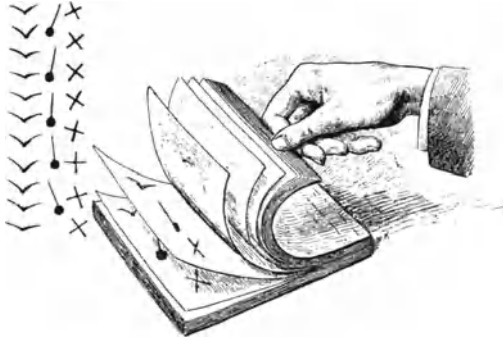


Fig. 111. Ein Schnellseher einfacher Art.

setzen und diese dann über den Daumen schnurren lassen (Fig. 111). Der Eindruck der Bewegung ist dann entschieden vorhanden, leider aber von kurzer Dauer. Früher gab es derartige Heftchen mit photographischen Serienaufnahmen in den Buchbinderläden und Spielwarenhandlungen. Sie sind aber jetzt wohl verschwunden.

Wird der Kinematograph einem großen Publikum vorgeführt, so befinden sich die photographischen Bilder auf einem langen transparenten Streifen, dem Film, der zwischen den Beleuchtungslinsen und dem Objektiv einer elektrischen Projektionslaterne vorbeiröllt. Eine besondere Vorrichtung sorgt dafür, daß immer nur dann Licht aus der Laterne tritt, wenn sich ein Bild gerade vor dem Objektiv befindet und dort einen Augenblick still hält. Die Bilder folgen einander auf dem Schirm so schnell, daß man nicht mehrere voneinander verschiedene

Bilder hintereinander zu sehen glaubt, sondern nur ein Bild, das sich verändert. Aber wohlgemerkt, liebe Freunde, — und das ist eine Weisheit, für die auch alle eure Bekannten, die Kinematographentheater aufsuchen, sich interessieren dürften — da vorn auf dem Schirm bewegt sich natürlich nichts. Jedes der einzelnen Bilder, die sich da in rascher Folge (etwa 15 bis 20 in der Sekunde) auf der Leinwand ablösen, ist starr und tot, wie jede Photographie. Unser Gehirn erst ist der Zauberkünstler, der sich aus der Folge einzelner Erscheinungen, den Bewegungsvorgang konstruiert. Wenn ein Gegenstand, so sagt es sich, erst hier ist und im nächsten Augenblick etwas weiter rechts und im nächsten Augenblick noch etwas weiter uff., dann hat er sich offenbar von links nach rechts bewegt. Das ist das Geheimnis. Wunderbar genug: nicht auf der weißen Wand, in unserem Gehirn ist das Kinematographentheater, und die eigentliche Bewegungsempfindung vollzieht sich in den winzigen Dunkelpausen zwischen je zwei Bildern, also dann, wenn auf dem Schirm gar nichts zu sehen ist.

Der Vogel im Käfig. Daß jeder Eindruck im Auge noch eine kurze Zeit anhält, auch wenn seine Ursache schon verschwunden ist, kann man durch folgenden optischen Scherz zeigen. Man schneidet eine Visitenkarte halb durch und zeichnet auf die eine Seite ein Vogelbauer, auf die andere Seite den dazu gehörigen Vogel. Eine Zeichnung muß gegen die andere auf dem Kopfe stehen. Durch vier Löcher der Karte wird ein Doppelfaden gezogen, an dem sie sich wirbelnd herum-drehen läßt, wobei sie bald die eine, bald die andere Seite dem Beschauer zeigt. Man sieht dann den Vogel im Bauer sitzen, eine sicherlich einfache Methode, ihn einzufangen. Unsere jungen Leser werden wegen anderer Vorlagen nicht in Verlegenheit sein.

Der Zauberkreisel (Fig. 112). Unter dem Namen Zauberkreisel war vor einigen Jahren ein Spielzeug sehr beliebt, das wohl verdient, wegen seiner Einfachheit und hübschen Wirkung der Vergessenheit entrißen zu werden. Es beruht ebenfalls auf der nachhaltigen Lichtwirkung im Auge.

Irgend ein Kreisel wird oben in seiner Achse mit einem etwa 2 mm breiten und 2 cm tiefen Loch versehen. Unser akustischer Kreisel (S. 130) hat diese Einrichtung bereits. In die Öffnung steckt man, wenn der Kreisel sich schnell dreht, irgend ein ganz beliebig gebogenes, womöglich aber glänzendes Stückchen Draht. Es wird vom Kreisel mitgenommen und aus den schon genannten Gründen vom Auge an

allen Stellen seiner Bahn zugleich gesehen. Dadurch bildet sich eine Figur, durchscheinend und von großer Feinheit, immer aber körperlich und symmetrisch. Da jede Drahtform eine andere, immer aber zierlich-schöne Figur ausbildet und man auch mehrere Drähte verwenden und die Rotationskörper scheinbar durcheinander wachsen lassen kann, wird dies anmutige Spiel zugleich unterhalten und belehren.

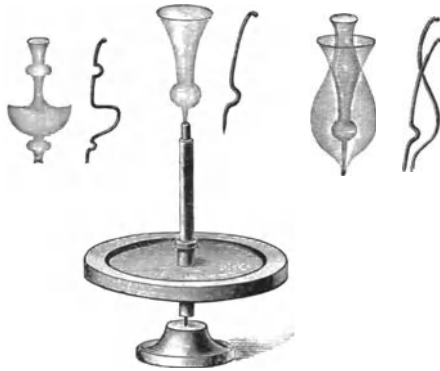


Fig. 112. Der Zaubertreifel.

Schwenkt im Dunkeln ein glimmendes Streichholz kreisförmig oder in einer beliebigen Figur und Ihr habt die optisch gleiche Erscheinung des Nachbildes in allereinfachster Art. Es entsteht vor Euren Augen ein leuchtender Kreis, und es ist doch nur ein Punkt, der sich rasch bewegt.

Täuschungen durch Überstrahlung. Jeder lichtpendende Körper erscheint stets ausgedehnter als er ist. Das Bild des leuchtenden Gegenstandes fällt auf die Netzhaut, aber es empfinden das Licht nicht nur die getroffenen Nerven, sondern auch die ihnen benachbarten in um so größerem Umkreise, je kräftiger das Licht ist. Man sagt dann, das Auge empfinde eine Überstrahlung oder Irradiation.

Derartige Täuschungen sind ungemein häufig, man könnte fast sagen, sie bilden die Regel. Wer jemals an Meeresstrände einen Sonnenuntergang betrachtet hat, konnte sie besonders ausgeprägt sehen. Die sinkende Sonne überstrahlt den Horizont und scheint dann nicht hinter ihm, sondern vor ihm ins Wasser zu tauchen, so daß man meint, am Horizont befindliche Schiffe könnten hinter ihr herumfahren (Fig. 113). Doch auch ohne Sonne läßt sich eine durchaus ähnliche Erscheinung

sehr gut zeigen, wenn man ein Licht hinter einer ziemlich dunkel gefärbten Scheibe langsam herabbewegt. Man sieht dann deutlich die Überstrahlung am oberen Rande der Scheibe und bemerkt auch, daß die Flamme hinter der Scheibe weit kleiner aussieht, da ihr hier die zur Überstrahlung nötige Leuchtstärke fehlt. Die Fäden einer elektrischen Glühlampe sehen in kaltem Zustande spinnwebdünn aus, in brennendem viel dicker. Das ist dieselbe Erscheinung.

Überall erschwert die Überstrahlung den Vergleich verschieden heller Gegenstände. Man betrachte nur einmal den schwarzen und den weißen

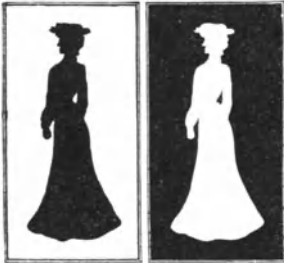


Fig. 113.
Optische Täuschung beim
Sonnennuntermgang
(Überstrahlungstäuschung).

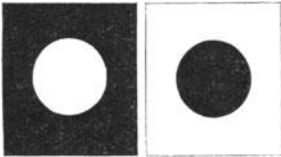
Kreis auf Fig. 114 (2) aus etwa 2 m Entfernung und versuche zu entscheiden, welcher von beiden der größere ist. Man möchte darauf schwören, es sei der weiße, sie sind jedoch genau gleich groß. Bei dem linken, weißen Kreise wirkt die Überstrahlung auf den schwarzen Untergrund ein, bei dem anderen überstrahlt der weiße Untergrund den schwarzen Kreis, und so erscheint denn der eine um ebenso viel zu groß wie der andere zu klein. Auf dieser Doppelwirkung beruht die große Kraft der Täuschung.

Aus dem gleichen Grunde erscheint die weiße Dame um ein gutes Stück größer und auch stärker als ihre schwarze Gefährtin, obgleich sie ihr Dasein derselben Schablone verdankt. Starken Damen ist daher zu empfehlen, schwarze Kleider zu tragen und sich möglichst nur auf hellem Untergrunde blicken zu lassen.

Viele unserer jungen Freunde werden schon bemerkt haben, daß der Mond gleich zu Beginn des ersten Viertels nicht nur eine glänzende



Sichel, sondern auch seine übrige Scheibe in mattem, aschgrauem Licht sehen läßt. Man muß sich jedoch zwingen, Sichel und Scheibe als demselben Kreise angehörig zu betrachten, stets empfängt man den Eindruck, daß die Sichel von einem größeren Kreise stamme und mit ihren Hörnern die Scheibe umfasse. Fig. 114 (3) versucht die Erscheinung zu zeigen, doch ist sie am Himmel weit auffallender.



Er müdungs täuschungen. Wer aus dem Dunkeln kommt, empfindet das helle Licht des Tages fast schmerzhaft und es vergeht geraume Zeit, bis sein Auge sich an den neuen Eindruck gewöhnt hat. Es leistet, vorher ausgeruht, nun eine Arbeit, die es ermüdet. So abgestumpft, empfindet es dann den Schatten doppelt tief.

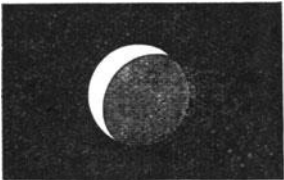


Fig. 114.
Überstrahlungstäuschungen.

Auf derartigen Ermüdungstäuschungen beruhen eine Anzahl zum Teil recht überraschender optischer Täuschungen. Neue Zeichnungen sind

hierfür nicht erforderlich, wir haben deren genug in unserem Buche. Wir benutzen die Fig. 114 und legen das Buch in deutlicher Sehweite vor uns auf den Tisch. Gleich daneben ein weißes Stück Papier mit einem kleinen schwarzen Tintenpunkt in der Mitte. Damit sind alle Vorbereitungen getroffen und das Experiment kann beginnen, zu dessen Gelingen — hier sei's gleich gesagt — immerhin eine gewisse Aufmerksamkeit und Willensstärke erforderlich ist. Wir setzen mitten in den

weißen Kreis 2 einen kleinen Bleistiftpunkt und fixieren diesen eine Zeitlang starr mit beiden Augen. Fünf Sekunden genügen, jedes Abirren verdirbt jedoch den Versuch. Dann lassen wir die Augen schnell nach dem Punkt auf dem Papier hinüberlaufen und bleiben auf ihm haften. Ein Augenblick vergeht und dann erscheint auf dem leeren Papier ein helles Quadrat und inmitten ein schwarzer Kreis. Die Erscheinung hält einige Sekunden an, ehe sie verblaßt. Offenbar besteht sie nicht auf dem Papier; sondern allein im Auge. Ein kreisrunder Fleck der Netzhaut war durch das Anstarren des weißen Bildes ermüdet und konnte später, als insgesamt helles Licht über die ganze Fläche fiel, die Mitte nicht so hell empfinden als die Umgebung. So entstand ein dunkler Kreis auf hellem Grunde. Man wird mit hin stets durch Ermüdung ein negatives Bild zu sehen bekommen. Jede Figur, die nicht zu verwickelt ist, eignet sich für den Versuch, vorzüglich auch die Abbildung der schwarzen und weißen Dame über den Kreisen. Es kann nach der Ermüdung auch ein beliebiger Punkt an der Wand oder an der Decke zur Entwicklung des Gegenbildes ausersehen werden, selbst eine Stelle am grauen Wolkenhimmel. Je größer die Entfernung ist, desto größer erscheint das Bild. Auch hier tritt also eine Brodengespensttäuschung auf (vgl. S. 275).

Vor uns liegt zufällig ein Brief, frankiert mit einer roten und grünen Marke. Wir benutzen ihn als Ermüdungsobjekt, und siehe da, auf dem weißen Papier erscheinen nicht helle Marken auf dunklem Grunde, sondern wiederum bunte Marken, nur daß die rote Marke jetzt grün und die grüne rot wiedergegeben wird. Wollten wir den Versuch mit einer blauen Figur wiederholen, so würde eine gelbe ihr Gegenbild sein. Auch diese Farbentäuschung erklärt sich leicht, wenn man die Zusammengesetztheit des weißen Lichtes berücksichtigt. Nehmen wir eine rote Figur an, so wird das Auge für rote Strahlen ermüdet. Fällt dann weißes Licht auf die Netzhaut, so sieht es von den im weißen Licht enthaltenen Farbenstrahlen alle, mit Ausnahme der roten, also eine aus den Restfarben bestehende Mischfarbe. War das erste ein Gelbrot, so muß die Gegenfarbe ein Grünblau sein. Auf alle Fälle aber ist klar, daß beide Farbenbestandteile, das Gelbrot und das Grünblau, zusammen Weiß ergeben müssen. Derartige Farbtöne nennt man „Komplementärfarben“. Komplementär zu einer rötlichen Farbe ist eine grünblaue, zu einer gelblichen eine bläuliche. Wenn

man aber sagen hört, die Komplementärfarbe zum reinen Rot des Spektrums sei Grün, so ist das falsch, denn Rot und Grün geben niemals Weiß, ihnen fehlt dazu noch die blaue und violette Farbe.

Gefärbte Schatten als optische Täuschung. Schon einmal war von bunten Schatten die Rede (S. 188). Auch hier sollen bunte Schatten erscheinen, aber nur die Wirkung ist in beiden Fällen dieselbe, die Ursachen sind himmelweit voneinander verschieden. Dort handelte es sich um Schatten, deren Färbung wir nachweisen konnten, hier liegt eine optische Täuschung vor.

Wir legen auf den Tisch ein Stück weißes Papier und stellen auf diesem mit etwas Wachs einen Bleistift auf, etwa $\frac{1}{2}$ m davon eine hell brennende Lampe ohne Schirm. Sie entwirft von dem Bleistift einen langen, leidlich scharfen Schatten. Er ist natürlich schwarz und bleibt auch schwarz, gleichgültig, ob wir durch nicht zu dunkle bunte Scheiben, Gelatineschichten oder bunte Seidenpapiere das Licht rot, grün oder blau färben. Nun entzünden wir seitlich des Stiftes, in etwa 1 m Entfernung, eine Kerze. Der Schatten ist nun nicht mehr ganz schwarz, er wird durch das Seitenlicht schwach aufgehellt. Sobald wir aber die Lampe rot abblenden, erscheint er grünlich, wählen wir grünes Licht, rötlich, bei blauem Licht gelblich. Das muß offenbar eine Täuschung sein, denn an und für sich ist der Schatten stets schwarz und wird in allen Fällen von derselben Kerze aufgehellt. Daß er immer die Komplementärfarbe seines Untergrundes annimmt, macht die Erscheinung verdächtig, eine Ermüdungstäuschung zu sein. Das Auge ermüdet gegen den Untergrund, wandert nach dem erhellen Schatten hinüber und sieht hier nur die Komplementärfarben. So wird jede Farbe durch ihre Umgebung beeinflusst, eine Tatsache, mit der jeder erfahrene Maler zu rechnen weiß.

Man kann dieselbe Erscheinung, wenn auch umständlicher, folgendermaßen erhalten. Ein gegen die Sonne gelegenes Zimmer wird möglichst durch Ziehen der Vorhänge, Schließen der Läden oder vorgelegte Pappscheiben bis auf zwei Löcher nebeneinander abgeblendet, zu denen das Sonnenlicht hereinflutet. Je dunkler das Zimmer sonst ist, desto besser gelingt der Versuch. Sobald man vor eine der Öffnungen ein gefärbtes Glas bringt, so bleibt der andere Lichtstrahl nicht weiß, sondern nimmt die Komplementärfarbe an. War das Glas grün, so ist er purpurrot usw.

Die Anzahl der von uns aufgezählten optischen Täuschungen ist gering gegen alle, die es überhaupt gibt, und mancher unserer Leser mag schon hier nachdenklich geworden sein und sich gefragt haben, ob denn nicht vielleicht alles Gesehene eine Täuschung sei. So schlimm ist es nun nicht. Denn wir verfügen noch über mehr Sinne, die einander erziehen, ergänzen und beaufsichtigen. Selten einmal tritt nur ein Sinn allein in Thätigkeit, und wenn auch jeder Sinn für sich genommen unvollkommen ist und Täuschungen gar zu gern unterliegt, so bildet doch die Gesamtheit der Sinne einen so vollendet arbeitenden Apparat, wie ihn nur der Schöpfer uns auf den Lebensweg mitgeben konnte.

Fünfter Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Elektrizitätslehre.

Von der Reibungselektrizität.

Die Elektrizität ist heute so recht ein Hans in allen Gassen. Was wäre ihr unmöglich? Sie erleuchtet in ungezählten weißstrahlenden Lampen unsere Nächte, sie nimmt Lasten auf ihren Rücken und eilt mit ihnen über den glatten Schienenstrang; in die Fabriken wandert sie, um Tausende von Maschinen in Bewegung zu setzen, um Metalle auszuscheiden und zu festen Hüllen auf den verschiedenartigsten Gegenständen niederzuschlagen; unsere Gedanken und Worte eilen mit ihr über den Ozean in fernste Länder.

Die Elektrizität ist die Helferin in jeder Not, aber sie tut ihre Arbeit keineswegs umsonst, so selbstlos ist sie denn doch nicht. In den Elektrizitätswerken sehen wir mächtige, kohlen- und geldfressende Maschinen arbeiten; in den elektrischen Batterien verzehren sich die Metalle und müssen durch neue ersetzt werden, überall verlangt der gefügige Diener auch seinen Lohn. Dies wollen unsere jungen Leser wohl festhalten.

Ein Körper gerät in den elektrischen Zustand. Wir prüfen einen Hartgummifederhalter auf seine Eigenschaften und werden nicht allzu viele an ihm entdecken. Er zeigt einen eigentümlichen Geruch, ist schwarz, glänzend und etwas biegsam. Leichte Papierschnitzelchen, die auf dem Tisch liegen und denen er bis auf kurze Entfernung genähert wird, kümmern sich gar nicht um ihn. Nun reiben wir ihn mit einem mehrfach zusammengelegten seidenen Tücheltchen kräftig ab und betrachten ihn wiederum. Scheinbar hat sich an ihm gar nichts verändert, außer daß er vielleicht etwas glänzender geworden ist. Und doch muß sich sein Zustand wesentlich verändert haben, denn er zieht nun die

Papierstückelchen schon aus einiger Entfernung zu sich heran. Es geht eine geheimnisvolle Kraft von ihm aus, die man in ähnlicher Weise schon zu frühen Zeiten an dem Bernstein (griechisch: Elektron) bemerkte und Elektrizität oder Bernsteinkraft nannte. Unser Federhalter ist also von dem gewöhnlichen in den elektrischen Zustand übergegangen und in diesem befähigt, eine Arbeit zu leisten, denn nichts anderes ist es doch, wenn er die Papierstückchen zu sich emporhebt. Er arbeitet genau so wie ein Mensch, der ein Gewicht hebt. Aber auch diese Leistung ist nicht umsonst, denn wir haben selbst eine merkliche Arbeit leisten müssen, indem wir den Stab rieben. Wir merken uns, daß ein elektrischer Körper einen unelektrischen anzieht und wollen nun sehen, wie wir dasselbe Experiment auf eine andere Weise noch viel anschaulicher gestalten können.

Seifenblase und Siegellackstange. Je leichter der unelektrische Körper ist, auf desto größere Entfernungen wird er offenbar von dem

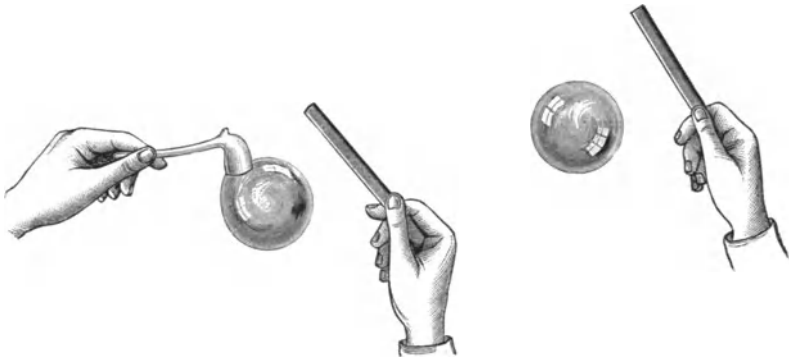


Fig. 115. Seifenblase und Siegellackstange.

elektrischen angezogen werden. Ganz besonders eignet sich eine Seifenblase zu dem Versuch, die noch den Vorzug besitzt, weithin sichtbar zu sein. Vorschriften über die beste Verfertigung von Seifenblasen wurden auf S. 107 des Buches gegeben. Wenn unsere Leser nach diesem verfahren und an einer Tonpfeife eine höchstens faustgroße Seifenblase erzeugen, so werden sie diese leicht durch einen stark mit Seide geriebenen Siegellackstab beeinflussen können. Die Blase zieht sich zu ihm hinüber, reißt schließlich von der Pfeife ab und folgt dem

Stabe nach allen Teilen des Zimmers. Man kann sie ganz nach Belieben steigen oder fallen lassen (Fig. 115). Das Abtrennen der Seifenblase erfordert immerhin einige Übung, oft wird sie bei dem Manöver zerplatzen. Ein kurzer, aber nicht zu unsanfter Ruck mit der Pfeife führt meistens zum Ziel.

Holundermarkpendel und Glasstab. Es ist nicht immer bequem, gerade eine Seifenblase für den Versuch zu verwenden, auch hat man es hierbei eigentlich mit einem vergänglichen Apparat zu tun. Besser kommt man mit einem kleinen Holundermarkkugeln fort, das an einem seidenen Faden hängt. Da man derartige Vorrichtungen sehr häufig auch zu anderen Versuchen verwenden kann, tut man wohl, mehrere Stative für elektrische Experimente anzufertigen. Am zweckmäßigsten und auch am leichtesten werden sie aus etwas starkwandigen

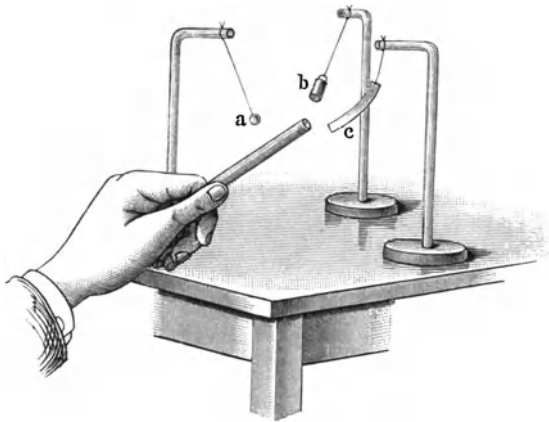


Fig. 116. Elektrische Pendel.

sonst aber nicht zu dicken Glasröhren gebogen (Fig. 116) und unten in die Bohrung eines runden oder viereckigen Fußbrettes aus zweifach zusammengeleimtem Zigarrentistenholz gefittet. Die Holundermarkkugel darf bis zu 1 cm im Durchmesser halten. Den schwachen Seidenfaden sticht man mit einer Nadel hindurch, verknotet ihn vor der Kugel und bindet ihn etwa 10 cm lang an das Glasstativ, dem zweckmäßig eine Länge von 20 bis 25 cm zu geben ist. Sind die Fäden aus reiner Seide, so bedarf es keiner isolierenden Stative aus Glas, man

kann sie irgendwie sonst aufhängen oder auch in der Hand halten lassen. Zur Elektrizitätserzeugung wollen wir diesmal einen mit Seide geriebenen Glasstab benutzen. Er sollte nicht zu kurz sein, auch nicht zu dünn, vor allem aber starkwandig genug, um nicht in Splitter zu gehen. Um Verletzungen zu vermeiden, werden die Ränder rund geschmolzen.

Da der elektrische Glasstab das Kügelchen *a* nur seitwärts zu bewegen und wenig zu heben hat, reicht schon eine geringe Kraft aus. Man hüte sich jedoch, das Kügelchen mit dem Glasstabe in Berührung kommen zu lassen, da dann sofort eine neuartige Erscheinung eintritt, die geeignet ist, unsere Leser an dieser Stelle zu verwirren.

Selbstverständlich ist jeder andere leichte Körper ebenso gut. Mit bestem Erfolge kann man aus leichtem Seidenpapier kleine Hohlzylinder kleben und sie an einem feinen Bügelchen aus Draht aufhängen (*b*), oder schließlich genügt auch ein einfaches Streifchen Seidenpapier an einem Faden (*c*). Eine Beobachtung kann man an dieser Stelle bereits machen, daß nämlich die Stärke der elektrischen Einwirkung mit der Entfernung sehr rasch abnimmt.

Der folgsame Spazierstock. Das nun zu beschreibende Experiment werden sich unsere Freunde sofort zu erklären wissen, wenn es sie auch durch die Eigenart seiner Form in höchstem Maße überraschen muß.

Man sucht sich einen Stuhl mit gerader, nicht geschwungener Lehne aus und legt quer über diese einen glatten Spazierstock. Nach einigen vergeblichen Versuchen wird er in der Wage liegen bleiben (Fig. 117). Dann nimmt man eine gewöhnliche gelbe Postkarte, zieht sie einigemal sehr kräftig zwischen dem angepreßten Arm und dem Körper hindurch und nähert sie dem einen Ende des Stockes, der sich dann sofort in Bewegung setzt und der Karte ganz nach Belieben nach rechts oder nach links folgt. Erhitzt man die Karte vorher stark über einer Lampe, so gelingt das Experiment besonders gut. Offenbar ist die Karte durch die Reibung elektrisch geworden und hat den unelektrischen Stock herangezogen. Dennoch werden gerade die mit elektrischen Experimenten Vertrauten am allerwenigsten auf diese Erklärung verfallen, denn, so sagen sie sich, wie sollte wohl eine elektrische Postkarte, die doch kaum fähig ist, ein leichtes Holundermarkkügelchen oder ein Papierschnitzelchen zu sich heranzuziehen, einen halbpfund-

schweren Spazierstock beeinflussen können? Dabei übersehen sie aber Eines. Das Gewicht des Stockes kommt nämlich bei unserem Versuch kaum in Frage, da er nur seitlich bewegt und nicht gehoben wird. Die ganze Arbeit besteht in der Überwindung der Reibung des Stockes auf der polierten Stuhllehne, und diese ist außerordentlich gering.

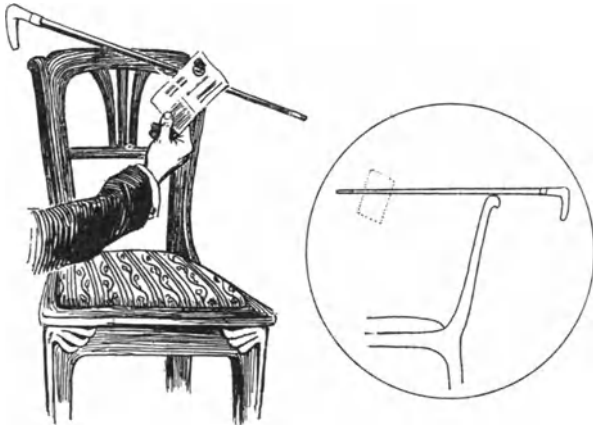


Fig. 117. Der folgjamte Spazierstock.

Ano-Kato. Mit diesem Namen wird ein Spielzeug in den Handel gebracht, das in amüsanter Form die elektrische Anziehung zeigt und deshalb hier beschrieben sein mag. In einen, außen und innen mit Stanniol beklebten Kasten

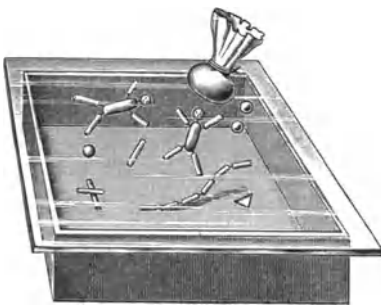


Fig. 118. Ano-Kato.

von etwa 3 bis 4 cm Höhe (Fig. 118) werden eine Anzahl verschiedener Körper aus Holundermark gelegt, große und kleine Kugeln, Stäbchen, kleine Schlangen und winzige Hampelmänner, deren Holundermarkglieder auf Fäden gezogen sind. Auf den Kasten wird eine gut getrocknete gewöhnliche Fensterscheibe gedeckt

und das Experiment kann beginnen. Die Figuren liegen träge auf dem Boden des Kastens, sobald man jedoch die Scheibe mit einem Bausch aus Leder oder aus Seide stark reibt, kommt Leben in die

Verjammung. Sie recken ihre Glieder und richten sich schließlich auf, die leichteren springen an die Decke und bleiben dort hängen. Hört die Reibung auf, so fallen sie wieder zu Boden, bleiben aber noch eine Weile auf den Füßen stehen und sinken dann um, nur noch hin und wieder ein Glied, wie im Traume, bewegend.

Elektrische Beeinflussung eines Wasserstrahles. Wir wissen bereits, wie man sich auf einfache Weise mit hochgestelltem Gefäß, Heber und Glasröhrchen Spitze einen Springbrunnen herstellt (S. 95). Wir

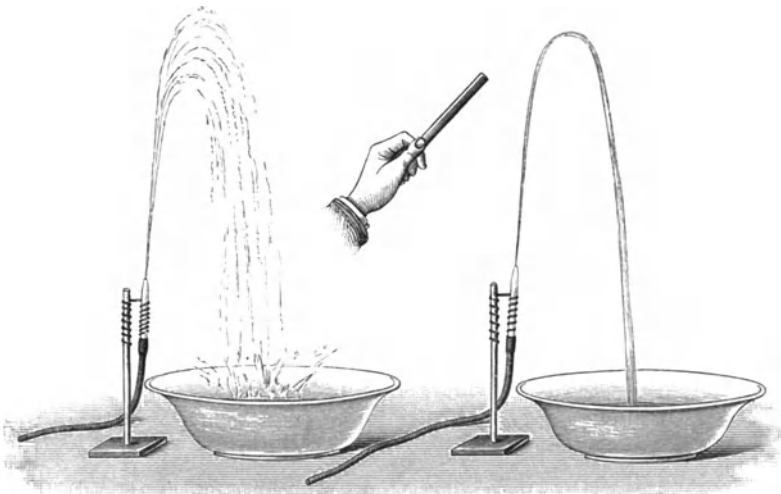


Fig. 119. Merkwürdiges Verhalten eines Wasserstrahles.

verfahren hier nach dieser Methode, lassen jedoch den Strahl, der eine Höhe von vielleicht 50 cm haben kann, seitlich in eine Waschküffel fallen. Die Stärke der Ausflußöffnung ist nicht gleichgültig und darf für unseren Versuch 2 mm nicht überschreiten. Der schräg aufsteigende Strahl bildet, durch keine herabfallenden Wassermassen behindert, eine zierliche Garbe, die sich schließlich in einen zarten Tropfenregen auflöst. Nähert man jedoch eine geriebene Hartgummi-, Glas- oder Siegellackstange dem Strahl, so verändert er sofort sein Aussehen (Fig. 119). Die Garbe zieht sich zusammen, die Tropfen vereinigen sich, und es entsteht ein klarer, ruhiger Strahl, der, ohne zu plätschern und zu spritzen, in die Schüffel fällt. Dieses Experiment verdient auf jeden

Fall gemacht zu werden, denn es ist nicht nur in höchstem Grade überraschend, sondern auch völlig sicher. Ein Mißlingen kommt dabei gar nicht vor.

Von den Leitern und Nichtleitern. Bei unseren Versuchen traten mehrere Körper als Träger der Elektrizität auf, ein Hartgummi-
stab, eine Siegellackstange und eine Glasröhre. Des Bernsteins taten wir Erwähnung. Man hat selbstverständlich ein großes Interesse daran gehabt, möglichst viele Körper auf ihre elektrischen Eigenschaften hin zu untersuchen und fand sehr bald, daß man sie offenbar zwei Gruppen zuteilen müsse. Während nämlich die Harz- und Glasforten, Leder, Seidenzeuge u. a. m. sich leicht elektrifizieren ließen, nahmen die Metalle, der menschliche Körper und andere Gegenstände, auch bei der heftigsten Reibung, keine Spur von Elektrizität an. Man glaubte daher mit Fug und Recht die elektrischen Körper von den unelektrischen unterscheiden zu müssen, aber man irrte. Denn, wie man heute weiß, können alle Körper mehr oder minder elektrisch werden und nur ein Unterschied ist dabei: über die eine Gruppe der Körper breitet sich der elektrische Zustand nicht aus, über die andere dagegen völlig, oder man könnte auch sagen, die erste Gruppe leitet, im Gegensatz zur zweiten, die Elektrizität nicht. Statt der sogenannten elektrischen Körper haben wir heute also Nichtleiter (oder Isolatoren); statt der unelektrischen, Leiter der Elektrizität. Durch folgende Überlegung läßt sich Klarheit über diese Verhältnisse gewinnen.

Wir reiben einen Glasstab an seinem Ende. Er wird elektrisch, aber da er ein Nichtleiter (Isolator) ist, bleibt die erzeugte Elektrizität hier sitzen und kann am Holundermarkkügeln nachgewiesen werden. Ein Metallstab dagegen wird zwar ebenfalls während der Reibung elektrisch, aber die eben erzeugte Elektrizität breitet sich sofort über den ganzen Stab aus und fließt über unseren Körper, der ebenfalls ein Leiter ist, nach der Erde ab. Man kann sich wohl vorstellen, daß keine Spur von Elektrizität auf dem Stabe mehr nachweisbar ist, wenn sich schließlich die kleine Quantität über die ganze Erde verteilt. Verhindert man, wie es der Engländer Gray tat, dem wir die Aufklärung über diese Verhältnisse verdanken, das Abfließen durch Zwischenschaltung eines Isolators, etwa indem wir den Metallstab in eine Glasstange fitten und diese anfassen, so läßt sich ganz gut auch auf dem Metall der elektrische Zustand nachweisen.

Dieser neue Satz von den Nichtleitern und Leitern ist so wichtig und für das Verständnis alles Folgenden so nötig, daß wir glauben, ihn durch ein einfaches Experiment belegen zu müssen.

(Fig. 120.) Zwischen zwei Bücherstapel sind zwei Glasröhren *G* eingeklemmt, die etwa 15 cm weit hervorstehen. Auf die Glasröhren legt man irgend einen starken Metalldraht *S* und stellt an das eine Ende unser schon öfter benutztes Holundermarkpendelchen, so etwa, daß das Kügelchen 1 cm vor dem Drahtende schwebt. Damit der Draht (oder Stab) nicht rollt, wird es gut sein, ihn mit Schnur an den Röhren festzubinden. Streicht man darauf eine geriebene Glasstange über das andere Ende des Drahtes, so geht — durch „Mitteilung“ — Elektrizität auf den Draht über und man bemerkt sofort, wie das

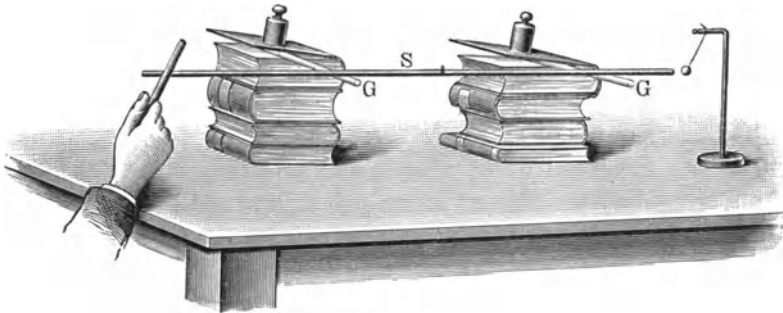


Fig. 120. Die Ausbreitung des elektrischen Zustandes (Leiter und Nichtleiter).

Holunderkugeln auf der anderen Seite angezogen wird. Der elektrische Zustand hat sich mithin über den ganzen Stab (der ein Leiter ist) verteilt; er wurde aber an seiner Ausbreitung nach der Erde hin durch die Glasröhren verhindert, die Isolatoren sind. Legt man dagegen einen Glasstab auf die Röhren, so mag man ihm auf der einen Seite so viel Elektrizität mitteilen, als man nur will, das Pendel auf der anderen Seite rührt sich nicht, zeigt dagegen sofort eine starke Anziehung, wenn man es auf die elektrifizierte Seite hinüberbringt.

Zweierlei Arten elektrischer Zustände. Wir müssen annehmen, daß unsere Leser die in diesem Buche angegebenen physikalischen Versuche nicht nur ausführen, sondern auch verstehen wollen. Deshalb fahren wir zunächst hier in der Aufzählung einiger leicht anzustellender Experimente fort, die zu neuen Anschauungen über das Verhalten elektrifizierter Körper führen. Die Apparate sind bereits vorhanden.

Wir nähern zunächst einen geriebenen Glasstab einem unserer Holundermarkpendelchen. Es wird angezogen, wie bisher. Wir nähern den Stab noch weiter, plötzlich fliegt das Kügelchen gegen ihn, berührt ihn und empfängt etwas von seiner Elektrizität. Von diesem Augenblick an ist es in seinem Verhalten wie verwandelt. Es wird nun von dem Stabe nicht mehr angezogen, sucht ihm vielmehr auf alle Weise auszuweichen und erst, wenn wir es mit dem Finger berührt und seine elektrische Ladung zur Erde abgeleitet haben, fliegt es dem Stabe wieder entgegen. Dasselbe Experiment gelingt auch mit einer Siegellackstange. Erst Anziehung, Berührung, Mitteilung und dann Abstoßung. Wir lassen jetzt dem Kügelchen die Ladung und nähern eine geriebene Glasstange. Sofort wird das Kügelchen heftig angezogen. Während mithin ein von der Glasstange geladenes Kügelchen von dieser abgestoßen wurde und ein von der Siegellackstange geladenes von dieser ebenfalls, wurde ein von der Siegellackstange geladenes Kügelchen von der Glasstange angezogen und umgekehrt, wie uns ein Versuch belehren konnte. Es bleibt nun kein Zweifel mehr, wir müssen der auf der Glasstange erzeugten Elektrizität andere Eigenschaften zuschreiben als derjenigen auf dem Glasstabe, d. h. wir werden gezwungen, zwei verschiedene Elektrizitäten voneinander zu unterscheiden, die wir einstweilen Glaselektrizität und Harzelektrizität nennen wollen. Über ihr gegenseitiges Verhalten können wir sagen: gleichnamige Elektrizitäten (Glas und Glas — Harz und Harz) stoßen sich ab, ungleichnamige Elektrizitäten (Glas und Harz) ziehen sich an.

Alle von uns bisher gefundenen Grundgesetze kann man an den Pendeln zeigen.

1. Ein ungeladenes Pendel wird von einem geladenen angezogen.

Satz: Ein elektrischer Körper zieht einen unelektrischen an.

2. Zwei mit Glaselektrizität oder mit Harzelektrizität geladene Kugeln streben auseinander (Fig. 121, 1). Satz: Gleichnamige Elektrizitäten stoßen sich ab.

3. Zwei Kügelchen, das eine mit Glaselektrizität, das andere mit Harzelektrizität geladen, ziehen sich an (Fig. 121, 2). Satz: Ungleichnamige Elektrizitäten ziehen sich an.

Unseren Lesern wird es nunmehr verständlich sein, daß wir die Stativbeine aus Glas fertigen und die Holunderkugeln an seidenen Schnüren aufhängen mußten, um das Entweichen der elektrischen Ladung zu verhindern. Dabei wollen wir gleich erwähnen, daß uns bei diesen und

allen anderen, die Reibungselektrizität betreffenden Versuchen die Witterung oft einen bösen Streich spielt. Die trockene Luft ist nämlich ein recht guter Isolator und ebenso, was viele nicht glauben wollen, auch die feuchte. Bei feuchter Witterung bildet sich jedoch leicht ein leitender Niederschlag auf Apparaten und Stativen und läßt die Ladung nach

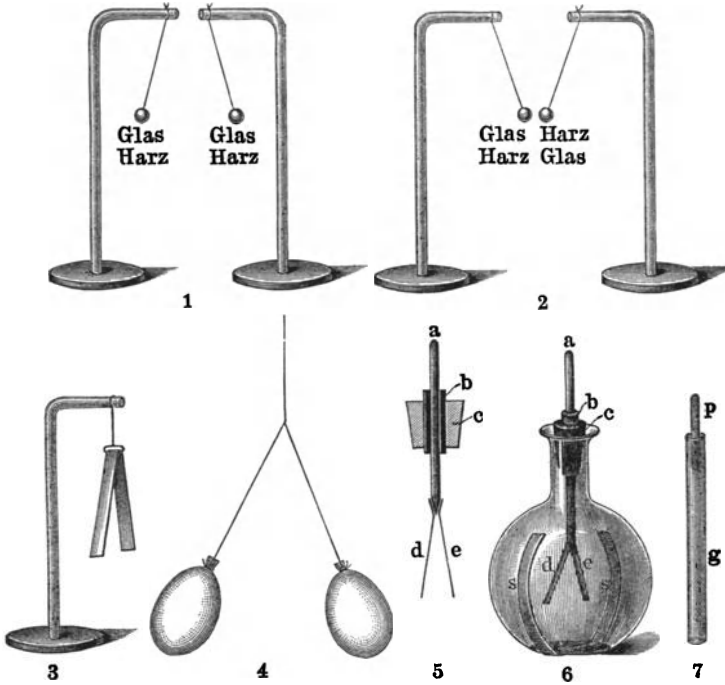


Fig. 121. Elektroskope.

der Erde hin entweichen. Man tut daher gut daran, alle Glasteile vor dem Versuche mit einem warmen, wollenen Lappen abzureiben.

Ein derartiges Pendelchen, so unscheinbar es aussieht, ist jedenfalls sehr geeignet, das Vorhandensein elektrischer Ladung auf einem Körper nachzuweisen. Man könnte sagen, daß man mit seiner Hilfe das Vorhandensein von Elektrizität schauen kann und hat es deshalb auch ein „Elektroskop“ (*σκοπεῖν* = schauen) genannt, wenn man es auch nicht gerade in dieser Form benutzt. Viel zweckmäßiger ist folgende Vorrichtung.

Ein etwa 20 cm langes und 1 bis 2 cm breites Streifchen aus leichtestem Seidenpapier wird in der Mitte gefnickt (Fig. 121, 3) und mittels eines kleinen Drahtbügels an dem Glasstativ aufgehängt. Die Blättchen hängen dann schlaff nebeneinander herab. Streicht man jedoch mit einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange oben über den Draht, so treten augenblicklich die Blättchen auseinander, da sich ihnen die Elektrizität mitgeteilt hat und sie jedenfalls gleichnamig elektrisch geworden sind, gleichgültig, ob die Elektrizität Glas- oder Harz- Elektrizität war.

Je leichter die Blättchen sind, desto empfindlicher sind sie, um so mehr muß man sie jedoch auch vor Zugluft hüten, am besten durch Einschluß in ein Glas. Es ist unseren Lesern durchaus zu empfehlen, sich ein empfindliches Elektroskop anzufertigen, um so mehr, als die Herstellung eigentlich ohne große Mühe geschehen kann. Die Blättchen *de* (Fig. 121, 5 und 6) bestehen aus unechtem, in den Papierwarenhandlungen käuflichem Blattgold und sind mit Eiweiß an einem dicken Draht *a* befestigt, der unten mit zwei schrägen Flächen zugescharft, oben aber rundgefeilt und mit Schmirgelpapier poliert ist. Die Goldblättchen sollten etwa 4 bis 5 cm lang, aber nicht breiter als 2 bis 3 mm sein. Am besten schneidet man die Goldfolie zusammen mit dem Papier, zwischen dem sie liegt, und nimmt dann erst die Blättchen auseinander. Das Eiweiß wird auf den Drahtstab gestrichen und dieser auf die Blättchen gedrückt, nicht umgekehrt. Um eine durchaus gute Isolation gegen die Erde zu erzielen, kittet man den Draht mit Siegellack zunächst in das Glasröhrchen *b* und steckt erst dieses durch den Kork *c*. Zum Schutz eignet sich ein dünnwandiges Gefäß am besten, vorzüglich die Kochfläschchen der Chemiker, die in allen Größen zu haben sind. Bevor man die Vorrichtung einsetzt, ist es durchaus nötig, die Flasche durch starkes Erhitzen sorgfältig auszutrocknen. Zum Schluß überzieht man Glasröhrchen, Kork und den Rand des Flaschenhalses noch mit Siegellack und kann so sicher sein, alles für die Isolation getan zu haben. Die Wirkung des Elektroskops wird noch erhöht, wenn man von außen, und zwar in der Ebene, in der die Blättchen sich bewegen, einen Stanniolstreifen *SS*, der um den Boden der Flasche herumgeht, befestigt.

Ein derartiges Elektroskop ist nun für die direkte Einwirkung eines geriebenen Stabes viel zu fein. Die Blättchen kämen in die Gefahr, umzuknicken und zu zerreißen. Um dennoch die Art der Elektrizität

untersuchen zu können, bedient man sich des sogenannten Probestäbchens (Fig. 121, 7). Seine Anfertigung macht kaum eine nennenswerte Mühe, denn es besteht nur aus einem Glasröhrchen *g* als Handhabe, in das ein beiderseits rundgefeiltes, starkes Stückchen Draht mit Siegellack eingekittet ist. Mit diesem Stäbchen berührt man den auf seine elektrische Beschaffenheit zu untersuchenden elektrischen Körper, erhält durch Mitteilung etwas von der Elektrizität und bringt sie so auf das Elektroskop hinüber, das bei *a* berührt wird. Die Blättchen streben dann mehr oder weniger auseinander.

Kollodiumballone als Elektroskop. Sehr hübsch und vielen Zuschauern sichtbar, kann die Abstoßung an zwei großen, mit Luft gefüllten Kollodiumballonen gezeigt werden, die an einem seidenen Doppelfaden, der jedoch mindestens zwei Meter lang sein muß — in der Abbildung (Fig. 121, 4) ist er der Raumerparnis wegen zu kurz gezeichnet —, zunächst einträchtig nebeneinander hängen. Streicht man sie jedoch mit den Händen oder berührt man sie gar beide mehrere Male mit dem geriebenen Glasstabe, so sind sie elektrisch geworden und streben weit auseinander, was einen sehr sonderbaren Anblick gewährt, da sie so scheinbar allen Gesetzen der Schwere Hohn sprechen. Bei trockener Luft hat man seine liebe Not, die Ballone zu entladen und wieder aneinander zu bringen. Denn, wenn man auch die Hände ruhig an den Ballon legt, so ist doch eine Reibung dabei nie ganz zu vermeiden, die stets von neuem wieder Elektrizität erzeugt. — Wie man Kollodiumballone anfertigt, wissen wir bereits (S. 55).

Positive und negative Elektrizität. Mit unserem Goldblattelektroskop machen wir eine neue Entdeckung. Wir nehmen zunächst mit dem Probestäbchen Glaselektrizität ab und bringen sie auf das Elektroskop. Die Blättchen gehen etwas auseinander. Darauf bringen wir von neuem Elektrizität herüber und der Ausschlag wird größer, ein Beweis, daß man Glaselektrizität zu Glaselektrizität hinzufügen kann und auf diese Weise mehr Elektrizität erhält. Ist das Elektroskop durch Berührung mit dem Finger entladen, so läßt sich das gleiche Experiment auch mit Harzelektrizität ausführen. Der Gedanke liegt nun sehr nahe, zu der Harzelektrizität einmal Glaselektrizität hinzuzufügen. Der Erfolg ist allerdings sonderbar genug, denn der Ausschlag der Blättchen wird nun kleiner statt größer, und verschwindet

ganz, wenn wir von der Glaselektrizität gerade ebensoviel auf die Blättchen bringen, als wir vorher Harzelektrizität hinzugefügt hatten. Das ist etwas für uns völlig Neues: Ungleichnamige Elektrizitäten ziehen sich nicht nur an, sie heben sich in ihrer Wirkung auch gegenseitig auf, fast so wie Schulden und Vermögen. Legt jemand zu seinem Vermögen oder zu seinen Schulden etwas hinzu, so wächst entweder sein Vermögen oder seine Schulden. Macht er aber ebensoviel Schulden, wie er Vermögen hat, dann besitzt er gar nichts. Sie heben sich gerade so auf wie etwa $+4$ und -4 , kurz, wie zwei gleich große Zahlen mit verschiedenem algebraischen Vorzeichen. Derartige Vergleiche heranziehend, hat man denn auch die eine Elektrizität positiv, die andere negativ genannt. Welche von beiden nun die positive sein soll, ist freilich gleichgültig, man hat sich jedoch dahin geeinigt, die Glaselektrizität positiv, die Harzelektrizität negativ zu nennen. In der Folge soll nun der Kürze halber nur noch von positiver und negativer Elektrizität die Rede sein.

Wir wollen unsere Leser noch darauf aufmerksam machen, daß das kleine Goldblattelektroskop sich vorzüglich zur Projektion mit der Laterna magica eignet (S. 223).

*** Der Elektrophor.** Die Menge der auf einer Glasstange oder einem Siegellackstabe erzeugten Elektrizität ist außerordentlich gering und wäre für die meisten unserer Experimente bei weitem nicht ausreichend. Zwei Maschinen jedoch, der Elektrophor und die Reibungselektifiziermaschine, liefern sie reichlich genug. Der Elektrophor ist die einfachere und genügt schon für viele Versuche.

Will man etwas daran wenden, so kann man sich die Blechteile des Apparates vom Klempner anfertigen lassen. Die Größenverhältnisse sind zwar ziemlich unwesentlich, doch wird man sie nicht zu gewaltig nehmen. Der Verfasser besitzt einen Elektrophor (zu deutsch Elektrizitätsträger) von folgender Konstruktion. Auf eine runde Blechscheibe von 20 cm Durchmesser A (Fig. 122) ist ein 3 cm hoher, nicht zu schwacher Rand aufgelötet, so daß ein kuchenblechähnliches Gefäß entsteht. Es ist bis 2 mm unter seinen Rand ausgefüllt mit einer harzigen Masse. Man hat für die Zusammensetzung der Elektrophormasse viele Vorschriften gegeben, doch ist die einfachste gerade die beste. Man schmilzt danach Kolophonium in einer Kelle und gießt die heiße flüssige Masse, die jedoch mit der offenen Flamme des Feuers nicht in

Berührung kommen darf, in die warme und völlig wagerecht gestellte Form, wo sie alsbald erstarrt. Etwa sich zeigende Blasen werden mit einer warmen Nadel aufgestochen. Der Verfasser hat gefunden, daß man noch viel einfacher verfahren kann, indem man die Blechform selbst als Schmelzkelle benutzt. Das Kolophonium wird in kleine Stücke gestoßen und in ausreichender Menge in die Form gelegt, worauf diese einen Platz auf der warmen Herdplatte erhält. Nach einiger Zeit sind die Stücke zu einer ebenen Schicht eingeschmolzen, die nach dem Erkalten schönen Glanz zeigt. Allerdings wird sie mit der Zeit durch

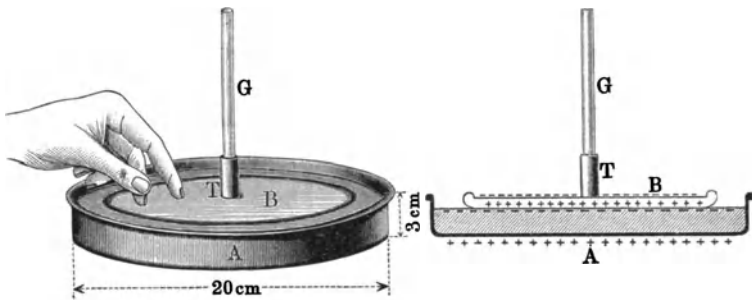


Fig. 122. Elektrophor.

Bruch unwirksam und man hat daher einen Zusatz von Wachs empfohlen. Da man jedoch jederzeit den Kuchen durch Umschmelzen wieder brauchbar machen kann, ist er unnötig.

Auf den Kuchen kommt ein Teller von Blech *B* zu liegen, im Durchmesser etwas kleiner als dieser selbst, so daß er an keiner Stelle den Rand berührt. Er muß aus festem Blech völlig eben gefertigt sein und einen umgebogenen, womöglich durch Feilstriche wohl geglätteten und gerundeten Rand haben. In der Mitte wird eine Blechtülle *T* aufgelötet, in die dann mit Siegellack eine starke Glasröhre *G* eingefittet wird, um als Handhabe zu dienen. Zur Not kann man den Deckel auch an drei Seidenschnüren halten. Alle Ecken und Kanten werden abgerundet. Dann ist der Apparat fertig. Um ihn in Betrieb zu setzen, reibt man die ganze Fläche des Harzkuchens sehr stark mit einem trockenen Seidentuche ab, setzt dann den Deckel auf und berührt ihn an seiner Oberfläche mit dem Finger. Hebt man ihn darauf bei der Glasröhre wieder ab und nähert ihn dem Fingerknöchel der anderen Hand, so springt unter leisem Knacken ein kleines Fünkchen über.

Wollen unsere Leser die Ausgabe beim Klempner vermeiden, so genügt auch statt der Form ein Tablett passender Größe, statt des Deckels eine an den Kanten mit der Feile sauber abgerundete und mit Stanniol überzogene Scheibe von sehr dicker Pappe und statt des Glasgriffes eine aufgeklebte Siegellackstange.

Wie erklärt sich nun aber das Verhalten des Elektrophors? Wir wissen bereits, daß gleichviel positive und negative Elektrizität, auf einem Körper vereinigt, einen unelektrischen Zustand ergibt. Es steht daher gar nichts im Wege, jeden unelektrischen Körper als behaftet mit gleichen Teilen positiver und negativer Elektrizität anzusehen. Daß unser Elektrophor auf seinem Deckel Elektrizität zeigt, ist, wie wir gleich sehen werden, ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht. Als wir den Kuchen rieben, wurde er auf seiner Oberfläche elektrisch, und zwar, da es sich um Harz und Seide handelte, nach unserer Ausdrucksweise negativ elektrisch. Da ungleichnamige Elektrizitäten einander anziehen, holt diese negative Elektrizität andersnamige von der Erde soweit wie möglich heran, d. h. bis auf den Blechboden des Kochens. Daß beide Elektrizitäten, trotzdem sie dazu das Bestreben haben, sich vereinigen, verhindert der isolierende Harzkuchen. Aber sie halten sich hier, wie man sagt, „gebunden“, und die eine kann nicht fort, ehe nicht die andere auch verschwindet. (Rechte Hälfte der Fig. 122.)

Nun wird der Blechdeckel aufgesetzt. Die negative Elektrizität der Kuchenoberfläche kann aus dem eben genannten Grunde nicht auf ihn übergehen, aber ihr Vorhandensein „beeinflusst“ (der Physiker sagt „influenziert“) die im Deckel als an und für sich unelektrischem Körper enthaltenen Elektrizitäten. Die positive wird nach unten gezogen, die negative soweit als möglich abgestoßen, also bis zur Oberfläche des Deckels. Dieses Bild der elektrischen Verteilung stellt unsere Figur dar. Hebt man den Deckel ab, so gehen die beiden Elektrizitäten wieder ineinander über und er erscheint unelektrisch, berührt man ihn jedoch vorher, so entweicht die negative Elektrizität durch den Körper in die Erde, und der Deckel erweist sich dann als mit positiver Elektrizität geladen. Berührt er einen anderen Gegenstand, so geht die Elektrizität auf diesen über, der Deckel wird unelektrisch und das Spiel kann von neuem beginnen. Es hat den Anschein, als könnte dieser Vorgang unzählige Male wiederholt werden, da die einmal auf dem Kuchen erzeugte Elektrizität durch Bindung auf ihm haften bleibt und nur beeinflussend wirkt. Das ist nun doch nicht der Fall, denn die Funken-

entladungen werden mit der Zeit schwächer. Da der Kuchen und die Luft schließlich immer etwas feucht sind, verliert sich nämlich die ursprünglich erzeugte Ladung und der Kuchen muß von neuem gerieben werden. Wäre aber dieser Verlust nicht, dann müßte in der Tat der Elektrophor unbegrenzt Elektrizität liefern können. Der aufmerksame Leser freilich wird sehr geneigt sein, hinter diese Worte einige Fragezeichen zu setzen und den Verfasser daran zu erinnern, daß immer zur Erzeugung des elektrischen Zustandes auch ein Arbeitsaufwand nötig sei und man unmöglich von einem einmal erzeugten, begrenzten Quantum beliebig viel Elektrizität erhalten könne. Der Verfasser beantwortet diese Frage mit einer anderen: Was würde sich der Leser wohl vergüten lassen, wenn man ihn tagsüber anstellte, den Deckel zu berühren, abzuheben und auf irgend einen Gegenstand zu entladen? Sicherlich nicht zu wenig für seine Arbeit. Sie ist es aber, welche die elektrische Erscheinung hervorbringt, denn der auf dem Kuchen ruhende Teller bleibt unelektrisch.

*** Von der Anfertigung einer Reibungselektrifiziermaschine.** Bei einer Reibungselektrifiziermaschine wird ein Isolator in Umdrehung versetzt, wobei er sich gegen einen anderen reibt, außerdem enthält eine derartige Maschine eine Vorrichtung, welche die erzeugte Elektrizität von dem rotierenden Körper abnimmt und sie ihrer Verwendungsstelle zuführt. Die Gestalt der Maschine kann sehr mannigfaltig sein. In der vorigen Auflage des „Physikalischen Spielbuchs“ besprachen wir die Anfertigung einer Scheibenelektrifiziermaschine. Das Baumaterial zu dieser, ehemals aus kleinen Ersparnissen noch zu bestreiten, ist heute unerschwinglich teuer geworden. Wir begnügen uns daher mit der Anfertigung einer, allerdings weniger wirksamen, Zylindermaschine.

Die Zylindermaschine ist in vieler Beziehung leichter herzustellen als die Scheibenmaschine. Wir geben für unsere Leser die allereinfachste Form an (Fig. 123). Der geriebene Körper ist eine Weinflasche *F* aus ganz gewöhnlichem, grünem Glase. Mit dem Kork zusammen ist auch die Kurbelachse *K* eingefittet. Die beiden Lagerböcke *B* haben die Form derjenigen der Scheibenmaschine, nur sind sie niedriger und nur der eine hat eine Durchbohrung für die Achse und kein geteiltes Lager. Auf der anderen Seite wird die Flasche durch eine Holzschraube *S* gehalten, die in eine Vertiefung eines in

den hohlen Flaschenboden eingefetteten Holzkeiles eingreift. Mit dieser Schraube hat man es stets in der Hand, die Flasche so weit nach dem anderen Lager hinüber zu drücken, daß eine Verschiebung der Achse nicht möglich ist. Wenn der Zwischenraum zwischen den Lagerböden zu groß geraten ist, kann man auf der Kurbelseite noch einen oder mehrere Pappringe *P* einlegen.

Das Reibzeug besteht aus einem mit Zell-, Leder- oder Seidenpolster versehenen, etwa 4 bis 5 cm breiten Brettchen *R*, das von unten durch zwei starke Spiralfedern fest gegen die Flasche gedrückt

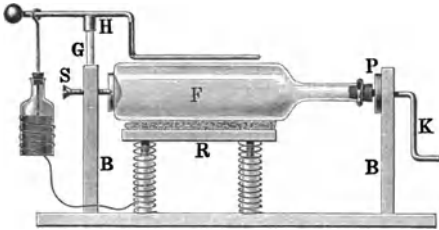


Fig. 123. Einfache Zylinderelektrifiziermaschine aus einer Weinflasche.



Fig. 124. Elektrischer Kugeltanz.

wird. Eine Führung erreicht man leicht, wenn man in das Grundbrett zwei stärkere, in das Reibzeug zwei dünnere Glasröhren einfittet, die sich ineinander hineinschieben können.

Dreht man die Flasche, so wird sie durch Reibung auf ihrer ganzen Oberfläche elektrisch. Zum Auffangen und Ansammeln der Elektrizität dient der „Konduktor“. Er ist so einfach als möglich. Auf dem linken Lagerbock ist eine starkwandige Glasröhre *G* eingefittet, die mit einer Hülse *H* aus dünnem Messingblech den Konduktordraht trägt. Er ist auf der einen Seite mit einer Kugel versehen und auf der anderen so heruntergebogen, daß er sich der Flasche bis auf etwa 3 mm nähert. Messingdraht von der Stärke eines schwachen Bleistiftes läßt sich im Schraubstock noch ganz gut biegen, und man sollte den Konduktor daher nicht schwächer anfertigen. Die Hülse *H* muß durch Lötung mit dem Draht verbunden und die Lötstelle mit der Feile sauber geglättet werden. Auch ist es durchaus nötig, die Ränder der Hülse stumpf aneinanderzulöten oder doch, falls das Blech übereinander greift, die Kante abzurunden. Wer die Lötstellen ganz umgehen will,

kann auch den Draht mit Siegellack gleich auf der Glasröhre festfitten, erhält aber dann natürlich eine sehr zerbrechliche Arbeit.

Damit die elektrische Ladung von dem Reibkissen bis zum Konduktordraht, der an seinem Ende gut rundgefeilt sein muß, nicht verloren geht, ist es gut, um diesen Teil der Flasche einen leichten Lappen von echter Seide zu legen. Man macht ihn so lang wie das Reibzeug und eine Wenigkeit breiter als den Durchmesser der Flasche. Wird er dann am Holz des Reibzeuges befestigt, so schmiegt er sich bei der Drehung der Flasche an und deckt sie bis nahe zum Konduktor.

Die Abbildung zeigt, angehängt an den Konduktor, eine kleine Leidener Flasche, deren Zweck und Wirkung später besprochen wird.

Die durch Reibung auf der Flasche erzeugte Elektrizität wird von ihr bis zum Konduktor mitgenommen. Hier beeinflußt sie die in diesem vorhandenen beiden Elektrizitäten, indem sie die andersnamige zu sich heranzieht, namentlich, wenn der Konduktordraht an seiner der Flasche gegenüberliegenden Seite mit der Feile rauh eingekerbt wird. Im Konduktor wird mithin Elektrizität frei, die man, unter der Begleiterscheinung von Fünkchen, mit dem Fingerringel aus dem Konduktorknopf herausziehen kann. Niemals aber kann man, wie gestaltet die Maschine auch sein mag, eine der beiden Elektrizitäten allein erzeugen, ebensowenig, wie man in der Ebene ein Loch graben kann, ohne gleichzeitig einen Berg aufzuwerfen. Wird der Konduktor positiv, so ist das Reibzeug negativ und umgekehrt. Ist das Reibzeug von der Erde isoliert, so kann man aus ihm ebenfalls Funken ziehen (in unserer Konstruktion ist dies nicht der Fall). Jede Maschine liefert also positive und gleichzeitig ebensoviel negative Elektrizität. Das ist sehr wichtig.

Der Kugeltanz. Mit Hilfe der Reibungselektrifiziermaschinen können alle Versuche über Anziehung und Abstoßung besonders eindrucksvoll gezeigt werden. Die folgenden elektrischen Spielereien beziehen sich alle auf diese Erscheinung, sie bringen also nichts Neues, sind aber wohl geeignet, namentlich unsere jüngeren Leser zu unterhalten.

Man hält ein gewöhnliches Becherglas und ein Stückchen Stanniol, etwas größer als die Öffnung des Glases, bereit. Das Stanniolplättchen wird flach auf den Tisch gelegt und darauf eine Anzahl kleiner Holundermarkkügelchen verschiedener Größe. Dann treibt man die Elektrifiziermaschine stark an und stülpt das Glas über den Knopf

des Konduktors, so zwar, daß dieser nacheinander möglichst mit allen Teilen der Wandung in Berührung kommt. Darauf stürzt man das Glas über die Kugeln (Fig. 124) und sofort beginnen sie sich wie toll zu gebärden. Sie schnellen empor bis zum Boden des Glases, schießen wieder herab, jagen durcheinander, bleiben wohl auch eine Zeitlang an den Wandungen kleben, um dann in planlosen Zickzacklinien den Raum zu durchfliegen, kurz und gut, es entsteht eine heillose Verwirrung. Mit der Erklärung werden wir schnell bei der Hand sein. Die innere Glaswandung war an der Maschine völlig mit Elektrizität durch Mitteilung geladen worden. Da das Glas ein Nichtleiter ist, mußte jede Stelle besonders mit dem Konduktor in Berührung kommen. Gegenüber dem Glase spielen die Kügelchen die Rolle unelektrischer Körper. Sie werden angezogen und fliegen zunächst nach der Seite oder nach oben — je nach ihrer Lage und Schwere — gegen die Wandungen. Dort werden sie durch Mitteilung elektrisch, gleichnamig mit der Glaswand und deshalb von ihr abgestoßen. Sie fliegen nach dem Boden, um dort ihre Elektrizität an die Erde abzugeben, und das Spiel beginnt von neuem. Es kann auch wohl der Fall eintreten, daß ein unelektrisches Kügelchen gerade aufsteigt, während ein elektrisches herabkommt. Beide ziehen sich nach dem bekannten Satze an und es entsteht nun zwischen beiden ein oft zu beobachtendes Zaudern und Hin- und Herzerren, da keines recht weiß, ob es sich besser auf seinen Kameraden oder auf die Wandung oder den Boden stürzen soll.

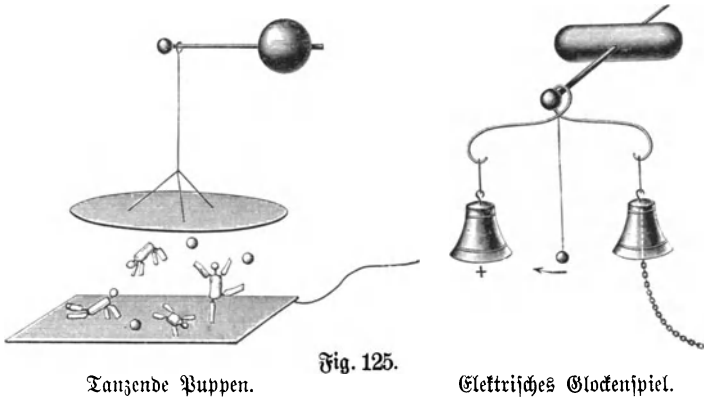
Tanzende Puppen. Einen dem vorigen ganz ähnlichen Scherz kann man auf folgende Weise machen. Man benutzt dabei die Elektrifiziermaschine selbst und hat dadurch den Vorteil, den Versuch so lange fortsetzen zu können, als man will.

Da hierbei stärkere Kräfte zur Verfügung stehen, braucht man sich mit einfachen Kugeln nicht zu begnügen, stellt vielmehr aus Holundermark kleine, etwa 2 bis 3 cm hohe Püppchen her, deren Körper und Glieder man durch Fäden zusammenhält.

An dem Konduktor der Maschine wird an dünnen Drähten eine runde Blechscheibe oder ein mit Stanniol beklebtes Pappstück (Fig. 125, links) aufgehängt, so, daß es vielleicht 5 oder 6 cm hoch über dem Tisch schwebt. Auf ein Stanniolblatt werden, gleichsam wie auf einen Teppich, unsere Akrobaten gelegt. Die über ihnen schwebende Scheibe ist der Baldachin. Es ist zwar nicht unbedingt nötig, aber doch von

sichtbarem Nutzen, das Stanniolblatt durch einen dünnen Draht mit dem Reibzeug der Elektrifiziermaschine zu verbinden.

Um die Vorstellung sich dramatisch abwickeln zu lassen, dreht man die Maschine anfangs sehr langsam. Die Akrobaten liegen noch teilnahmslos auf dem Boden, nur daß der eine oder andere vielleicht seinen Kopf etwas hebt und den Arm emporreckt, als erwache er aus tiefem Schlafe. Plötzlich richtet sich der Mutigste empor. Eine schnellere



Tanzende Puppen.

Fig. 125.

Elektrisches Glockenspiel.

Bewegung der Scheibe flößt ihm und vielleicht auch den anderen mehr Lebensfreude ein. Sie heben die Arme und drehen sich dann oft auf einem Beine herum, was sehr lustig aussieht. Nun ist es an der Zeit, die Maschine kräftig zu drehen, und wie auf Kommando beginnen die ergößlichsten Bocksprünge und Tänze. Einige Kugeln, den Figürchen hinzugefügt, erhöhen noch den Effekt, da man dann ganz den Eindruck hat, als handele es sich um eine heftige Fußballschlacht.

Zu Wahrheit aber haben die Männlein nur das eine Bestreben, die Elektrizitäten zwischen dem Baldachin und dem Teppich miteinander auszugleichen.

Elektrisches Glockenspiel. Kann man zwei gleich große, metallene Glöckchen beschaffen, so ist der Apparat schon so gut wie fertig. Sie werden an einem Drahtbügel, wie ihn Fig. 125 zeigt, nebeneinander und in gleicher Höhe aufgehängt. Ihr Abstand richtet sich nach der Stärke der Maschine, man mache ihn lieber geringer als zu groß (auf der Abbildung ist er viel zu groß gezeichnet). Für unsere Zylindermaschine dürfte ein Abstand von 2 bis 4 cm passend sein. Die eine

der Glocken ist an einer seidenen Schnur, die andere an einem Draht befestigt. An ersterer — auf unserer Abbildung rechts — ist außerdem ein Kettchen angebracht, das bis auf den Tisch herabreicht oder mit dem Reibzeug der Maschine verbunden wird. Zwischen beiden Glocken hängt an einer dünnen, seidenen Schnur ein leichtes Metallkugeln (am besten Aluminium oder eine kleine Hohlkugel) herab.

Sobald die Maschine gedreht wird, sieht man sich das Pendelchen der am Draht aufgehängten Glocke nähern. Es berührt sie schließlich und eilt dann, sie zart anschlagend, zwischen beiden Glocken hin und her. Offenbar ist nur die eine der beiden Glocken mit dem Konduktor in leitender Verbindung. Hier ladet sich das unelektrische Kugeln, um dann seine Elektrizität an die andere Glocke abzugeben, von wo aus sie durch die Kette zur Erde abfließt.

Wer Glocken nicht zur Hand hat, kann sich auch mit der elektrischen Spinne belustigen. Ihr Körper wird aus Hölzchen gefertigt, außerdem gibt man ihr Beine von Wachs und vielleicht auch einen Farbenanstrich, der sie der Natur entfernt ähnlich macht. Darauf hängt man die Spinne an einem langen seidenen Faden an einem Kronleuchter, einige Zentimeter vor dem Konduktor, auf. Sie wird sofort angezogen und fliegt dann zur Hand hinüber, falls man sie ihr entgegenstreckt. Sie scheut sich aber auch nicht, einem Neugierigen ins Gesicht zu fliegen. Im dunkeln Zimmer bemerkt man den elektrischen Ausgleich am Überjpringen kleiner Fünkchen.

Die elektrische Brettschaukel. (Fig. 126.) Auf einem Brette von etwa 20 bis 25 cm Länge ist eine Wippe aufgebaut. Alles an ihr ist möglichst leicht. Ein 2 cm breiter Streifen (B) aus Zigarrenkistenholz ist auf seiner unteren Seite mit Stanniol beklebt und stellt ein Brett dar. Quer unter seiner Mitte ist ein Glasröhrchen G mit Siegellack angeklebt, das auf beiden Seiten etwa 5 mm über das Brettchen hervorsteht. Es ist in der Seitenansicht deutlich zu erkennen. Durch dies Röhrchen geht die Achse in Gestalt einer Stopfnadel, die beiderseits in den Korken K_1 und K_2 befestigt wurde. Diese wieder stehen durch zwei Stopfnadeln mit den auf das Grundbrett geleimten Korken K_3 , K_4 in Verbindung und bilden so mit diesen zusammen einen ausreichend festen Boß für die Schaukel. Unter den Enden des Brettchens stellt man in gleicher Höhe, doch so, daß das Brett sich noch um 2 oder 3 cm bewegen kann, zwei Metallkugeln auf. Reihposten

oder Flintenkugeln eignen sich gut dazu. Die Kugel L_1 ist jedoch vom Boden durch eine Glasröhre isoliert, die Kugel L_2 dagegen nicht, sie wird auf einen Draht gelötet.

Ist der Apparat so weit fertiggestellt, dann setzt man zwei kleine Püppchen aus Wachs auf das Brett und gleicht ihr Gewicht so ab, daß die Schaufel in jeder Stellung stehen bleibt oder doch möglichst gleich belastet ist. Kann man dies nicht erreichen, so schadet ein Übergewicht auf der Seite der isolierten Kugel weniger als auf der anderen.

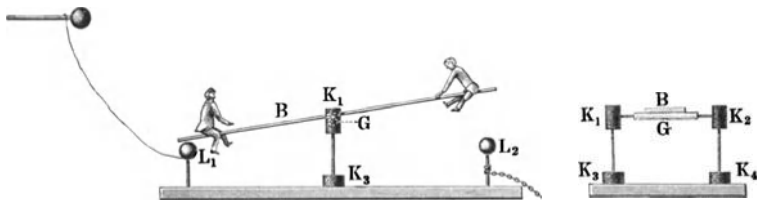


Fig. 126. Elektrische Brettschaukel.

Die Kugel L_1 wird mit dem Konduktor, die andere (nicht isolierte) durch eine Kette oder einen Draht mit dem Boden oder besser noch mit dem Reibzeug der Maschine verbunden. Beim Drehen der Maschine kommt die Schaufel sofort in Gang. Die Erklärung ist dieselbe wie beim Glodenpiel; der Versuch gelingt jedoch nur mit einer kräftigen Elektrifiziermaschine.

In ähnlicher Weise lassen sich mit der elektrischen Anziehung und Abstoßung hundert kleine Scherze ausführen. Unsere Leser mögen selbst unter die Erfinder gehen.

Mit der Elektrifiziermaschine ein Licht auszublasen. Das Experiment ist sehr überraschend und leicht auszuführen, da es eigentlich keiner Vorbereitungen bedarf. Man hat nur mit Wachs, doch so, daß eine Berührung stattfindet, eine Nähnadel an dem Konduktorknopf der Maschine zu befestigen. Verbindet man dann das Reibzeug gut mit der Erde und dreht die Maschine stark, so wird man an der vor die Spitze gehaltenen Handfläche, besonders wenn sie feucht ist, einen eigentümlichen „elektrischen“ Wind verspüren. Man kann sich dabei der Spitze auf geringe Entfernung nähern, ohne einen Schlag, der bei den Reibungsmaschinen ohnehin kaum fühlbar ist, befürchten zu müssen.

Hält man eine brennende Kerze vor die Spitze (Fig. 127), dann wird die Wirkung des Windes auch sichtbar und man meint jeden

Augenblick, die Flamme müsse verlöschen. Das tut sie jedoch nur, wenn man von vornherein den Docht so putzt, daß die Flamme klein und unsicher brennt und wenn es sich um eine sehr kräftige Maschine handelt.

Unsere Kenntnisse von der Anziehung und Abstoßung reichen aus, um die Erscheinung zu verstehen, obgleich wohl niemand gleich auf die richtige Erklärung verfallen wird. Vor allem muß einmal gesagt sein, daß man da nicht die Elektrizität leibhaftig als etwas „Windiges“ spürt. Die Sache liegt doch etwas anderes.

Legen wir uns die Frage vor, wie wohl die Elektrizität in einer geladenen, sonst aber von der Erde isolierten Kugel verteilt sein mag, wobei wir zunächst annehmen, daß es sich um eine Vollkugel handele

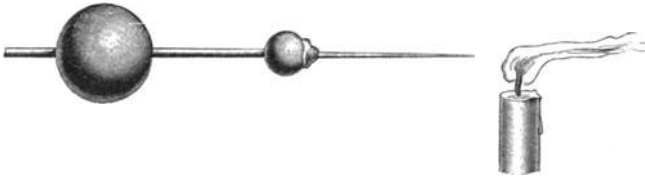


Fig. 127. Elektrischer Wind.

und diese mit positiven oder negativen, jedenfalls aber gleichnamigen Elektrizitätsteilchen gleichmäßig angefüllt sei. Dann ist dieser angenehme Zustand natürlich nur ein vorübergehender. Denn die Teilchen haben, als gleichnamig, den Wunsch, sich abzustößen und möglichst weit voneinander zu entfernen. Da die Kugel aus Metall ist und leitet, steht dem nichts im Wege. Doch die Kugel hört an ihrer Oberfläche auf und dort beginnt ein Isolator, die Luft. Die Elektrizitätsteilchen, d. h. die gesamte Ladung, wird mithin nicht im Innern der Kugel, sondern stets an der Oberfläche der Kugel sitzen, dort gleichsam — denn sie möchte ja noch weiter auseinandergehen — auf die Luft „drückend“. Es ist also für die Menge der elektrischen Ladung ganz belanglos, ob die Kugel voll oder hohl ist, und man zieht natürlich letzteres, weil es billiger ist, vor.

Wenn es sich nun nicht um eine Kugel, sondern etwa um einen langgestreckten Körper handelt, so wird auch hier die elektrische Ladung an seiner Oberfläche sitzen, aber sie wird nicht gleichmäßig verteilt sein, denn nach einer Richtung (der Längsrichtung) werden die Teilchen weiter auseinanderfliegen können als nach der anderen und daher diese

bevorzugen. Es sammeln sich mithin an den Enden die meisten Teilchen an, und der „elektrische Druck“ ist hier am größten. Übertreiben wir den Fall des Längskörpers nach Möglichkeit, so erhalten wir unsere Nadel. Ihre Länge ist im Verhältnis zu ihrem Durchmesser sehr groß, und fast alle Elektrizitätsteilchen werden sich daher in der Spitze zusammenfinden müssen, um hier mit vereinten Kräften einen ungeheuer starken Druck auszuüben. Diesem Druck kann selbst der Isolator, die Luft, nicht mehr widerstehen, und es kommt zu einem Ausströmen der elektrischen Ladung aus der Spitze, freilich nicht ohne tätigen Anteil der Luft selbst, deren Teilchen gleichsam den Transport der Elektrizität übernehmen, gerade wie die Kügelchen beim Kugeltanz. Denn die Luftteilchen — die Stäubchen in der Luft ebenfalls nicht zu vergessen — sind unelektrisch, werden gegen die Spitze gezogen, dort geladen und als gleichnamig elektrisch abgestoßen. So entsteht ein Luftstrom seitlich nach der Spitze hin und in der Mitte von der Spitze fort. Den Luftstrom spüren wir und die Kerzenflamme auch.

Dieses Experiment erklärt aber auch, warum alle Teile an Elektrifiziermaschinen rund ausgeführt werden. Denn jede Unebenheit, jede Kante und Spitze bedeutet eine offene Tür für die Elektrizität. Kann sie nicht entfliehen, so wird ihr Druck um so größer, je mehr Elektrizität die Maschine auf der Oberfläche ihrer Teile anhäuft, und die Elektrizität befindet sich dort, wie man sagt, im Zustande der „Spannung“.

Das elektrische Flugrad. Wir erinnern unsere jungen Leser an alles, was sie im Kapitel „Mechanik“ über den Rückstoß gelesen

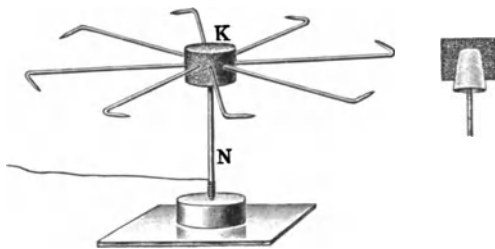


Fig. 128. Elektrisches Flugrad.

haben, an das Wasserrad und an den kleinen Dampfer, dessen Tätigkeit auf dem Rückstoß beruhte. Eine ganz ähnliche Rückstoßwirkung übt auch der von der elektrischen Spitze herrührende Luftstrom aus.

Man höhlt einen Kork *K* (Fig. 128) von unten her aus und befestigt an ihm einen recht kleinen Fingerhut, damit der Kork sich auf der Spitze einer Nadel *N* leicht drehen kann. Rings um den Kork steckt man in symmetrischer, sternförmiger Anordnung mehrere an den Enden fein zugespitzte Messingdrähte fest und biegt ihre Spitzen dann, wie die Abbildung es zeigt, alle mit einer Flachzange in demselben Sinne horizontal um. Das Rad läuft mithin auf einer senkrechten Achse und es ist nicht schwer, die Drähte so in den Kork einzudrücken, daß es horizontal schwebt. Ein Hauch muß es in Umdrehung versetzen.

Die Elektrizität wird vom Konduktor der Elektrifiziermaschine der Nadel *N* und durch diese und den Kork den Ausströmungsspitzen zugeleitet. Die ganze Vorrichtung muß von der Erde isoliert sein, was am einfachsten durch Ritten des Fußkorfes auf eine Glasplatte erreicht wird. Oft leitet auch der drehbare Kork nicht genügend. Man hilft dann dem Uebelstande leicht durch einen Überzug mit Aluminiumbronze ab.

Elektrische Funken. Dreht sich das Flugrädchen im Dunkeln, so gewahrt man an seinen Spitzen helle Pünktchen und von diesen ausgehend kleine büschelförmige Lichtausstrahlungen. Die Elektrizität

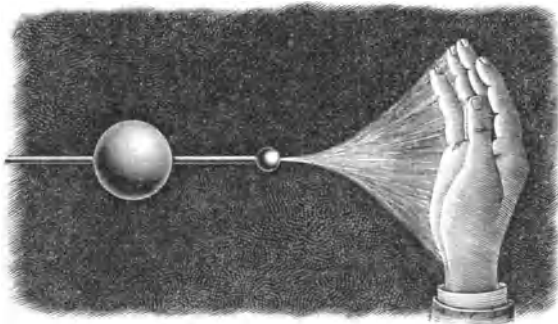


Fig. 129. Leuchtendes elektrisches Büschel.

entweicht unter einer Leuchterscheinung, und betrachtet man eine arbeitende Elektrifiziermaschine im finstern Zimmer mit völlig ausgeruhtem Auge, so kann man am Konduktor, am Reibzeug leuchtende Büschelchen und Streifen sehen.

Besonders groß und schön bildet sich das Bündel aus, wenn man auf den Konduktor einer starken Maschine eine kleinere Kugel aufsetzt und dieser die Hand allmählich nähert (Fig. 129). Zunächst erkennt man nur ein winziges Lichtpünktchen der Hand gegenüber, bald aber schießen wie aus einem gemeinsamen Stamme feine Lichtstrahlen und Verästelungen hervor, die schließlich mit fahlem Licht den ganzen Zwischenraum ausfüllen. Dabei hat man ein Gefühl, als habe man in Spinnweben gefaßt, und es läßt sich ein leises Summen und Säusen vernehmen, das dieser Art von elektrischen Entladungen eigen ist. Dasselbe Geräusch hört man auch von der Maschine, wenn sie kräftig erregt ist. Man sagt dann, sie „spinne“.

Der Heiligenschein. Auch an den elektrischen Zuleitungsdrähten für die Apparate kann man im Dunkeln einen leichten Lichtschimmer, hervorgerufen durch unzählig viele kleine Büschelchen, wahrnehmen und durch geeignete Formung der Drähte sogar, bei etwas kräftigen Maschinen, Buchstaben und Namenszüge darstellen, nur muß man darauf achten, daß der Draht nirgends aufliegt und nur mit seidenen Schnüren gehalten wird. Will man auf diese Art einen Heiligenschein über dem Haupte einer Person erscheinen lassen, so muß man den Draht rund biegen und ihn in einer Glasröhre zuführen. Die Röhre dient dann auch als Handhabe. Silbersehnur, um den Draht gewickelt, erhöht den Effekt. Dieser Heiligenschein ist insofern nicht sehr bequem, als sich die Haare unter ihm zu Berge sträuben.

Auch draußen, in freier Natur, läßt sich bei dem Ausgleich der atmosphärischen Elektrizitäten die Spitzenentladung bisweilen beobachten. Sie erscheint dann besonders gern auf Blitzableitern und den Mastspitzen der Schiffe, dort dem abergläubischen Seemann als St. Elmsfeuer wohlbekannt. Nach den meteorologischen Berichten soll das Gipfelobservatorium des Montblanc bisweilen von St. Elmsfeuer überdeckt sein, was einen schönen und beängstigenden Anblick zugleich gewähren mag.

Der Isolierschemel. (Fig. 130.) Oft kommt es darauf an, nicht nur einen Apparat, sondern eine ganze Person in den elektrischen Zustand zu versetzen, was ohne weiteres nicht möglich ist, da die Elektrizität sofort bei der Berührung des Konduktors durch den Körper zur Erde abgeleitet wird. Man muß daher die Person von der Erde isolieren.

Man läßt sich vom Drechsler vier runde, etwa 4 cm starke Scheiben aus Holz drehen, in der Mitte mit einer Vertiefung, passend für den Fuß einer starkwandigen Wein- oder Seltersflasche. In diese Vertiefungen werden die Flaschen mit einem Brei aus Leim und Schlammkreide festgekittet, worauf man sie, den Hals nach unten, unter die vier Ecken eines starken und etwa $\frac{1}{4}$ qm großen Brettes leimt. Es entsteht so ein Schemel mit vier Glasfüßen, auf den die zu elektrifizierende Person sich stellt.

Einfacher ist es, die Flaschen aufrecht zu stellen und dem Brett vier hölzerne Zapfen zu geben, mit denen es in die Flaschenhälse eingreift. Auch hier tut man gut daran, es mit einer Kittung zu versuchen, da sonst die Bank leicht unsicher und dann gefährlicher wird als die elektrischen Schläge. In beiden Fällen aber ist es durchaus nötig, die Flaschen auf dem Herde durch Erhitzen gehörig auszutrocknen.



Fig. 130. Isolierschemel.

Schließlich kann man auch ein Brett über vier trockene, starkwandige Wassergläser legen. Die Geschichte ist aber etwas wackelig.

Hat jemand trockene Gummischuhe an, so braucht man ihn nicht erst auf den verdächtigen Schemel zu nötigen, da sie die beste Isolation bilden.

Berührt die Person auf dem Isolierschemel den Konduktor oder wird sie mit ihm durch einen Draht, der aber nirgends aufliegen darf, verbunden, so ladet sie sich mit positiver Elektrizität. Es ist aber ein durch die Größe des Objektes veranlaßter Irrtum, zu glauben, daß es sich dabei um viel Elektrizität handele. Die Aufnahmefähigkeit einer Person ist gegenüber derjenigen einer Leidener Flasche außerordentlich gering, und daher sind auch die Entladungen, von denen gleich die Rede sein soll, völlig harmlos und erschrecken mehr als daß sie schmerzen.

Von der Ladung merkt die Person so gut wie nichts, höchstens spürt sie ein sonderbares Gefühl in den Haaren, die das Bestreben haben, sich aufzurichten, besonders wenn eine zweite, auf der Erde stehende und mithin gegenüber der auf dem Isolierschemel befindlichen,

negativ elektrische Person mit ihrer Hand in geringer Entfernung über den Kopf hinführt. Ueberhaupt ist die ganze Umgebung des Elektrisirten in bezug auf ihn als andersnamig — in unserem Falle als negativ elektrisch — anzusehen und daher auch fähig, sich gegen ihn zu entladen. So kann man denn je nach der Stärke der Maschine mehr oder minder lange Funken aus allen Körperteilen ziehen, wobei allerdings der auf der Erde Stehende ebenso schlecht wekommt wie der andere, denn beide entladen sich. Im übrigen aber sind die Funken, wie auch schon angedeutet, fast schmerzlos. Man braucht sich daher nicht zu scheuen, sie der Nasenspitze oder

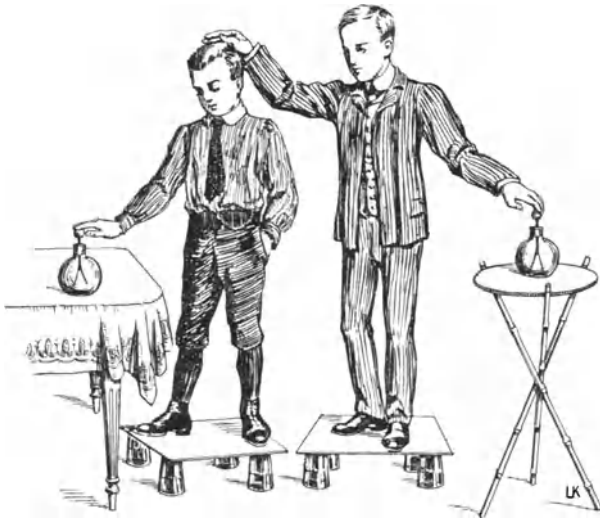


Fig. 131. Eine Reibungselektrifiziermaschine, die gar nichts kostet.

den Ohrklappen zu entlocken, nur die Augen verschone man. Sonderbarerweise ist der durch Kleidungsstücke gezogene Funke am unangenehmsten.

Es ist nicht schwer, für den Isolierschemel einige Späße zu erfinden. So wird niemand einer elektrisch geladenen und auf Gummischuhen einhergehenden Person ungestraft einen Fuß geben, wobei allemal das Kinn oder die Nasenspitze als die hervorstehendsten Punkte des Gesichtes den Funken abbekommen. Ist der Experimentator durch Gummischuhe isoliert und in unauffälliger Weise mit dem Konduktor verbunden, so wird auch ein elektrischer Händedruck überraschen und viel Vergnügen bereiten. Der Schmerz ist beiderseits ganz geringfügig, der Schreck aber stets auf seiten des Überraschten.

Eine Reibungselektrifiziermaschine, die gar nichts kostet.

Sind wir Besitzer von Gummischuhen, oder verstehen wir es, aus einem Brettchen und vier starken Wasser- oder Biergläsern rasch einen Isolierschemel aufzubauen, so können wir einen Versuch anstellen, der recht lehrreich ist und gar keine Kosten verursacht. Wir stellen eine Person auf den Isolierschemel und lassen sie unser empfindliches Goldblattelektroskop berühren. Darauf streichen wir ihr rasch ein paarmal mit der Hand über die Haare hin. Sofort beginnen sich die Blättchen des Elektroskops zu spreizen und deuten mithin eine elektrische Ladung der ganzen Person an, die offenbar durch die Reibung entstanden ist. Sind wir selbst bei dem Versuch isoliert (diesem Fall zeigt Fig. 131) und berühren ein zweites Elektroskop, so ladet sich dies ebenfalls. Nähert man den Elektroskopen nacheinander eine geriebene Siegellackstange, so spreizt sich das eine noch mehr und das andere fällt zusammen. Wir richten an unsere gelehrten Leser die Frage, wie dies eigenartige Verhalten zu erklären ist und warum die Aufladung beider Instrumente nicht gelingt, wenn man sie untereinander durch einen Draht leitend verbunden hat.

Der Versuch gelingt nur bei sehr trockener Witterung, trockenen Haaren und Händen, auch müssen die Elektroskope die Ladung sehr gut halten.

*** Die Sammelflaschen.** (Kleifische oder Leidener Flaschen.)

Um unseren Lesern eine möglichst deutliche Vorstellung von der Wirkung der Sammelflaschen zu geben, wählen wir einen Vergleich, der wenigstens im großen und ganzen zutrifft. Man denke sich zwei nebeneinander liegende, nur durch eine dünne Wand getrennte Zimmer mit Fliegen angefüllt, die lustig durcheinander jurren. Wenn es ihrer genug sind, so werden beide Zimmer einen völlig gefüllten Eindruck machen. Dann lasse man seiner Phantasie einmal weiter die Zügel schießen und denke sich alle Fliegen in dem einen Zimmer positiv und alle in dem anderen negativ elektrifiziert. Sofort wird eine Anziehung erfolgen, so daß alle Fliegen gegen die Scheidewand gezogen werden und sich dort neben- und übereinander ansammeln. Die Zimmer, eben noch so voll, erscheinen nun fast leer und können nun von neuem mit Fliegen bevölkert werden usw.

Elektrisch genommen, sind die beiden Zimmer zwei Stanniolplatten *A* und *B* (Fig. 132, Darstellung 1 a. S. 324) und die Scheidewand

wird dargestellt durch eine Glasscheibe *G*, die beide Stanniolbeläge voneinander trennt. Die Fliegen sind die Elektrizitätsteilchen, die von der Maschine nach dem Belag *A* hinüberfliegen. Sie locken auf der anderen Seite aus der Erde, oder, wenn der Belag *B* mit dem Reibzeug verbunden ist, aus diesem negative Teilchen herbei, die sich, gleich wie die positiven, durch den leitenden Stanniolbelag verteilt, auf der Glasscheibe ansammeln und ihre andersnamigen Kameraden durch ihre Anziehungskraft festhalten. Die Elektrizitäten sind zwar durch die Glasscheibe getrennt, halten sich aber gegenseitig gebunden, so daß eine große Menge von Elektrizität angehäuft und auf den Oberflächen der Glasscheibe gleichsam aufbewahrt werden kann. Könnte man die Glasscheibe plötzlich beseitigen, so würden sich die Elektrizitäten gierig aufeinanderstürzen und sich miteinander ausgleichen. Öffnet man ihnen hierzu einen anderen Weg, etwa indem man durch einen Draht den einen Belag mit dem anderen leitend verbindet, so tritt dieser Ausgleich sofort ein und die von Franklin erfundene elektrische Tafel ist „entladen“, d. h. im ganzen ein unelektrischer Körper geworden. Berührt man dagegen den einen Belag mit der rechten, den anderen mit der linken Hand, so geht der Ausgleich durch unseren Körper vor sich und wir empfinden einen „elektrischen Schlag“, einen schmerzhaften und erschreckenden Ruck, der je nach der Stärke der Ladung oft bis zu den Achseln hinauf fühlbar ist. Die Aufnahmefähigkeit der Franklinschen Tafel und überhaupt aller nach der gleichen Art hergestellten Sammelvorrichtungen wächst mit der Größe ihrer Oberfläche und mit der Dünne der trennenden Schicht, was sehr erklärlich ist, da dann die bindenden Kräfte stärker aufeinander einwirken können.

Man kann allerdings die Glasoberfläche auch ohne Belag elektrifizieren, wenn man nämlich den Konduktorknopf der Maschine nacheinander mit allen ihren Teilen in Berührung bringt und so die Elektrizität auf ihr ablagert. Es ist sogar möglich, hierbei dieselbe Stärke der Ladung zu erzielen, wenn man gleichzeitig der anderen Seite an den entsprechenden Punkten negative Elektrizität zuführt. Niemals aber wird man von einer so geladenen Platte einen Schlag verspüren, man fühlt vielmehr bei beiderseitiger Berührung kaum ein leises Prickeln. Der Grund liegt auf der Hand. Da die Glasplatte nicht leitet, kann immer nur ein kleines Stück ihrer Oberfläche — auf dem gerade der Finger liegt — und mithin die ganze Oberfläche nur nacheinander entladen werden, wobei dann freilich nicht viel zu spüren ist. Durch

Berührung der Beläge jedoch erhält man die Entladung aller Oberflächenteilchen auf einmal.

An sich genommen, ist die Franklinsche Tafel für uns der einfachste Sammelapparat, denn es hält weder schwierig, eine passende Glascheibe zu beschaffen, noch den Stanniolbelag auf ihr zu befestigen, namentlich wenn man nur dünn mit Stärkekleister streicht und alles Überflüssige mit den Daumen nach der Seite her austreibt. Anderenfalls platzt entweder der Belag nach kurzer Zeit ab, oder der Kleister,

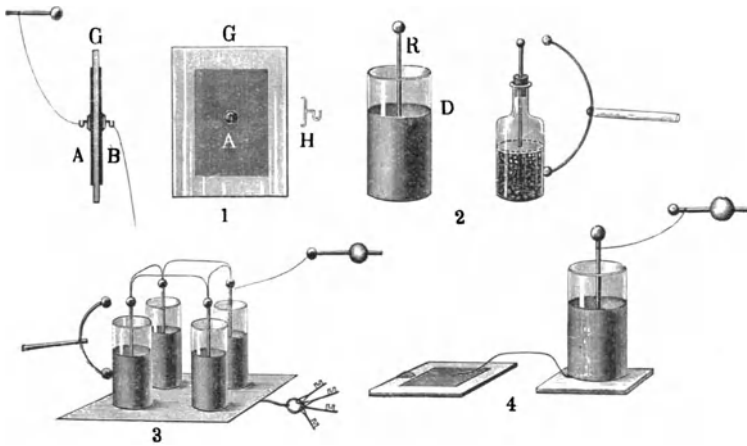


Fig. 132. Franklinsche Tafel und Leidener Flasche.

der zwischen Stanniol und Glas nur sehr schwer trocknet, gerät in Fäulnis. Man kann die Tafel sowohl aufrecht stellen als legen. In ersterem Falle empfiehlt es sich, ihr Füße aus Holz zu geben und an die Beläge kleine Häkchen mit Siegellack zu fitten, um die Zuführungsdrähte bequem einhängen zu können. Darstellung 1, *H* (Fig. 132) zeigt ein derartiges Häkchen etwa in halber natürlicher Größe. Ein Scheibchen aus sehr dünnem Blech wird an den Rändern etwas umgebogen und mit einem angelöteten oder angenieteten Draithäkchen versehen. Darauf tropft man auf den Belag etwas Siegellack, ebenso auf das Hakenplättchen, dessen Hohlraum mit leicht geknittertem feinen Stanniol oder Goldschaum gefüllt wird, und drückt fest auf. Auf diese Art hat man dann nicht nur eine gute Kittung, sondern auch eine genügende metallische Berührung hergestellt. Liegt die Franklinsche

Tafel auf dem Tisch, so bedarf es weiter keiner Vorkehrungen, denn die Leitung des einen Belages mit der Erde ist dadurch von selbst hergestellt, und auf den oberen Belag braucht man nur den Konduktordraht lose aufliegen zu lassen. Unter die Scheibe wird dann noch ein etwa 3 cm breites Stanniolstreifchen gelegt, das etwas über ihren Rand hinausragt und bei dessen Verbindung mit dem oberen Belag durch den bald zu besprechenden Auslader die Entladung unter glänzender Funkenerscheinung vor sich geht. Soll sich die Tafel selbst entladen, so wählt man den Stanniolstreifen aus etwas dickerem Material und klebt ihn um die Scheibe herum, so daß er den anderen Belag fast berührt. Zweckmäßig ist es, wenn der Streifen dazu eine Spitze erhält (linke Hälfte der Darstellung 4 zeigt diese Anordnung). Wenn die Maschine im Gange ist, steigt der elektrische Druck auf den Glasseiten bald so weit, daß zwischen dem Streifenende und dem Belag ein glänzendes Fünkchen überspringt. Nimmt man mit einem scharfen Messer von dem Streifchen immer mehr fort, so werden die Funken seltener, aber leuchtender und länger. Durch Versuche stellt man fest, wie weit man die Funkenstrecke vergrößern kann, ohne Versager befürchten zu müssen.

Denkt man sich nun die Franklinsche Tafel rund zusammengebogen, so entsteht aus ihr eine Leidener Flasche, ein Ansammlungsapparat, der den Vorzug besitzt, größere Elektrizitätsmengen auf einem verhältnismäßig kleinen Raum aufspeichern zu können. Zwei verschiedene Männer haben sie fast zugleich erfunden, der Domherr Kleist zu Cammin in Pommern, als er Wasser in einer Flasche elektrifizieren wollte (1745) und der gelehrte Cunaeus in Leiden. Man beschäftigte sich damals sehr viel mit Reibungselektrizität, und die Entdeckungen lagen sozusagen in der Luft. Die Tafel ist von Franklin, der auch die Eigenschaften der Flaschen richtig deutete, erst später angegeben worden.

Bei einer Leidener oder Kleistschen Flasche kann man natürlich nicht mehr von einem hinteren oder vorderen, von einem oberen oder unteren, sondern nur von einem äußeren oder inneren Belag reden. Unsere Leser sehen auf Fig. 132, Darstellung 2, zwei Leidener Flaschen abgebildet, von denen die erste zweckmäßiger als die andere, aber ungleich schwieriger herzustellen ist.

Ein hohes Einmacheglas wird sowohl innen wie außen bis auf einen etwa vier Finger breiten oberen Rand mit Stanniol beklebt. Außen hat das wenig Schwierigkeiten, wenn es auch nicht leicht ge-

lingen wird, eine wirklich schöne, glatte Arbeit herzustellen, innen jedoch wird man ohne besondere Übung kaum viel ausrichten. Denn es gelingt eigentlich nur einem Buchbinder, das Stanniol ohne Fältelung einzubringen, besonders wenn das Glas eng ist. Der Stärkekleister muß dünn sein, aber doch Bindekraft genug besitzen und sorgfältig von der ersten Auflagestelle nach den Seiten mit einem Falzbein herausgedrückt werden, so daß eben nicht mehr auf der Glasscheibe sitzt, als zum Kleben gerade notwendig ist. Wenn man, statt den Wandbelag auf einmal einzukleben, allmählich vorgeht und lange Streifen einbringt (also ähnlich verfährt, wie der Tapezierer beim Tapetenkleben), so erleichtert man sich die Arbeit sehr. Auf den Bodenbelag kann man schließlich schon verzichten, ohne die Wirkung der Flasche wesentlich zu beeinträchtigen. Außen und innen sollte der Belag bis zu gleicher Höhe hinaufreichen. Die Ladung der Flasche geschieht durch Verbindung des inneren Belages mit der Maschine. Man kann dazu von ihm einen Stanniolstreifen bis zum oberen Rande emporführen. Bequemer und haltbarer, auch für die Entladung zweckmäßiger ist es jedoch, durch einen lose eingepaßten Pappdeckel einen starken Metalldraht *R* bis auf den Boden in die Flasche zu stecken und oben mit einer Kugel zu versehen oder doch gut abzurunden. Um das Herabfallen des Deckels zu verhüten, kann man über die Stange einen Kork stecken. Auf jeden Fall muß die Verbindung der Stange mit dem Belag eine gute sein, was am besten durch Umwickeln mit feinen Drähten geschieht, die sich nach den Seiten hin spreizen.

Viel einfacher und eigentlich ohne Mühe herzustellen ist eine Sammelvorrichtung aus einer Flasche, bei der man von vornherein gezwungen ist, den inneren Belag durch etwas anderes zu ersetzen. Wasser könnte wohl dazu sehr geeignet sein, wenn es nicht eben — naß wäre und durch seine Dämpfe die Isolation der Glasoberfläche verdirbe. Die besten Resultate gibt eine Füllung mit Goldschaum — d. h. zerknitterter unechter Goldfolie —, die die Wandung an vielen Stellen berührt und die Elektrizität vom Stabe her verteilt. Der äußere Belag erleidet keine Veränderung. (Er ist in der Fig. 132, Darstellung 2 fortgelassen.)

Wer sich die Lösungen zum Versilbern (S. 243) angeeignet hat, kann auch Silber auf der Innenwand niederschlagen. Dies ist wenigstens für kleinere Flaschen die allerbequemste und zugleich auch die vollkommenste Methode.

Um eine Leidener Flasche zu „entladen“, muß man den äußeren Belag mit dem inneren in leitende Verbindung bringen, wozu eine „Auslader“ genannte Vorrichtung sehr brauchbar ist. Sie besteht aus einem mit zwei Metallkugeln (oder auch Metallknöpfen) versehenen, halbrund gebogenen Draht (Fig. 132, 2), der eine isolierende Handhabe (Siegellackstange) besitzt. Zur Ladung stellt man die Flasche, deren äußerer Belag dadurch mit der Erde verbunden ist, auf den Tisch und legt einen Draht oder eine Kette von dem Knopf nach dem Konduktor hinüber. Die Entladung erfolgt so, daß man zuerst den einen Knopf des Ausladers an den äußeren Belag bringt und dann den anderen dem Knopf der Flasche nähert. In einiger Entfernung wird ein heller, knallender Funke überspringen.

Kann man Metallkugeln nicht aufstreifen, so genügt es auch, die Enden des Ausladers mit der Feile gut abzurunden.

Eine Flasche läßt sich ungestraft nur an ihrem äußeren Belage anfassen. Berührt man gleichzeitig auch den Knopf, so erhält man durch den Körper einen Schlag, der je nach der Ladung mehr oder minder stark, jedenfalls aber immer viel fühlbarer ist als der Schlag der Maschine. Flaschen mit Goldschaumfüllung pflegen längere, aber weniger massige Funken zu geben als andere Flaschen, sind also dort anzuwenden, wo die Entladungen über weitere Luftstrecken gehen sollen.

Wenn unsere Leser mit Leidener Flaschen experimentieren, so mögen sie einer gebrauchten Flasche, auch wenn sie vorher entladen war, nie recht trauen. Es bildet sich nämlich nach einiger Zeit ein „Rückstand“ aus, der sich zwar an Stärke mit der eigentlichen Ladung nicht messen kann, immerhin aber für einen tüchtigen Schreck ausreicht.

Für viele Zwecke ist es sehr wünschenswert, eine Einrichtung zu besitzen, mit der man die Stärke der Ladung abschätzen kann. Die Franklinsche Tafel ist in der Art, wie wir sie zuletzt beschrieben, recht wohl für den Zweck geeignet (Fig. 132, 4). Man legt sie flach auf den Tisch und verbindet ihren oberen Belag mit dem äußeren der Leidener Flasche, die man dabei auf eine isolierende Glasplatte stellt. Geht nun positive Elektrizität auf den inneren Belag über, so wird entsprechend viel negative Ladung das Bestreben haben, aus der Erde auf den äußeren Belag zu eilen. Man sieht aber leicht, daß dies nur über die Franklinsche Tafel geschehen kann, wo sie sich an kleinen, zwischen dem Stanniolstreifen und dem oberen Belag entstehenden Funken verrät. Zählt man daher die Funken, so hat man damit auch

eine Vorstellung von der Größe der Ladung gewonnen. Vor allem kann man aber immer wieder dieselbe Ladungsstärke erhalten und sie mit anderen vergleichen.

Spielt die Art der Elektrizität eine Rolle und handelt es sich z. B. darum, eine Flasche mit positiver, eine andere aber mit negativer Elektrizität zu laden, so würde man die eine mit dem Konduktor, die zweite mit dem Reibzeug zu verbinden haben, vorausgesetzt, daß diese von der Erde isoliert ist. Wenn dies jedoch (z. B. bei der Zylindermaschine) nicht der Fall ist, kann man sich eines Kunstgriffes bedienen, um doch eine negative Ladung auf dem inneren Belag zu erhalten. Dazu ergreift man die Flasche — es muß natürlich eine solche mit einem Kork sein — beim Knopf und hält den äußeren Belag an den Konduktor. Dieser wird dann positiv und infolgedessen der innere Belag negativ elektrisch. Nun aber kommt man in die schönste Verlegenheit. Denn will man die Flasche auf den Tisch setzen, so tritt der äußere Belag mit dem inneren durch den Fußboden und den Körper in Verbindung und man erhält den Entladungsschlag. Faßt man die Flasche am äußeren Belag ebenfalls an, so ist die Sache fast noch schlimmer, und auf den Tisch fallen lassen will man sie doch auch nicht. In allen anderen Fällen muß man aber den äußeren und inneren Belag gleichzeitig berühren. Da hilft dann eine kleine List. Man wirft die Flasche beim Knopf etwas in die Höhe und fängt sie dann mit beiden Händen beim äußeren Belag auf, worauf man sie, ohne die Ladung zu verlieren, auf den Tisch stellen kann. *Probatum est!*

Batterien aus Leidener Flaschen. Oft reicht eine Flasche allein, falls sie nicht unförmig groß ist, für die beabsichtigte Wirkung nicht aus und man muß dann mehrere von ihnen zu Batterien zusammensetzen (Fig. 132, 3). Ein Blatt Stanniol oder Silberpapier wird auf den Tisch gelegt und dient den Flaschen als leitende Unterlage. Sie macht gleichsam aus allen äußeren Belägen eine einzige Fläche. Ebenso werden alle inneren Beläge durch umgewickelte Drähte verbunden. Haben die Kugeln oben Löcher, so ist es besser, wie es auch die Abbildung darstellt, die Drähte in sie einzuführen, da so alle Spitzen, aus denen Elektrizität entströmen könnte, vermieden werden. Es genügt dann, bei der Ladung eine der Flaschen mit der Maschine in Verbindung zu setzen. Daß die Unterlage, die ja mit einer großen

Fläche aufliegt, noch besonders mit der Erde verbunden werde, ist nicht unbedingt nötig. Immerhin kann man ein Schlüsselbund an ihr befestigen und während der Ladung in die Hand nehmen. Wenn man eine Flasche mit dem Auslader berührt, so entladet man gleichzeitig die ganze Batterie. Die Wirkung der Batterie hängt von der Größe und Anzahl der angewandten Flaschen ab, die Länge der Funken wird dadurch jedoch nicht gesteigert. Die Entladung einer großen Batterie macht immer einen imposanten Eindruck, da sie unter starker Lichtentwicklung und unter einer schußähnlichen Detonation vor sich geht. Aber selbst kleinere Batterien können schon einen recht artigen Effekt hervorrufen, und ihre Schläge sollte man zarten Personen nicht mehr zumuten.

Ob wir allerdings eine größere Batterie mit unserer Zylindermaschine genügend aufladen können, ist die Frage. Dazu eignet sich eine kleine „Influenzmaschine“, wie sie heute von allen Spielwarenhandlungen und Warenhäusern geführt wird und die wir uns zu Weihnachten oder zum Geburtstag wünschen können, sehr viel besser.

Kleine Leidener Flaschen können sehr gut auch mit dem Elektrophor aufgeladen werden.

*** Lichtenbergische Figuren.** Die Elektrizität in einer Leidener Flasche hat Druck (Spannung) genug, um nicht zu dicke Halbisolatoren oder selbst Isolatoren zu durchschlagen. Hält man vor den oberen Knopf des Ausladers eine Visitenkarte und nähert beides der Flasche, so schlägt durch den Karton ein Funke hindurch. Das Loch zeigt beiderseits aufgeworfene Ränder, ohne daß dies aber ein Beweis für den von beiden Seiten her erfolgenden elektrischen Ausgleich wäre, wie oft gesagt wird. Ein mit großer Geschwindigkeit durch eine Metallplatte schlagendes Geschloß wirft zum Beispiel ebenfalls nach beiden Seiten Ränder auf.

Ist der Isolator jedoch gut und dick genug, so macht die Elektrizität den Versuch, sich auf ihm zu verteilen und eine Verbindung mit ihrer andersnamigen Schwester zu erreichen. Ergreift man eine stark geladene Leidener Flasche bei dem äußeren Belag und drückt sie mit dem Knopf auf die Mitte einer isolierenden Fläche, etwa auf den Harzkuchen des Elektrophors oder ein Quadratdezimeter großes Stück Hartgummi, so strahlt die Elektrizität über die Fläche nach allen Seiten hin aus. Diese Strahlung verläuft meist still und ungesehen, kann

jedoch, wie es Lichtenberg gezeigt hat, auf folgende Weise nachträglich sichtbar gemacht werden.

Wo der Ausgleich vor sich gegangen ist, wird das Harz elektrisch und fähig, leichte Körperchen heranzuziehen. Nur müssen sie sehr leicht sein. Gut eignen sich hierzu trockene Mennige und Schwefelblumen, am besten aber der überaus leichte und feine Samen des Bärlapps (*semen lycopodii*). Man füllt ihn in ein leinenes Beutelchen, schlägt dieses über die andere Hand und stäubt so den Samen aus einiger Höhe über die Platte. Fig. 133 zeigt, wie zart strahlenförmig er sich auf dieser ansetzt. Doch nur, wenn es sich um eine positive Entladung handelt. War sie negativ, so entstehen rundliche Flecken.

Befinden sich beiderlei Entladungen auf derselben Fläche, so kann man sie ebenfalls unterschiedlich voneinander und zugleich sichtbar machen. Man füllt dann in das Säckchen ein inniges, trockenes Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Indem die kleinen Teilchen durch die Poren der Leinwand stäuben, werden sie durch Reibung elektrisch, und zwar die Mennige positiv und der Schwefel negativ. So setzen sich denn die Mennigeteilchen nur auf den negativen und die Schwefelblumen nur auf den positiven Entladungen fest. Erstere erscheinen dann rötlich, letztere gelb.

Da Mennige eine giftige Verbindung des Bleies ist, hüte man sich sehr, die allerfeinsten und als Wolke eine Zeitlang in der Luft schwebenden Teilchen einzuatmen. Wenn man sich mit dem Rücken gegen den Zugwind stellt, so hat man den besten Schutz. Auch ein um den Mund gebundenes Tuch leistet gute Dienste.

Schließlich wollen wir noch verraten, wie man die Verästelungen der Entladung sichtbar machen kann auch ohne Lycopodium und Mennige, wenn man sich nur auf die Kunst versteht, eine photographische Platte zu entwickeln (vgl. S. 197). Die Versuchsanordnung ist dann folgende. Im Dunkeln wird eine Trockenplatte mit der Glasseite (Schicht nach oben) auf eine leitende Unterlage (Blech, Teebrett, Stanniol) gelegt und in der Mitte mit dem Knopf einer stark geladenen Leidener Flasche berührt. Die Entladungen sind dem ausgeruhten Auge kaum sichtbar, wirken jedoch auf die photographische Platte stark ein. Bei der Entwicklung erscheint dann die schönste Lichtenberg'sche Figur, die im Abzug hell auf dunklem Grunde hervortritt (Fig. 134). Unsere Leser mögen es mit positiver und negativer Ladung versuchen.

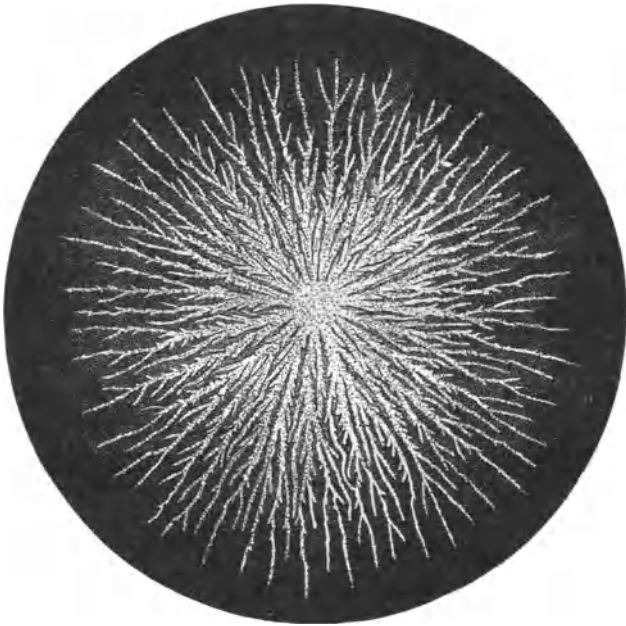


Fig. 133. Lichtenberg'sche Figuren.

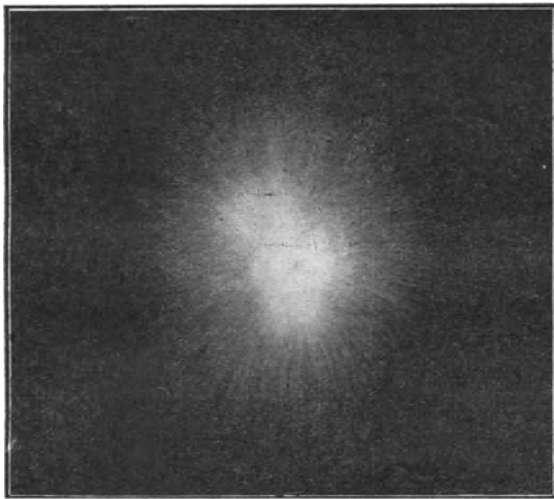


Fig. 134. Ausbreitung der Entladung auf einer photographischen Platte.

Entladung der Leidener Flasche durch eine Kette von Menschen. Die nun mitzuteilenden kleinen Scherze mit der Leidener Flasche beruhen fast sämtlich darauf, irgend einem guten Freunde unversehens einen elektrischen Schlag zu versetzen. Das will denn heutzutage, wo die Leidener Flasche überall bekannt ist und stets Mißtrauen erregt, schon recht schlau angefangen sein. Der Schlag erschreckt fast stets ein wenig, wird auch bei stärkeren Ladungen unangenehm, ja schmerzhaft empfunden, schadet aber durchaus nicht. Nur nervösen Personen gebe man die Flasche nicht selbst in die Hand, da sie bei ihnen unter dem Einfluß des Schrecks nicht gerade gut aufgehoben ist. Sehr starke Schläge versetze man aber nur Personen, die darauf vorbereitet sind, und treibe überhaupt den Spaß nicht zu weit.

Soll eine ganze Kette von Menschen elektrifiziert werden, so müssen sie sich die Hände reichen. Man selbst bildet den Anfang der Kette, hält die geladene Flasche beim äußeren Belag in der Hand und läßt die letzte Person ihren Knopf berühren. So erhält man den Schlag freilich ebenfalls, doch ist dies das beste Mittel, die anderen Teilnehmer vor zu starken Ladungen zu schützen.

Eine Waschküffel als Geldschrank. Man überzieht eine irdene Schüssel äußerlich, an ihrem Boden, und bis etwa drei Finger breit unter den Rand mehrfach mit der käuflichen Aluminiumbronze und stellt sie auf ein Blatt Stanniol, unter dem man vielleicht auch noch den Tisch etwas anfeuchtet. Darauf gießt man Wasser in die Schüssel bis zur Höhe des äußeren Bronzebelages und wirft allerhand Geldstücke hinein. Der Rand und die Außenseite der Schüssel dürfen jedoch bei den Vorbereitungen keinesfalls feucht werden. Man elektrifiziert das Wasser dann stark, indem man vom Konduktor der Maschine einen Draht oder ein Kettchen hineinhängen läßt. Darauf wird die Maschine entfernt, und man bittet einen der Anwesenden, nur zuzulangen, er dürfe das aus dem Wasser geholte Geld behalten, jedoch nur ein einziges Mal zufassen. Man tut zwar gut daran, die Ladung um so stärker zu nehmen, je wertvoller die Geldstücke sind, kann aber überzeugt sein, daß der durch den Schlag Erschreckte seine Hand stets zurückziehen wird, obgleich er ebenjogut — denn die Vorrichtung ist ja entladen — nur zuzugreifen brauchte. Um ganz sicher zu gehen, stellt man die Schüssel etwas vom Tischrande zurück, so daß

das Opfer des Scherzes gezwungen ist, sich mit der einen Hand auf ihn zu stützen und so eine gute Verbindung mit dem äußeren Belag herzustellen.

Der elektrische Zitterfisch. Unsere Leser werden gewiß schon einmal von elektrischen Fischen gehört haben. Besonders der Rochen und, aus der Familie der Aale, der in den Landseen Südamerikas lebende Wels, zeichnen sich durch ihre den Leidener Flaschen ähnliche Eigenschaften aus. Wenn man nämlich mit der einen Hand den Rücken, mit der anderen den Bauch des Tieres berührt, so spürt man eine heftige Erschütterung und hat es dabei sicher mit einem elektrischen Vorgang zu tun.

Während man also von diesen merkwürdigen Geschöpfen erzählt, zeigt man einen kleinen, in einem Wasserglase schwimmenden Blechfisch vor und bittet einen guten Bekannten, eine bereitgehaltene Angel nach ihm auszuwerfen. Vorausgesetzt, daß man es versteht, dem Freunde das Glas in die Hand zu nötigen, wird er einen Schlag erhalten, sobald die Angel das Wasser berührt.

Zur Ausführung des Experiments sei folgendes gesagt: Aus einer kleinen Weidenrute wird das Mark mit einem feinen Draht gestoßen und durch die Höhlung ein feines Drähtchen, gleichgültig aus welchem Material, gezogen, darauf einige Male um den Handgriff geschlungen und durch eine Lage von Band dem Blick entzogen. An dem vorderen Ende hängt, in leitender Verbindung mit dem Griff, die Angelschnur aus einem Silberfädchen. Statt des Angelhafens trägt sie einen ösenförmig in sich zurückgebogenen Draht.

Man elektrifiziert das Gefäß, indem man etwas Silberpapier fest umwickelt und in das Wasser vom Konduktor der Maschine einen Draht hängen läßt. Dieser sowie der äußere Belag werden nach der Ladung entfernt.

★ **Gewitter im kleinen.** Selbst als Benjamin Franklin im Jahre 1752 zu Philadelphia seinen Drachen in eine Gewitterwolke emporsteigen ließ und einen Funken aus ihr auf die Erde herabholte, wollte man sich an den Gedanken nicht gewöhnen, es im Gewitter wirklich mit derselben Elektrizität zu tun zu haben, die auch die Elektrifiziermaschine erzeugt. Erst im Laufe eines Jahrhunderts ist dieser Gedanke zum Gemeingut der Gebildeten geworden, aber wir dürfen

nicht verkennen, daß seine Befestigung auch durch die moderne Darstellung elektrischer Vorgänge wesentlich unterstützt wird. Man kennt heute künstliche elektrische Entladungen von einer Kraft, einer so blendenden Erscheinung und Zerstörungswut, daß der Vergleich mit den atmosphärischen Vorgängen eher herausgefordert wird, als zu einer Zeit, da man, um das Fünkchen der Elektrifiziermaschine zu sehen, das Zimmer verdunkeln mußte.

Wir wollen hier nicht untersuchen, welche Vorgänge eine über der Erde schwebende Wolke elektrisch gemacht haben, darüber sind sich die Gelehrten nicht einmal einig. So viel aber können wir sagen, daß sich der elektrische Einfluß der Wolke auf der Erdoberfläche zeigen muß, wie auch immer sie geladen sein mag. Ist sie positiv, was wohl meistens zutreffen wird, so zeigt sich die Erdoberfläche negativ. Beide Elektrizitäten haben das Verlangen, sich miteinander auszugleichen, und werden hieran nur durch die zwischen Wolke und Erde lagernde Luftschicht gehindert. Aber wenn es so auch zunächst zu einem lauten und für einige Zeit Erleichterung schaffenden Ausgleich nicht kommt, so besteht doch dauernd ein unmerklich leiser Austausch. Wir wissen, daß die Elektrizität leicht aus Spitzen ausströmt, und deren gibt es in der Natur genug. Jedes Grashälmlchen, jedes Blatt, jede Tannennadel vermittelt einen Verkehr nach der elektrischen Wolke und umgekehrt, und ohne Frage wird ein guter Teil der Gewitterelektrizität durch diesen Vorgang ausgeglichen und so seiner vernichtenden Wirkung beraubt. Auch den Blitzableitern hat man deshalb Spitzen gegeben, aber sie sind doch gar zu gering an Zahl, um einen wirksamen, stillen Ausgleich herbeizuführen. Der Blitzableiter dient nur zur Ableitung des einschlagenden Blitzes, und dieser kommt immer zustande, wenn alle anderen still entladenden Mittel nichts mehr ausrichten. Der Ausgleich braucht aber nicht immer nach der Erde zu erfolgen, denn auch die Wolkenschichten untereinander können verschiedenartig in bezug auf ihren elektrischen Zustand sein.

In neuester Zeit hat die Photographie Aufschluß über die Form des Blitzes gegeben, und wir haben auch in diesem Buche unseren Lesern eine Anweisung gegeben, selbst Blitze aufzunehmen (S. 212). Ein Versuch nach dieser Richtung läßt erkennen, daß der Blitz denn doch nicht zickzackförmig ist, wie er so oft von den Malern gezeichnet wird. Er gleicht vielmehr einem Flußlauf mit vielen Biegungen und Nebenadern, fast auch einer riesigen Spinne, die mit tausend glühenden

Fangarmen nach der Erde hinübergreift. Immer aber dauert der Blitz nur einen Augenblick, ja, die Erscheinung währt noch viel kürzer als man meint, da das geblendete Auge den Eindruck noch eine Zeitlang festhält. Selbst ein vorüberfahrender Expresszug scheint in der Beleuchtung eines Blitzes völlig still zu stehen, man erkennt sogar die einzelnen Speichen der Lokomotivräder, ja eine Kanonenkugel würde in der Luft festgenagelt erscheinen. Wenn trotz alledem die photographische Platte den Blitz deutlich aufzeichnet, so muß seine Lichtentwicklung wohl eine gewaltige sein.

Wir wollen nun daran gehen, ein Gewitter in unserem Zimmer darzustellen und auch ein kleines Haus mit einer Blitzableiteranlage bauen. Der Verfasser besitzt in seiner Sammlung die photographische Abbildung eines Soldaten, der beim Exercieren vom Blitz getroffen wurde, ohne aber getötet zu werden. Das Bild ist in vieler Beziehung sehr lehrreich (Fig. 135). Der Blitz ist in die Helmspitze gefahren, dann weiter am blanken Helmbeschlag heruntergegangen und auf den Hals übergesprungen. Hier und am Rücken bis zur Hüfte herab hat er die Kleidungsstücke aufgerissen und zugleich eine böse Brandspur hinterlassen. Dann aber verliert man seine



Fig. 135.

Wirkungen des Blitzschlages an einem Soldaten.

Spur bis zur Höhe des linken Schaftstiefels, den er bis zur Erde aufgeschlitzt hat. Offenbar tat zwischen Hüfte und Knie das Seitengewehr seine Schuldigkeit, und der Blitz hat überall dort, wo er eine gute metallische Leitung vorfand, den bequemeren Weg benutzt und dem Körper nicht geschadet. Eine bessere Anleitung zum Bau eines Blitzableiters kann es gar nicht geben. Die einfache Regel lautet: man setze auch dem Hause eine Helmspitze auf und verbinde sie durch ein Drahttau möglichst gut leitend mit der Erde. Wir lassen uns dies gesagt sein beim Bau unseres Blitzhäuschens.

Die Gestalt dieses Blitzhäuschens ist natürlich völlig gleichgültig, ebenso sein Material, wenn es nur nicht aus Metall ist. Für uns ist Pappe oder Kartonpapier völlig geeignet und die aus den bekannten

Klebebogen hergestellten Häuschen erfüllen ganz den Zweck (Fig. 136). Ein zugespitzter Draht, der durch ein Glasröhrchen gesteckt und auf der höchsten Spitze des Hauses angebracht wird, vertritt die Stelle des Blitzableiters. Er sollte eigentlich durch eine Leitung mit der Erde verbunden sein, die auf Stützen über das Dach und längs der Seitenwände herunterführt. Wir begnügen uns damit, den Draht durch das Haus bis auf den Boden heruntergehen zu lassen. Er endigt in einer kleinen Kugel. Bei den Blitzableitern der Praxis sorgt man für eine ganz besonders gute Verbindung mit der Erde, indem man das

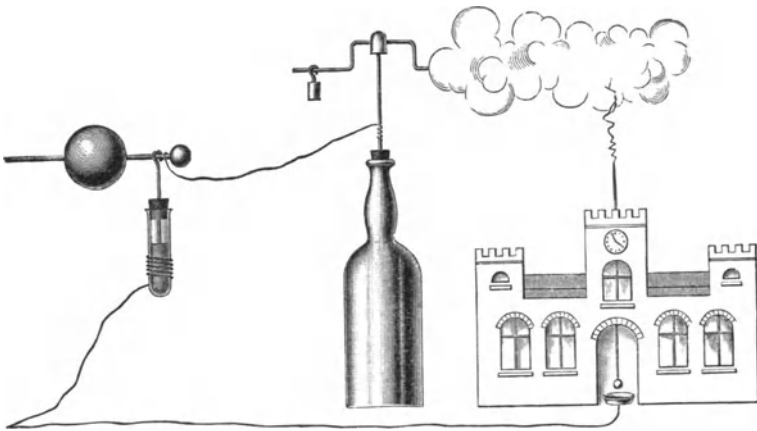


Fig. 136. Künstliches Gewitter.

Drahttau bis zu einer großen, in einen Brunnen oder doch in feuchtes Erdreich versenkten Kupferplatte führt. Wir deuten die gute Verbindung an, indem wir unter das Kügelchen ein kleines Näpfchen aus Blech stellen und die Stange bis auf dieses herunterstoßen.

Nun kommt es darauf an, einen Blitz in die Schutzvorrichtung schlagen zu lassen, womöglich auch aus einer Wolke. Freilich wird niemand von ihr verlangen können, daß sie aus Wassertröpfchen und Nebeldünsten gewebt sei. Wir begnügen uns damit, ihre Formen aus dünnem Blech auszuschnneiden und vielleicht etwas zu bemalen. Dann wird sie an der in der Abbildung ebenfalls veranschaulichten Drehvorrichtung befestigt. Diese besteht aus einem Fingerhut, dem beiderseits starke, etwas herabgebogene Drähte angelötet sind. Die ganze Vorrichtung schwebt drehbar auf einer Stricknadel, die fest im Kork einer Weinflasche steckt. Sie trägt einerseits die Wolke, andererseits ein

kleines Gegengewicht, das dem Gewicht des Bleches die Wage hält. Die ganze Einrichtung muß zu dem Hause in richtigem Verhältnis stehen, und zwar so, daß die Wolke einige Zentimeter über der Blitzableiter Spitze schwebt.

Will man die Wolke laden, so hat man nur die Stricknadel mit dem Konduktor zu verbinden. Da die Erde andersnamig elektrisch sein soll, stellt man dann noch eine Drahtverbindung zwischen dem Reibzeug und dem Blechschälchen im Hause her. Gibt man dann der Wolke mit dem Glasstabe einen Stoß, so wird sie sich dem Blitzableiter nähern, und wenn der Abstand gering genug geworden ist, einen Blitz nach ihm entsenden. Allerdings ist dieser Blitz nicht sehr glänzend und man kann daher noch eine kleine Leidener Flasche an die Maschine schalten, obgleich die Funkenlänge immer darunter leidet und um so mehr verringert wird, je größer die Flasche ist. Oft ist aber ein kleines Reagenzglaschen, innen mit Goldschaum gefüllt und außen bis höchstens zur Hälfte mit Stanniol überzogen, als Flasche für diesen besonderen Zweck völlig ausreichend. Man verbindet den äußeren Belag durch ein mehrfach umgeschlungenes, feines Drähtchen mit dem Reibzeug der Maschine und hängt das Gläschen mit einem Drahthaken am Konduktor auf. Unsere Abbildung zeigt eine derartige Anordnung, auch finden sie unsere Leser, wenn sie zurückblättern wollen, bei der Zylindermaschine (S. 310).

Soll der Blitz zünden, so muß der Blitzableiter beschädigt werden. d. h. man muß irgendwo die gute Leitung nach der Erde auf eine Strecke unterbrechen, bei unserem Häuschen, indem man den Blitzableiter emporzieht und die Kugel einige Millimeter von dem Schälchen entfernt. In letzteres gießt man eine Wenigkeit von sehr starkem Spiritus (Alkohol), den man vorsichtig in dem Schälchen, nicht in der Flasche, über einer Kerze etwas erwärmen kann. Schlägt nun der Blitz ein, so springt ein Fünkchen nach dem Spiritus über, dessen Flamme von innen heraus das Gebäude magisch erleuchtet.

Fehlt die Funkenstrecke im Innern des Hauses, d. h. stößt die Kugel auf das Schälchen, so kann man im dunkeln Zimmer auf der Spitze des Blitzableiters auch das St. Elmsfeuer erblicken. Man hat dann die Flasche nur so hoch zu stellen, daß die Entladung eben nicht mehr überschlagen kann. In der That beobachtet man die gleiche Lichterscheinung auch bisweilen auf den Spitzen der Blitzableiter, wo sie den fruchtlosen Versuch darstellt, die Gewitterelektrizität der Wolke durch stillen Ausgleich zu vernichten (S. 319).

Die Influenzmaschine. Alle folgenden Versuche mit Blitztafeln und Blitzröhren erfordern eine starke Maschine. Sie sind auch nur für diejenigen unserer Leser hierher gesetzt, die über eine größere Scheibenmaschine (Fig. 137) oder eine kleine Influenzelektrifiziermaschine verfügen. Derartige Influenzmaschinen haben zwei, meist gegenläufige, Scheiben aus Hartgummi und liefern an zwei einander gegenüberstehenden Konduktoren (zwischen denen die Funkenentladungen stattfinden) positive und negative Elektrizität. Statt des Reibzeuges bei der Scheibenmaschine hätte man dann also auch noch den zweiten Konduktor mit der Blitztafel uff. zu verbinden.

Die Blitztafel. Man wird sagen müssen, daß der Funke einer Leidener Flasche zwar an Kraft und Glanz wenig mehr zu wünschen übrig läßt, daß er aber an Ausdehnung und Form mit dem Blitze kaum eine Ähnlichkeit hat. Die Funken der Maschine allein wiederum sind wohl länger und bisweilen auch gezackt, jedenfalls blitzähnlicher, entbehren aber wiederum der Leuchtkraft. Man muß aber auch bedenken, daß der Blitz unter wesentlich anderen Verhältnissen zustande kommt. Die Luft ist stets angefüllt mit ungezählten Millionen feiner Wasserkügelchen, die sich meist bei einem Gewitter zu größeren Regentropfen zusammenfinden. Über diese Tropfen hin geht der Weg des Blitzes, so daß er dann eine bei weitem nicht so große Luftstrecke durchschlägt, als man nach seiner Länge vermuten sollte. Indem er aber die Tropfen verdampft, ist er fortdauernd gezwungen, sich einen neuen, je nach der Dichtigkeit der Tropfen oft gewundenen Weg zu suchen, woraus man sich dann wohl seine unstete Bahn erklären kann. Unser Experiment vermag diese Vermutung zu unterstützen.

Wir bieten ebenfalls der Entladung einen Weg von wechselnder Leitfähigkeit dar, indem wir Feilspäne von Messing oder Eisen auf eine Glasplatte streuen und den Schlag über sie hinleiten. Offenbar soll das Feillicht die Ansammlung von Wassertröpfchen in der Atmosphäre vertreten. Das Material spielt hierbei für die Länge des künstlichen Blitzes kaum eine Rolle, nur seine Farbe wechselt mit ihm. Bei Eisenfeilspänen ist sie hochgelb, bei Messingspänen gelbgrün, bei Kupfer- spänen blaugrün, bei Zinkspänen blendend weiß. Diese eigenartige Erscheinung ist in vieler Hinsicht lehrreich, denn sie zeigt, daß der Funke nicht ein Ding an sich ist, vielleicht gar die äußere Form der Elektrizität, sondern nur eine ihrer Wirkungen, die sich in der Abstäubung und Er-

higung, ja vielleicht Verdampfung, winziger Metallteilchen darstellt. Es muß sich mithin durch die Entladung, deren Dauer nur nach Bruchteilen von tausendstel Sekunden zählt, jene Wärmemenge entwickeln, die ein allerdings winziges Metallteilchen bis zu seinem Schmelzpunkt, ja bis zum Siedepunkt treibt.

Mit den Größenverhältnissen der Glasplatte braucht man nicht allzu ängstlich zu sein. Sie kann eine Höhe von 30 bis 40 cm und eine Breite von 15 bis 20 cm haben. Man bestreicht sie einerseits bis auf einen zweifingerbreiten Rand mit Firnis und siebt die Metallspäne recht gleichmäßig auf. Wie dicht sie liegen müssen, lehrt die Erfahrung. Ein zu dichter Belag macht die Blitze zwar lang, aber auch

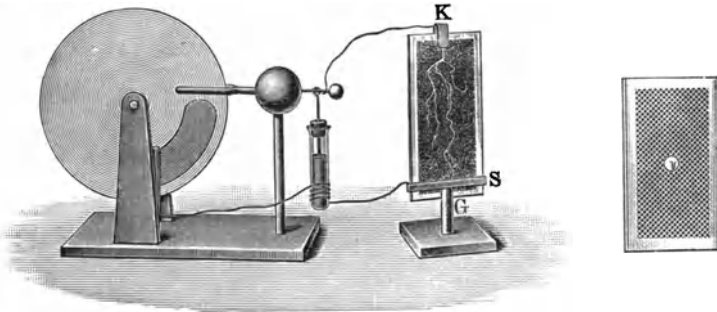


Fig. 137. Blitztafeln.

weniger glänzend. Die rechte Hälfte der Fig. 137 stellt eine Blitztafel dar. Man gibt ihr am besten ein Stativ, aus Holzbrett und Siegelackstange *G* bestehend. Um den Fuß der Platte ist ein dicker Stanniolstreifen *S* geklebt und seitwärts mit einem Drahthäkchen versehen, durch das er mit dem Reibzeug der Maschine oder zunächst auch mit dem äußeren Belag einer kleinen Leidener Flasche in Verbindung steht. Am Kopfende der Platte berührt eine Metallklammer die Späne und ist durch einen Draht mit dem Konduktor der Maschine verbunden. Sobald diese gedreht wird, sucht sich die Entladung einen Weg über die Metallteilchen, und schön verästelte Blitze zucken an der Tafel nieder.

Man kann, wie schon angedeutet, die Tafel mit der Maschine allein betreiben, erhöht aber durch eine Leidener Flasche den Glanz der Blitze, allerdings auf Kosten ihrer Häufigkeit, nicht unbeträchtlich. Nur sollte die Flasche nicht zu groß und für lange Funken gebaut sein. Unsere Leser wissen bereits aus einem etwas weiten Reagenzglas eine derartige Flasche herzustellen.

Besitzt man keine Elektrifiziermaschine, dann kann man auch mit dem Elektrophor einen Blitz hervorbringen. Man wählt als Sammelvorrichtung eine kleine Medizinflasche, die in der oben (S. 326) angegebenen Weise mit Goldschaum gefüllt wird, stellt sie auf den Tisch und verbindet den oben abgerundeten Draht, der mit dem Innern in Verbindung steht, mit dem Knopf-, den äußeren Belag mit dem Fußende der Blitztafel. Führt man hierauf in schneller Folge mit dem Elektrophordeckel Elektrizität an den Drahtstab der Flasche heran, so wird von Zeit zu Zeit ein Blitz über die Tafel springen.

Eine andere Form der Blitztafel ist in ihrem Betriebe womöglich noch einfacher. Man überzieht eine Glastafel der gedachten Größe auf der einen Seite, doch so, daß ein 5 cm breiter Rand stehen bleibt, mit Stanniol. Auf der anderen Seite streicht man mit Firnis und streut in der beschriebenen Weise Feilspäne auf. Wenn die Tafel völlig trocken ist, lehnt man die Rückseite an den Konduktor und ladet. Gleichzeitig berührt man die Feilspäne mit der Hand nacheinander an verschiedenen Stellen. Überall werden sich unter den Fingerspitzen kleine, sternförmig verästelte und — den ängstlichen Gemütern sei's gesagt — gänzlich ungefährliche Blitze ausbilden. Denn die auf der Rückseite sich ansammelnde Elektrizität wird ihre andersnamige Schwester aus der Erde und durch unsere Fingerspitzen gegen die Feilspäne ziehen, zwischen denen wir sie sich in kleinen Fünkchen verteilen sehen. Hierdurch wird die Tafel eigentlich erst geladen. Nähert sie sich dem Zustande völliger Ladung, was man an dem spärlicheren Auftreten der Funken bemerkt, so legt man den Auslader (S. 327) auf den Konduktor und nähert seine zweite Kugel dem oberen Rande der mit Feilspänen bestreuten Seite.

Mit einem lauten Knall vereinigen sich die beiden Elektrizitäten, und da alle Metallteilchen an der Entladung teilnehmen wollen, so sieht man von dem Berührungspunkt einen feurigen, lebhaft glänzenden Blitz ausgehen, der, einem breit verzweigten Baume gleichend, in einem Augenblick blendend die ganze Tafel überfliegt und noch lange, nachdem er verschwunden, seinen Eindruck im Auge zurückläßt.

Schließlich wollen wir noch einer dritten Form der Tafel Erwähnung tun, weil sie ohne Metallspäne herzustellen ist und zu den Blitzröhren überleitet. Man belegt eine Glascheibe beiderseits, bis auf einen dreifingerbreiten Rand, mit Stanniol, gerade als wollte man eine Franklin'sche Tafel herstellen. Mit einem scharfen Messer versieht

man darauf den einen Belag mit zwei Reihen sich schräg kreuzender Schnittlinien, so daß das Stanniol in eine große Anzahl unzufammenhängender, schiefer Vierecke zerlegt wird (Fig. 137, rechte Seite). Auf diese Fläche wird eine kleine Messingplatte mit einem Metallhütchen gekittet.

Zum Gebrauch lehnt man die Tafel mit der unzer schnittenen Rückseite gegen den Konduktor und verbindet die vordere Fläche mit dem Reibzeug. Man bemerkt dann, wie sich die Ladung auf der vorderen Fläche durch die kleinen Stanniolrauten blizartig verteilt. Gegen Ende der Ladung werden die Blitze schwächer und man kann dann so verfahren, wie bei der vorigen Tafel angegeben, d. h. den Konduktor durch einen Auslader mit dem Hütchen des vorderen Belages verbinden. Der Blizschlag ist dann allerdings nicht so schön verzweigt, wie bei der Feilichttafel, dafür aber äußerst glänzend.

Funkenröhren. Über die eben beschriebene, gewürfelte Fläche breitet sich die Entladung nach Belieben aus. Es ist aber auch möglich, ihr durch eine andere Vorrichtung einen bestimmten Weg vorzuschreiben.

Wir nehmen eine ziemlich weite Glasröhre, so lang, daß sie, mit einem Kork und Messinghütchen am Konduktor hängend, den Tisch nicht berührt (Fig. 138), und kleben mit gutem Kleister zunächst an ihren Enden je einen Stanniolring um sie, der durch ein untergeschobenes Drähtchen mit den Messinghaken in

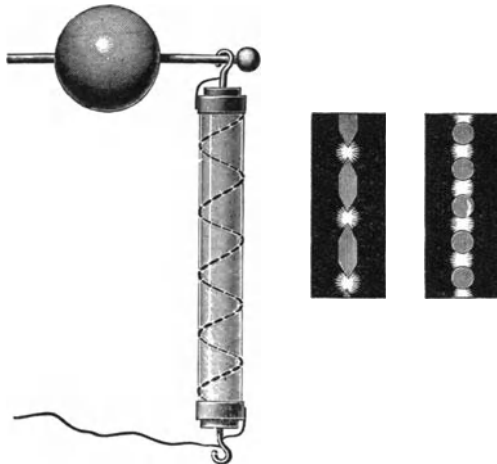


Fig. 138. Blitzröhre.

Verbindung steht, von denen die Röhre an ihrem unteren Ende ebenfalls einen besitzt. Dann schneidet man aus einem $\frac{1}{2}$ cm breiten Stanniolstreifen eine größere Anzahl etwa $\frac{1}{2}$ cm langer und beiderseits zugespitzter Rechtecke, die man mit einem kleinen, in Kleister getauchten

Hölzchen aufgreift und in einer Spirallinie, wie es die Figur zeigt, auf die Glasröhre aufdrückt. Der Abstand, den die Stanniolstückchen voneinander haben dürfen, richtet sich nach ihrer Anzahl und der Stärke der Maschine. Je mehr es sind, desto geringer muß bei sonst gleichen Verhältnissen ihre Entfernung voneinander sein. Man sollte überhaupt nicht über einen Abstand von $\frac{1}{2}$ mm hinausgehen. Statt der Rechtecke können auch kleine kreisförmige Plättchen, die mit einem scharfen Rohr auf einer harten Unterlage ausgestanzt sind, mit Vorteil zur Verwendung kommen. Das erste Plättchen muß jedenfalls den oberen, das letzte den unteren Stanniolring leitend berühren.

Setzt man die Maschine in Umdrehung, so springen die Funken in Gestalt einer feurigen Schlangenlinie über, was einen sehr hübschen Anblick gewährt. Selbstverständlich hat man den unteren Stanniolring mit dem Reibzeug zu verbinden.

Leuchtende Buchstaben. Auf ähnliche Weise kann man auch leuchtende Buchstaben und Namenszüge bilden. Fig. 139 zeigt die Anordnung für den Buchstaben R. Wollte man das untere Ende des stehenden Hauptbalkens und das rechte Auslaufende des Buchstabens

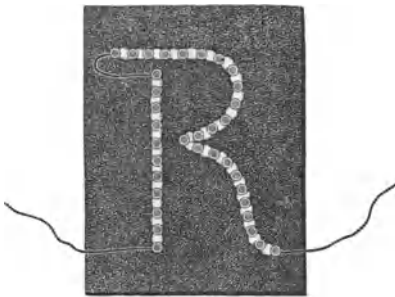


Fig. 139.
Elektrisch leuchtender Buchstabe.

je mit dem Konduktor und dem Reibzeug der Maschine verbinden, so würde die Entladung sogleich vom oberen Ende des Balkens nach dem oberen, geschwungenen Bogen überspringen, ohne daß der links oberhalb befindliche Aufstrich mitläufe. Man zerlegt den Buchstaben daher gleichsam in zwei Teile, den aufrecht stehenden Balken und die doppelt geschwungene Linie und stellt in der angedeuteten Weise eine Verbindung beider Teile durch ein Drähtchen her. Die Zuführung geschieht ebenfalls durch Drähte oder durch Stanniolstreifen. Auch hier wird die Leuchtwirkung durch Anwendung einer Leidener Flasche wesentlich erhöht.

Bei einiger Phantasie kann man so die schönsten Figuren herstellen. Es sollen nur einige von ihnen hier näher beschrieben werden.

★ **Batterie leuchtender Gläser.** Unsere Fig. 140 zeigt eine Anzahl im Kreise angeordneter Champagnerkelfe, deren Füße abgebrochen sind. Natürlich wird man diesen Zustand nicht an guten Gläsern gewaltsam herbeiführen, sondern sich in den Glashandlungen umschauen, die oft mehr Bruch haben als ihnen lieb ist und derartig beschädigte Ware billiger abgeben. Je mehr Gläser man anwendet, desto schöner wird der Anblick. In unserer Figur sind acht gezeichnet, doch kommt man auch schon mit dreien aus. Ebenso selbstverständlich brauchen es nicht gerade Champagnergläser zu sein. Reagenzgläser, Flaschen, dicke Glasröhren tun es auch.

Um jedes der Gläser wird eine Schlangenlinie aus Stanniolrauten gefleht, von der Spitze bis zum Fuß. Die Gläser stehen sämt-

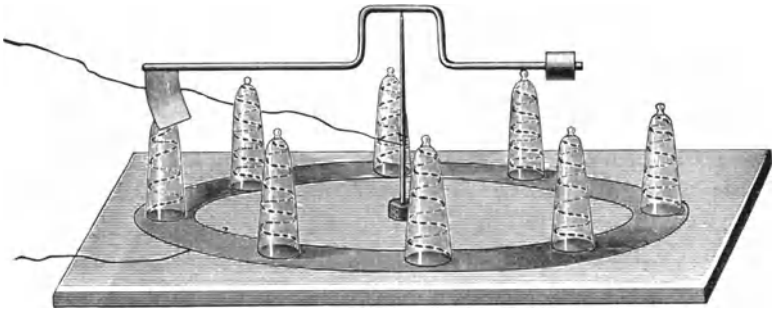


Fig. 140. Batterie leuchtender Gläser.

lich auf einem Ringstreifen aus Silberpapier — besser ist Stanniol — und sind hierdurch untereinander und mit dem Reibzeug der Elektrifiziermaschine (bzw. dem zweiten Konduktor einer Influenzmaschine) oder mit dem äußeren Belag einer kleinen Leidener Flasche verbunden. Von der untersten Raute muß ein Stanniolstreifen, der unter den Glasrand geklemmt wird, herabreichen und für eine gute Verbindung mit dem Stanniolring sorgen.

Die Elektrizität des Konduktors wird den Spitzen der Gläser durch eine einfache Drehvorrichtung mitgeteilt. Im Zentrum des Kreises ist ein starker, oben zugespitzter Draht auf einem Korke befestigt, der die Gläser fast um das Doppelte überragt und auf seiner Spitze einen Drahtbügel trägt, wie ihn die Abbildung zeigt. Der Bügel ist in der Mitte mit einem Drillbohrer etwas vertieft, so daß er von der Spitze nicht herabgleiten kann. Einerseits trägt der Draht eine leichte Fahne

aus Stanniol, Rauch- oder Blattgold, am anderen Ende ein verschiebbares Gewicht (Kork oder Kartoffel), das dem längeren Ende und der Fahne gerade das Gleichgewicht hält. Stößt man den Bügel an, so streicht die Fahne nacheinander über die Gläser hin, bewirkt in ihnen den elektrischen Ausgleich und zaubert so ein Funkenpiel hervor, das im Kreise herumläuft und prächtig aussieht, prächtiger und größer als es eigentlich ist, denn es leuchtet gleichzeitig immer nur ein Glas; unser Auge, das den Eindrücken nicht so schnell folgen kann, wähnt jedoch, mehrere Gläser, ja vielleicht alle zugleich aufblitzen zu sehen, wenn der Bügel sich nur schnell genug umdreht.

*** Eine elektrische Knallgaskanone.** In den größeren Eisenhandlungen erhält man gezogene Messingröhren in allen Längen und Weiten. Man wählt eine Rohrweite von der Stärke eines Wein- oder Champagnerkorkes und läßt sich von dieser Sorte ein zweifingerlanges Stück abjagen. Aus diesem Rohr soll die elektrische Kanone gebaut werden. Man durchbohrt dann — oder läßt durchbohren — das Rohr in der Mitte an zwei gegenüberliegenden Punkten, so daß man, wie es auch die Fig. 141 zeigt, zwei Glasröhrenstückchen *a* einführen und mit Siegellack festfitten kann. Bevor dies jedoch geschieht, fittet man in beide Röhren einen Draht ein, der beiderseits in eine kleine Metallkugel (angelötetes Schrotkorn) endet. Im Innern des Rohres stehen die Kugeln etwa 2 mm auseinander und bilden hier eine Funkenstrecke. Darauf wird das Rohr einerseits durch einen mit Siegellack fest eingekitteten Holzpfropfen verschlossen.

Eine Lafette für dieses kleine Kanonenrohr ist aus Zigarrenkisten- oder Laubsägeholz schnell hergestellt. Die Glasröhren dienen als Achse. Man hat darauf zu achten, daß keinerlei Metallteile mit der Lafette in Berührung kommen.

Die Kanone wird mit Knallgas, d. h. mit einer Mischung aus Wasserstoff (dessen Bereitung die Leser späterhin kennen lernen werden) und Sauerstoff gefüllt. Es ist nicht nötig, ja es wäre bei der Menge, um die es sich handelt, gefährlich, das Knallgas in wirklich reiner Mischung zu verwenden. Es genügt vielmehr, das Rohr abwärts zu neigen und etwas Wasserstoffgas hineinsteigen zu lassen, worauf man mit einem guten Kork nicht allzu fest verschließt. Der in der Luft vorhandene Sauerstoff sorgt schon dafür, daß immer eine mehr oder weniger explosive Mischung zustande kommt.

Die so hergerichtete Kanone wird folgender Art losgeschossen. Man lädt eine Leidener Flasche und verbindet, wie es auch die Zeichnung veranschaulicht, ihren äußeren Belag mit dem einen Knopf der Kanone, während man den Knopf der Leidener Flasche mit dem anderen in Berührung bringt. Sofort erfolgt eine Explosion, die an Kraft oft nichts zu wünschen übrig läßt und den Pfropfen mit großer

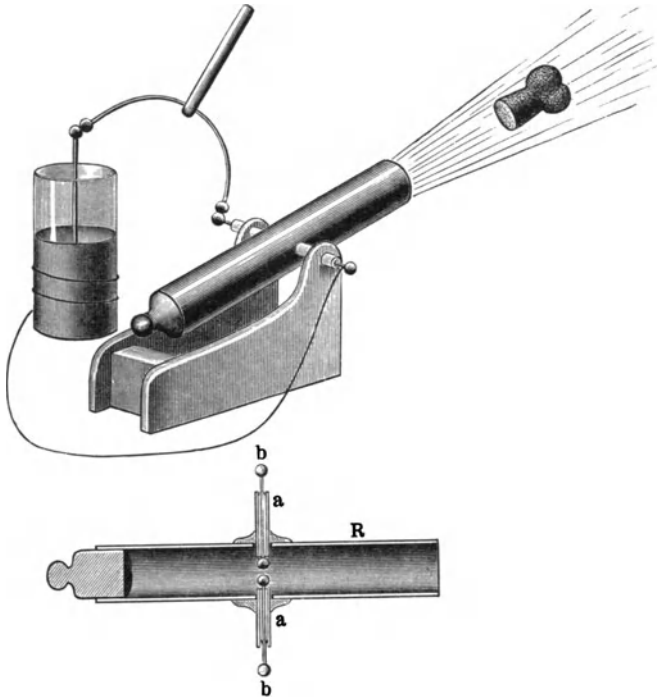


Fig. 141. Elektrische Knallgaskanone.

Gewalt aus dem Rohre treibt. Im Augenblick der Berührung springt nämlich im Innern des Rohres ein Fünkchen über, welches das Gasgemenge entzündet. Statt mit der Leidener Flasche selbst zu operieren, kann man auch den inneren Belag der Flasche durch den bekannten Auslader mit der Kanone in Verbindung bringen.

In Ermangelung von Wasserstoff kann man den Versuch mit gewöhnlichem Leuchtgas fast ebensogut anstellen. Man hat dann nur das Rohr einen Augenblick über einen geöffneten Gashahn zu halten,

bevor man es, mit der Mündung nach unten, verschließt. Die Erfahrung lehrt bald, das richtige Mischungsverhältnis zu treffen. Zu viel Gas sowohl als auch zu viel Luft macht die Explosion flau oder läßt sie gar nicht zustande kommen. Ein Teil Gas auf fünf bis sieben Teile Luft gibt den ärgsten Knall.

Dieses Mischungsverhältnis genau zu kennen, ist für die Technik von größtem Wert, denn sie baut in großer Anzahl friedliche Kanonen, bei denen die Triebkraft des entzündeten Gasgemisches für gewerbliche Zwecke ausgenutzt wird. Wir meinen hiermit die Gasmotoren (auch die Verbrennungsmotoren der Automobile, Lenkballone und Flugzeuge gehören dazu), bei denen der herausgeschleuderte Pfropfen durch einen Kolben ersezt ist, der, in einem Zylinder hin und her gehend, ein Schwungrad antreibt. In der Tat wickelt der laufende Gasmotor alle die Vorgänge selbsttätig ab, die wir nacheinander an der Kanone vornahmen. Der hin und her gehende Kolben saugt zunächst Luft in den Zylinder; darauf gerade so viel Gas, als zu einer guten Explosion nötig ist, drückt darauf zurückgehend das Gemenge zusammen und entzündet es durch einen kleinen elektrischen Funken, worauf er wiederum durch die Ausdehnung der Gase nach vorn getrieben wird und die Kraft der Explosion auf das Schwungrad überträgt. Darauf wiederholt sich das eben geschilderte Spiel von neuem.

*** Funken-telegraphie.** Nur ungern beschreiben wir unseren jungen Lesern nunmehr einen Versuch, dessen Erklärung wir ihnen versagen müssen. Sei's aber diesmal drum. Denn es handelt sich um ein Experiment von größter praktischer Bedeutung, das zudem ziemlich leicht auszuführen ist.

Wir verschaffen uns zwei hohe Masten — je höher, desto besser — indem wir Besen und Spazierstöcke an Tischbeinen festbinden (vgl. Fig. 142). An den Krücken binden wir zunächst kleine Endchen Seidenfaden fest (s, s') und an ihnen zwei Drähte A und A' aus Kupfer, so lang, daß sie bis auf den Tisch herabreichen. Ferner bereiten wir vor eine kleine Leidener Flasche L und ein Glasröhrchen F' mit Stopfen, in das zwei stärkere Drähte ragen, jedoch ohne sich in der Mitte zu berühren. Mit Zuhilfenahme eines Schlüsselbundes B stellt man dann die Schaltung her, wie sie auf der linken Seite der Abbildung zu sehen ist. Man wählt die Drähte blank, dünn und biegsam, damit man die Verbindungen durch Umeinanderwickeln her-

stellen kann. Das Röhrchen *F* bindet man zweckmäßig etwas oberhalb des Tisches mit Schnur am Besenstiel fest.

Auf der anderen Tischplatte bedarf man einer galvanischen Batterie (etwa zwei Trockenelemente), einer elektrischen Klingel und einer

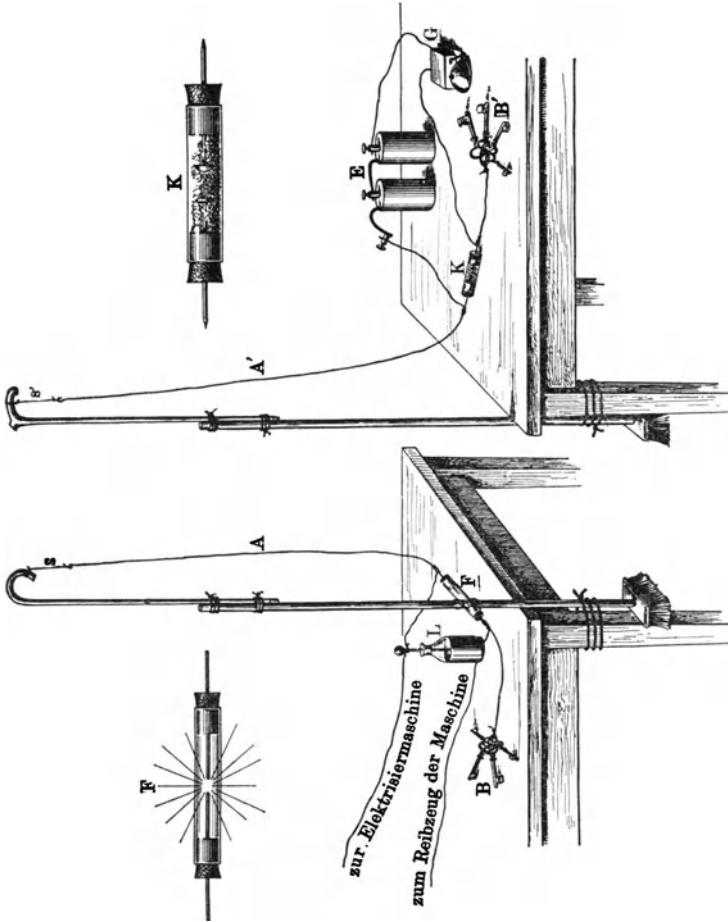


Fig. 142. Funkenentelegraphie.

kleinen Vorrichtung *K*, die etwas sorgfältig ausgeführt sein muß. Wir haben sie oberhalb noch einmal etwas größer gezeichnet. Ein Glasröhrchen von etwa 4 bis 5 cm Länge wird beiderseits durch gut passende Korke verschlossen und mit nicht allzu feinen Messingfeilspänen fast ganz angefüllt. Durch die Korke sind zwei Nägel mit blanken

Messingköpfen gesteckt, deren Kuppen voneinander einen Abstand von etwa $\frac{1}{2}$ cm haben können. Die Abbildung zeigt, wie diese Vorrichtung mit der Batterie, der Klingel, dem Schlüsselbund und dem Draht *A'* verbunden wird. Alle Verbindungen müssen sehr sauber und gut sein.

Nach der Schaltung sollte man annehmen, daß der Stromkreis der Elemente durch *K* geschlossen sei und die Glocke daher anfangen müsse zu läuten. Das ist jedoch nicht immer der Fall, da das lockere Metallpulver für den Strom eine sehr schlechte Brücke abgibt. Man hat nun mit einiger Geduld folgendermaßen zu verfahren. Ganz vorsichtig drückt man die Nägel etwas gegeneinander, bis die Glocke läutet. Darauf klopft man mit einem Bleistift oder Federhalter gegen das Röhrchen und bringt die Glocke so durch Aufrüttelung des Pulvers wieder zum Verstummen. Dann kann man denselben Vorgang noch einmal wiederholen. Schließlich ist die Glocke nur noch mit Not und Mühe durch Beklopfen des Röhrchens zum Schweigen zu bringen, und der geringste Anlaß müßte dann offenbar genügen, sie wieder in Gang zu setzen.

Nun verbindet man die kleine Leidener Flasche auf dem anderen Tisch mit einer Reibungselektrifiziermaschine oder einem kleinen Funkeninduktor, wenn man so glücklich ist, den zu besitzen, und läßt auf. Sofort springen in dem Röhrchen *F* Fünkchen über, vorausgesetzt, daß dort der Abstand der Drähte nicht mehr als etwa 3 mm beträgt. Und wunderbar, in dem Augenblick, wo die Fünkchen in *F* überspringen, beginnt die Glocke auf dem anderen Tisch zu läuten und läutet fort, bis das Röhrchen *K* mit den Feilspänen abgeklopft wird. Jedes neue Fünkchen erregt die Glocke von neuem.

Das ist doch wahrlich ein seltsamer Vorgang! Hier auf dem einen Tisch haben wir eine elektrische Erscheinung und durch sie wird auf dem zweiten Tisch eine andere ausgelöst, ohne daß die Apparate irgendwie miteinander durch Drähte verbunden wären. Es geht also offenbar eine Wirkung durch den Raum, von der wir unseren Lesern leider nicht sagen können, wie sie im besondern zustande kommt. Sie mögen aber daran denken, daß in einem Klavier eine Saite mitklingt, wenn wir ihren Ton hineinsingen (vgl. S. 139), und daß eine Stimmgabel zu schwingen beginnt, wenn wir in der Nähe eine andere Stimmgabel von gleicher Tonhöhe anschlagen. Dabei werden die Schwingungen von den Schallwellen durch den Raum übertragen. So

ähnlich auch hier. Es entstehen auf dem ersten Tische in den Drähten elektrische Schwingungen und diese werden durch „elektrische Wellen“ auf das andere Drahtsystem übertragen und bewirken dort ein oberflächliches Zusammenhaften der Feilspänchen. Mehr dürfen wir nicht sagen, ohne Mißverständnisse hervorzurufen, aber wenn unsere jungen Freunde von der „Funkentelegraphie“ hören sollten, so mögen sie sich an diesen Versuch erinnern. Denn ähnlich, wie hier, sieht eine Funkstation aus; ihr physikalisches Prinzip ist jedenfalls dasselbe. Auch sie arbeitet mit elektrischen Wellen. Nur ist alles in den Abmessungen viel größer, die Art der Wellenerzeugung ist meist eine andere und vor allem in den Empfangsvorrichtungen ist der Kohärer (d. i. das Röhrchen mit den Metallspänen) längst durch ungleich empfindlichere und zuverlässigere Vorrichtungen ersetzt. Die Antennen-drähte, in unserem Versuch durch Spazierstöcke gestützt, umspinnen draußen einen kleinen Wald von eisernen Gittertürmen, die mehrere hundert Meter hoch in die Wolken ragen. Wenn die Riesenstation Rauen bei Berlin ihre gewaltige Stimme erhebt, umbränden ihre mit hunderten, ja mit tausenden von Pferdekraften erzeugten elektrischen Wellen den ganzen Erdball und werden im Bruchteil einer Sekunde von unseren Gegenfüßlern in Australien wahrgenommen. Die neuesten Nachrichten erscheinen, gedruckt, auf den großen Dampfern ohne alle Verspätung, und neuerdings kann man sogar auf den Flügeln der Herzischen Wellen den Laut der menschlichen Sprache über Berg und Tal, Wald und Meer reisen lassen.

Der Herzischen Wellen? Nun ja, wir wollen uns doch den Namen des Mannes merken, der, angeregt durch die theoretischen Erwägungen des Engländers Clerk Maxwell, zum erstenmal in seinem Laboratorium elektrische Schwingungen und Wellen erzeugte. Der deutsche Physiker Heinrich Herz war es, ahnungslos freilich, welsch eine Ummwälzung seine große Entdeckung einmal im Handel und Wandel des Völkerverkehrs hervorbringen würde.

Dem Magnetismus.

Aus den Tiefen der Bergwerke von Magnesia wird ein dunkles Erz heraufgeholt, dessen wunderbare Eigenschaften schon im grauen Altertum bekannt waren. Es teilt die Eigenschaft der Anziehung mit

dem Bernstein, nur daß es seine eigentümliche Kraft aus dem Schoße der Erde mit heraufbringt und nicht wie dieser erst gerieben zu werden braucht. Auch erstrecken sich die Kräfte des Erzes — es handelt sich um einen Eisenstein — keineswegs auf alle Körper. Nur wenige werden von ihm angezogen, insonderheit Stahl und Eisen, und diese wiederum verhalten sich verschieden. Denn während Stahl, einmal vom Eisenerz berührt, die gleichen Eigenschaften — man nennt sie nach dem Fundort des Steines magnetische — annimmt und beibehält, zeigt sich Eisen nur bei Berührung mit dem Erz selbst magnetisch und verliert diese Eigenschaft nach der Trennung sofort.

Stahlstücke, denen man durch Berührung magnetische Kräfte verliehen hat, nennt man, im Gegensatz zu dem Erz, künstliche Magnete.

Künstliche Magnete kommen für uns allein in Betracht. Vor hundert Jahren noch war es kein leichtes, einen guten Stahlmagneten zu erhalten, und in den physikalischen Lehrbüchern jener Zeit sind die verschiedensten, geheimnisvollen Rezepte zu ihrer Herstellung angegeben. Heute liefert eines der einfachsten elektrischen Experimente den besten Magnet. Wir beschreiben seine Anfertigung nach dieser Art später und setzen hier voraus, daß sich unsere Leser so in den Besitz von Magnetstäben gesetzt haben.

Nur über den brauchbarsten Stahl mag hier einiges gesagt sein. Ist er zu weich, dann verschwindet sein Magnetismus schon nach wenigen Tagen, ist er dagegen zu hart, dann zerbricht er leicht bei unachtsamer Behandlung. Man kauft den Stahl ebenso wie das Eisen beim Eisenhändler in Stangen von rundem oder quadratischem Querschnitt, und wir empfehlen unseren Lesern sehr, sich einige Stücke von der Dicke eines kleinen Fingers und der Länge eines Bleistiftes zur Anlage einer Magnetsammlung anzuschaffen. Doch ist ihr Härtegrad meist nicht der richtige. Man erwärmt sie daher in einem Kohlenfeuer, bis sie über und über gleichmäßig in dunkelrote Glut kommen, und wirft sie plötzlich in kaltes Wasser. Sie sind dann glashart und zerbrechen, läßt man sie auf einen Stein fallen, sofort in einige Stücke. Um dies zu vermeiden, schleift man sie mit Sand- oder Schmirgelpapier blank und hält sie dann mit einer Zange über ein breites, offenes Kohlenfeuer. Bei der Erwärmung verändern sie ihre Farbe und nun heißt es aufpassen. Zuerst tritt eine strohgelbe, dann eine

braungelbe, zuletzt eine schön purpurrote Farbe auf. In diesem Augenblick taucht man den Stahl wieder in kaltes Wasser und er wird dann neben bedeutender Härte noch diejenige Zähigkeit haben, die ihn vor dem Bruch sichert.

Es ist immerhin interessant, einmal ein Stahlstück länger als nötig über dem Feuer zu lassen. Die rote Färbung geht dann sofort in eine prächtig blaue über und diese zeigt bereits einen Härtegrad an, der für dauerhafte Magnete nicht mehr genügt. Noch weiter erhitzt, verliert der Stahl auch seine strahlend blaue Farbe. Sie macht einem unansehnlichen Blaugrau Platz, und das Stück hat fast die hervorragenden Eigenschaften des Stahles verloren, es ähnelt dem Schmiedeeisen, läßt sich biegen und beseilen, zum Magneten aber ist es völlig untauglich geworden.

Will man einmal die Klinge eines breiten Messers für den Versuch opfern, so kann man alle diese Anlaßfarben — man nennt nämlich in der Technik das allmähliche Erhitzen spröden Stahles das „Anlassen“ — auch nebeneinander sehen. Die Klinge ist sehr hart und fähig, alle Farben anzunehmen. Man hält sie ruhig über den Zylinder einer brennenden Lampe und beobachtet dann nach kurzer Zeit das Auftreten von Farben, und zwar von Farbenringen. Das kann nicht überraschen, denn vom Zylinder aus nimmt die Temperatur nach allen Seiten hin ab. Unterbricht man den Vorgang in dem Augenblick, wo über der Zylinderöffnung das stumpfe Graublau erscheint, so hat man in der Tat alle Anlaßfarben und, der Reihe nach in demselben Stahlstück, auch alle Härtegrade. Auf das Grau folgt ein blauer Ring, dann ein kirschroter, darauf ein hellbrauner und dann ein gelber. Dieser Vorgang ist vielen bekannt und doch, wollte man jemand die Aufgabe stellen, auf einem blanken Stück Stahl die genannten Farbenringe ohne Farbe herzustellen, er würde auf das einfache Mittel kaum verfallen.

Doch nach dieser kleinen Abschweifung zurück zu unseren wohlgehärteten Stahlstäben. Wie man sie auf elektrischem Wege in kräftige Magnete verwandelt, finden, wie schon gesagt, unsere Leser im folgenden Abschnitt angegeben. Hat man einmal einen guten Magneten, dann kann man seinen Magnetismus auch auf folgende Art anderen Stahlstäben mitteilen und sich so auch auf diesem Wege so viel Magnete anfertigen, als man will.

Wir werden später noch besonders auseinandersetzen und bemerken es an dieser Stelle vorgehend, daß sich ein Magnet an seinen beiden

Enden verschiedenartig magnetisch zeigt, er hat, wie man sagt, einen Nord- und einen Südpol. Wir nehmen an, daß diese Pole bei unferem Stabe nach der später angegebenen Art schon bestimmt sind. Um nun einen anderen Stab zu magnetisieren, bestreicht man ihn, wenn er dünn ist und es sich z. B. um eine Stricknadel — übrigens ein vortreffliches magnetisches Material — handelt, einfach seiner ganzen Länge nach mehrfach, aber immer in der gleichen Richtung mit einem der Pole. Größere Stücke legt man auf den Tisch und bestreicht die eine Hälfte, von der Mitte aus nach dem Ende hinfahrend, mit dem Süd-, die andere mit dem Nordpol. Nach einiger Zeit wird der Stab so magnetisch geworden sein, daß er weiter nichts mehr annimmt. Es wäre daher zwecklos, die Arbeit weiter fortsetzen zu wollen. Recht zweckmäßig ist es jedoch, den zu magnetisierenden Stahl während des Streichens mit einem Holzstückchen leicht zu klopfen.

Wir sind nun mit einer Anzahl kleiner Magnetstäbe versehen und stellen mit ihnen einige leichte Experimente an, die uns das Verständnis für alle kommenden Versuche erschließen.

1. Eisen (ein Nagel) sowohl wie Stahl (eine Nähnadel) werden von einem Magneten angezogen.

2. Wir benutzen die zu den ersten elektrischen Versuchen gebrauchten Glasstative und hängen an einem von ihnen einen Magnetstab bei seiner Mitte drehbar auf. Selbstverständlich kann die Aufhängung auch sonst an irgend einem Gegenstande erfolgen, wenn er nur nicht aus Eisen ist. Fig. 143 A zeigt, wie man dabei den Stab durch einen Kork steckt und diesen wiederum mit einer Drahtschlinge an dem Faden befestigt. Der Magnet dreht sich einigemal taumelnd herum, dann aber beginnt er in immer kleineren Bogen hin und her zu schwingen, als suche er eine bestimmte Richtung. Schließlich nimmt er eine bestimmte Lage ein und kehrt immer wieder in diese zurück, so oft man ihn auch herausbringt, und bald finden wir ein Gesetz heraus, denn wir bemerken, daß es stets die Richtung von Nord nach Süd ist. Wir notieren uns den zweiten Satz: Ein frei aufgehängter Magnet stellt sich von Nord nach Süd.

3. Wir hängen zwei Magnetstäbe in größerer Entfernung voneinander auf. Sie stellen sich beide von Nord nach Süd, und wir bezeichnen das nach Norden gekehrte Ende bei beiden Stäben auf irgend eine Art zum Unterschied gegen das andere mit einem übergehängten Papierfächchen. Darauf nähern wir beide Stäbe einander vorsichtig,

was mit Hilfe der Glasstative sehr leicht geschieht. Sofort ändern sie ihr Benehmen. Sie verlassen die alte Richtung mehr und mehr und kehren sich einander zu, wobei sie das Bestreben zeigen, in eine Linie aufzumarschieren (Fig. 143 B). Aber es ist kein Zufall, daß sich dabei der Nordpol des einen Stabes dem Südpol des anderen zuwendet, denn so oft man auch durch Anstoß die Stäbe zur Umdrehung zwingt, immer stellt sich nach einiger Zeit das alte Verhältnis wieder her. Wir nehmen nun den einen Stab ab und halten ihn nacheinander mit seinem Nordpol gegen den Nordpol, mit seinem Südpol gegen den Südpol des schwingenden Magneten. In beiden Fällen erfolgt eine Abstoßung.

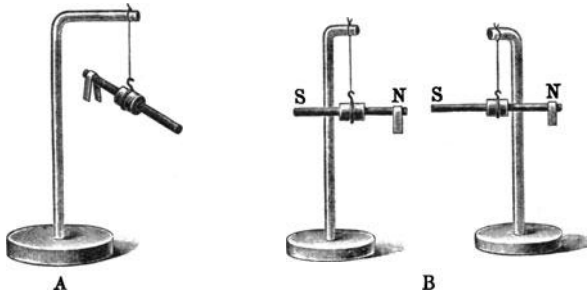


Fig. 143. Verhalten frei aufgehängter Magnete.

Nähert man jedoch einen Nordpol dem Südpol, so findet Anziehung statt, woraus man den Schluß ziehen muß: Gleichnamige Magnetpole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

4. Wir halten einen Magnetstab wagerecht unter den drehbaren und sofort wird sich dieser in die gleiche Richtung einstellen, so zwar, daß der Nordpol sich über dem Südpol, der Südpol über dem Nordpol befindet. Liegt der „Richtmagnet“ gerade in der uns bekannten Nord-südrichtung, dann wird auch der bewegliche Magnet die gleiche Richtung haben. Entfernt man den Richtmagneten in dieser Lage, so tritt keine Veränderung ein, wohl aber in jeder anderen, wenn er z. B. die Ostwestrichtung hatte. Die Erde wirkt also selbst wie ein Magnet, dessen Pole im Norden und im Süden liegen.

Von der Anfertigung eines Kompasses. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die Eigenschaften eines drehbar aufgehängten Magneten zur Auffindung der Himmelsgegenden und damit zur Orientierung dienen können, auch wenn die Gestirne durch Wolken verhüllt

sind. Der Gebrauch der Magnethadel war wahrscheinlich zuerst den Chinesen bekannt. Alte Darstellungen weisen darauf hin. Mit Hilfe der Magnethadel konnte die Schifffahrt es wagen, die Küste zu verlassen und ohne Gefahr über das Meer zu gehen, wenn ihr nur überall die Abweichung des Schiffsurses gegen die Magnethadel bekannt war. Und doch würde ein Schiff, das immer der Nadelrichtung folgte, niemals an den Nordpol kommen, denn, wohlgemerkt, der astronomische Nordpol und der magnetische sind zwei verschiedene Dinge, und wenn wir sagten, die Magnethadel zeige nach Norden, so ist dies nur mit einer Einschränkung richtig. Die wahre Nordrichtung ist nur bekannt, wenn auch die Abweichung der Magnethadel von ihr bekannt ist. Darüber ist der Seefahrer wohl unterrichtet, und wenn wir einen Kompaß, d. h. einen Apparat bauen wollen, der mit Hilfe der Magnethadel die Himmelsrichtungen jederzeit finden läßt, so haben wir uns diese Verhältnisse ebenfalls vor Augen zu halten.

Ein am Faden aufgehängter Magnetstab ist stets die vollkommenste Magnethadel, da keine andere Vorrichtung eine so leichte Drehung gestattet. Will man einen Kompaß daraus machen, so braucht man nur ein Kartonblatt rund zu schneiden, darauf die Windrose zu malen und diese, indem man den Faden durch ein Loch in der Mitte zieht, horizontal auf den Kork oder den Magnetstab selbst zu kitten. Die Scheibe folgt dann allen Bewegungen des Stabes. Wollte man die Befestigung so vornehmen, daß die Nordrichtung der Rose gerade über den Magneten käme, so würde man wohl die magnetischen, aber nicht die astronomischen Himmelsgegenden erhalten und unsere Orientierung würde dann, wie der Seefahrer sagt, einer „Mißweisung“ unterliegen. Dreht man dagegen die Rose um so viel gegen den Stab, als die Mißweisung, d. h. die Abweichung gegen die wahre Nordrichtung beträgt, dann wird der Kompaß „rechtweisend“. Diese Abweichung ist nun auf vielen Punkten der Erde ganz voneinander verschieden, sie kann gleich Null sein oder ebensogut auch östlich, wie westlich. Selbst in kleineren Ländergebieten, wie Deutschland, ist sie von Punkt zu Punkt verschieden, weicht jedoch nicht allzuviel von einem bestimmten Mittelwert ab. Diesen zu wissen, genügt für uns vollständig, wenn der Kompaß für Deutschland richtig hergestellt werden soll. Die Abweichung ist westlich und wir werden keinen großen Fehler machen, wenn wir sie zu 10 Grad, d. h. den 36. Teil des Kreisumfanges annehmen. Stellen wir uns so vor die Kompaßrose, daß Norden oben

vor uns liegt, dann haben wir den genannten Winkel nur nach links abzutragen, um sogleich die Richtung zu erhalten, mit welcher der Magnetstab übereinstimmen muß. Hängt man eine derartige Kompaßrose auf, dann sind ihre Angaben die astronomisch richtigen. Fig. 144 zeigt eine Kompaßrose für Deutschland mit der erforderlichen Magnetstellung.

Begreiflicher Weise kann eine derartige Aufhängung nur im Zimmer vorgenommen werden, wo kein Luftzug und keine Erschütterung die Kompaßrose beeinflusst. Man macht sie überhaupt nicht allzu groß und begnügt sich mit einer starken Stricknadel als Magnet, die in irgend einer der angegebenen Weisen magnetisiert wurde. Sollte der Kompaß dagegen, was doch vorwiegend der Fall ist, für die Reise dienen, so muß man den Magneten in einem runden Kästchen auf einer Spitze spielen lassen. Die käuflichen Magnetnadeln, aus einem flachen, an den Enden zugespitzten Stahlstück bestehend, sind deshalb in der Mitte durchbohrt und mit einem kleinen Hütchen, meist aus Messing und Achat, versehen, mit dem sie auf eine feine Nadelspitze aufgesetzt werden können. Magnetnadeln selbst fertigen zu wollen, hat wirklich keinen

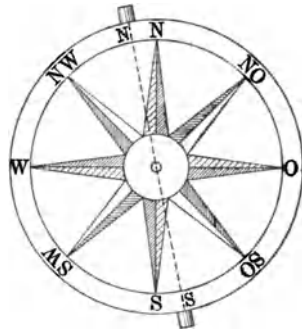


Fig. 144. Kompaßrose.

Zweck, da man doch etwas Vollkommenes nicht erreichen wird und sie außerdem billig genug bekommt. Man nimmt die Nadel so groß, daß sie bequem in einem der bekannten, runden Pillenschächtelchen spielen kann. Der Deckel wird rund bis auf einen kleinen Rand ausgeschnitten und von innen mit einer Glasscheibe verkittet, die der Glaser schneiden muß. Durch sie beobachtet man das Spiel der Nadel. In den Boden der Schachtel wird eine sauber gezeichnete Kompaßrose geklebt, auf der bereits durch einen besonderen Strich, der durch den Mittelpunkt führt, die besprochene Abweichung der Nadel angegeben ist. Auf den Mittelpunkt wird ein kleines Korkstückchen mit einer Nähnadelspitze gekittet. Man wählt die Nadel so lang — durch Abbrechen oder Abkneifen mit der Zange kann man leicht jede gewünschte Länge herstellen —, daß bei aufgesetztem Deckel die auf ihr spielende Magnetnadel wohl sich frei bewegen nicht aber herunterfallen kann, wenn man das Schächtelchen umkehrt.

Bei dieser Kompaßeinrichtung bewegt sich also die Nadel nicht mit, sondern über der Rose. Zum Gebrauch dreht man das horizontal gehaltene Schächtelchen so lange, bis die Nadel mit der durch die Linie der Abweichung gegebenen Richtung übereinstimmt. Dann zeigen die Striche der Rose die wahren Himmelsrichtungen an. Das Nordende der Nadel wird von dem Händler meist durch dunklere Färbung bezeichnet. Aus begreiflichen Gründen darf an einem Kompaß außer der Magnetnadel nichts von Stahl oder Eisen sein.

Ein magnetisches Roulettespiel. Man verschafft sich eine möglichst flache, runde Pillenschachtel und kittet innen auf ihren Boden einen flachen Stahlmagneten von dem Durchmesser der Schachtel. Er kann aus einer breiten, ausgeglühten, gerade geklopften und darauf wieder gehärteten Uhrfeder hergestellt werden. Auf den Magneten klebt man ein genau passendes rundes Pappstück, das nun den Boden der Schachtel zu bilden scheint und so den Gedanken an einen verborgenen Magneten gar nicht aufkommen läßt. Dort, wo der Nordpol liegt, den man mit einer Magnetnadel sofort herausfindet, macht man außen in den Bodenrand eine winzige, nur dem Eingeweihten bemerkbare Kerbe. Das ganze Kästchen muß den Anschein erwecken, als diene es nur zur Aufbewahrung der gleich zu besprechenden Nadel.

Auf dem oberen Deckel werden, ähnlich wie bei einer Kompaßrose die Buchstaben, hier die Zahlen von eins bis zehn im Kreise herumgeschrieben; in der Mitte des Deckels befindet sich ein Stift, auf dem sich eine kräftige Magnetnadel drehen kann. Doch darf sie durch nichts ihre wahre Natur verraten. Man überklebt sie daher beiderseits mit Papier, das man pfeilartig zuschneidet. Die Spitze des Pfeiles muß mit dem Südpol übereinstimmen.

Weiterhin gehören zu diesem magnetischen Scherz drei äußerlich ganz gleiche Pillenschächtelchen, die jedoch für den Experimentator durch kleine Kerbschnitte im Rande oder Siegellacktröpfchen einzeln kenntlich sind, auch wenn er sie in der Tasche hat.

In das eine Schächtelchen legt man zehn runde und einzeln in Papier gewickelte Pappscheiben. Auf allen steht ein und dieselbe Zahl, beispielsweise 4. In das zweite Schächtelchen kommen ebenfalls zehn Pappscheiben mit irgend einer anderen Zahl zwischen eins und zehn, sagen wir 7. Das dritte Schächtelchen enthält dagegen acht Scheibchen beschrieben mit allen Zahlen von eins bis zehn, außer

den genannten, also 1, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10. Alle Zahlenscheibchen sind eingewickelt.

Man bringt nun aus der Tasche beispielsweise das Schächtelchen hervor, das nur die Zahlen 4 enthält, schüttet den Inhalt auf den Tisch und bittet einen der Anwesenden, ein beliebiges Pappscheibchen zu wählen, aufzuwickeln und sich heimlich die Zahl zu merken. Währenddessen holt man den Pfeil aus der Dose, seinem gewöhnlichen Aufbewahrungsort, und dreht dabei unbemerkt den Deckel so, daß die Zahl 4 über den Kerb im Boden, also über die Stelle, wo der verborgene Nordpol liegt, zu stehen kommt. Dann legt man den Pfeil auf die Spitze und bittet dieselbe Person, ihm einen Anstoß zu geben. Er wird dann nach einigen Umläufen und pendelförmigen Schwingungen richtig auf der Zahl 4 zur Ruhe kommen.

Inzwischen hat man die übrigen Scheibchen schnell wieder gesammelt, in das Kästchen getan und dieses in die Tasche gesteckt. Wird man veranlaßt, dasselbe Experiment noch einmal zu wiederholen, dann nimmt man dazu die Schachtel mit der 7 und stellt die Kerbe auf die Zahl 7. Dann wird niemand mehr glauben, daß es sich nur um einen Zufall gehandelt habe. Die dritte Schachtel dient nun dazu, jeden Zweifel zu zerstreuen. Man zieht sie zum Schluß hervor — doch, wohlgemerkt, nicht eher, als man die vorige eingesteckt hat — und sagt: „Damit nicht etwa jemand glaubt, daß ich nur die Nummern 4 und 7 in einem Schächtelchen habe — dann wäre ja das Experiment sehr leicht — schütte ich hier die übrigen Nummern noch einmal aus und bitte nachzusehen.“ In der Tat finden sich alle Zahlen vor, mit Ausnahme der Nummern 4 und 7, die sich noch in den Händen der Zuschauer befinden.

Haben sich alle weidlich darüber den Kopf zerbrochen, dann klärt man das Experiment als ein magnetisches auf und auch den kleinen Betrug mit den drei Schächteln.

Ein angebliches Röntgenperspektiv. Unser kleiner Scherz hat mit den Röntgenstrahlen, die unter dem Einfluß elektrischer Entladungen in fast luftleer gemachten Glaskugeln entstehen, in Wahrheit nicht das geringste zu tun. Der Versuch ist ein rein magnetischer. Da aber die Röntgenstrahlen durch Körper wie Pappe und Holz hindurchdringen, so geben wir vor, mit ihrer Hilfe auch durch ein Pappschächtelchen sehen zu können. An diesem wird nichts vorbereitet, wohl aber

an einem Papprohr, das wir scherzhaft als „Röntgenrohre“ bezeichnen. Es mag eine Länge von 15 cm haben und einen Durchmesser von 4 cm. Beiderseits verschließen es Deckel, von denen der eine ein Guckloch hat. Der andere ist innen mit weißem Papier überzogen und hat in der Mitte einen mit Kork aufgeleimten Stift, auf dem eine kleine Magnetnadel spielt. Um sie auch bei schiefer Lage des Rohres am Herabfallen zu hindern, klebt man im Rohr, dicht über ihrem Hütchen, einen schmalen Steg aus Pappe ein. Einige Löcher in der Seitenwand des Rohres sorgen für eine genügende Beleuchtung der Nadel.

Vorher hat man in einigen Gegenständen, wie kleinen Äpfeln, einem Wollknäuel, geöffneten und wieder verklebten Walnüssen usw., die man den Zuschauern zur Auswahl in die Hände spielt, kurze Stückchen stark magnetisierter Stricknadeln untergebracht. Man verpflichtet sich zu sagen, ob einer dieser Gegenstände in ein beliebiges Pappschächtelchen gelegt wurde, das man verspricht, weder vom Tisch aufzuheben noch in der Hand zu wägen. Man setzt darauf das Perspektiv auf das Kästchen und sieht hindurch. Die Magnetnadel richtet sich für gewöhnlich nach Nord und es müßte schon ein eigenes Mißgeschick obwalten, wenn der verborgene Magnet zufällig dieselbe Richtung hätte. In allen anderen Fällen deutet die Magnetnadel durch eine Bewegung das Vorhandensein eines Körpers an. Unter allen Umständen kann man Gewißheit erlangen, wenn man das Kästchen etwas dreht — nicht hebt. Folgt die Nadel der Drehung nicht, so kann man gewiß sein, eine leere Schachtel vor sich zu haben.

Schmale Gegenstände eignen sich natürlich am besten, da sie nur flache Schachteln erfordern und die Nadel dem Nichtmagneten näher ist. Auch ist es ausgeschlossen, daß der Magnet dann in eine senkrechte Stellung kommt.

★ **Der magnetische Stundenzeiger.** Dieser Scherz ist zwar etwas umständlich vorzubereiten, aber unterhaltend genug.

Bekommt man beim Uhrmacher eine alte Weckeruhr, so ist die Hauptsache schon vorhanden. Derartige Werke haben die Uhrmacher oft umherliegen und geben sie, für gute Worte und wenn sie sich für unsere Versuche interessieren, zu einem mäßigen Preise ab, nur um sie los zu sein. Das Werk braucht weder ein Gehäuse, noch ein Zifferblatt mehr zu besitzen.

Auf den Stift des Minutenzeigers, desjenigen Zeigers also, der in einer Stunde einmal über das Zifferblatt läuft, kittet man einen kleinen Holzstift und auf diesen wiederum in horizontaler Lage einen kräftigen, nicht zu langen Stabmagnet. Legt man die Uhr in den Tischkasten und unterbaut sie, wenn nötig, noch mit Büchern, so wird sich der Magnet dicht unter der Tischplatte befinden und dort seine Pole im Laufe einer Stunde einmal herumdrehen.

Die Stelle, unter der die Achse sich befindet, muß man sich auf der Tischplatte genau merken. Gerade auf diesen Punkt stellt man eine flache Schüssel, die nur so viel Wasser enthält, daß ein kleiner hölzerner Pfeil auf ihr schwimmen kann. Er ist doppelt zusammengeleimt und schließt zwischen seinen Teilen ein flaches, stark magnetisiertes Uhrfederstück, etwas kürzer als der Magnet der Uhr, ein. Den Spalt rings herum kittet man mit Wachs zu und streicht das Ganze rot an. Ist der Pfeil richtig auf das Wasser gelegt, d. h. so, daß sein verborgener Nordpol sich über dem ebenfalls verborgenen Südpol auf der Uhr befindet, dann wird er der Bewegung des Richtmagnets folgen und die Rolle eines Stundenzeigers spielen. Man klebt an den inneren Rand der Schüssel einen Papierstreifen und teilt diesen rings herum in 60 Teile ein, denen die Minutenbezeichnung beigefügt wird.

Wählt man statt der Minutenachse die Stundenachse der Uhr zu dem Versuch, so kann man die Vorrichtung mit einer gewissen Genauigkeit zur Zeitangabe benutzen, zum Vorführen wird jedoch das Experiment dadurch weniger geeignet, da die Bewegung zu langsam fortschreitet.

Hat man zwei Werke zur Verfügung, dann kann man zwei Schüsseln aufstellen und den einen Zeiger die Stunden, den anderen die zugehörigen Minuten zeigen lassen. Will man den Zeiger während des Versuches aus dem Wasser nehmen, etwa um zu zeigen, daß sich keinerlei Mechanismus an ihm befindet, so hat man sich genau die Ziffer zu merken, auf der er stand, damit er beim Einsetzen nicht hin und her pendelt und sich dadurch als Magnetnadel verdächtig macht. Hebt man von Zeit zu Zeit die Schüssel etwas hoch, um zu beweisen, daß keinerlei Verbindung mit dem Tisch besteht, so werden sich die meisten die Erscheinung nicht erklären können.

Recht fatal ist allerdings das laute Ticken der Uhr. Man hilft sich da, indem man das Werk mehrfach in wollene Tücher wickelt, aus denen nur die Achse mit dem Magneten hervorguckt.

Der magnetische Tisch. Sollte man Gefallen daran finden, den wirkenden Mechanismus zu verbergen und also nicht unterhaltende physikalische Versuche, sondern Zauberkunststücke anzustellen, so kann man sich auf folgende Art leicht einen magnetischen Tisch herstellen, der dann zu allen möglichen Scherzen tauglich ist. Wenn man einen Stabmagnet U-förmig zusammenbiegt, so entsteht ein Hufeisenmagnet, der seine Pole dicht beieinander hat. Es wäre zwecklos, sich einen Hufeisenmagnet selbst herstellen zu wollen, da er bei jedem Mechaniker oder Optiker zu haben ist. Wir wählen einen solchen, bei dem die Pole möglichst weit auseinanderstehen.

Es handelt sich nun darum, den Hufeisenmagnet, von außen drehbar, in einem Tischkasten unterzubringen. Dazu höhlt man ein Garnröllchen auf der einen Seite etwas aus, so daß der Kopf eines Nagels in der Höhlung Platz hat, und befestigt es an einer passenden Stelle im Tischkasten (Fig. 145). Auf das Garnröllchen kittet man dann mit Siegellack den Hufeisenmagnet mit den Polen fest. Um ihn zu drehen, ist es dann nur noch nötig, eine leichte Schnur einmal um die Garnrolle zu legen und diese durch zwei seitlich in den Tischkasten gebohrte Löcher nach außen zu führen. Durch Ziehen an dem einen oder anderen Schnurende können dann die Pole nach Belieben rechts oder links herum in Bewegung gesetzt werden.

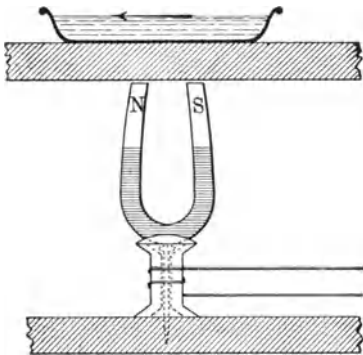


Fig. 145.

Magnetische Einrichtung im Tischkasten.

Wie diese Einrichtung zu benutzen ist, braucht kaum gesagt zu werden. Eine Kompaßnadel, genau über den Drehpunkt des Magnets auf die Tischplatte gesetzt, wird dem Magnet nach jeder Drehrichtung folgen, vorausgesetzt, daß seine Pole nicht zu weit von der Tischplatte entfernt sind. Man kann auf die Kompaßrose Zahlen oder Buchstaben setzen und mit ihrer Hilfe die Nadel, die dann natürlich als Magnetenadel nicht kenntlich sein darf und womöglich, um jeden Zusammenhang mit dem Tisch unwahrscheinlich zu machen, in der auf

§. 359 geschilderten Weise auf Wasser schwimmen muß, Antworten auf allerhand Fragen geben. Anweisungen, solche Fragen geschickt zu stellen, gezogene Karten, das Alter einer Person und anderes mehr zu erraten, gehören nicht hierher. Man findet sie in jedem Buch, das Zauberkunststücke beschreibt.

Bemerken wollen wir noch, daß der Hufeisenmagnet auch durch einen horizontal gelagerten, um seine Mitte drehbaren Stabmagnet ersetzt werden kann, nur muß dieser dann sehr stark sein und sich dicht unter der Tischplatte bewegen. Das ist aber leicht durch Unterleimen von Holzklötzchen unter das Garnröllchen zu erreichen.

Auf der magnetischen Anziehung und Abstoßung beruhen noch folgende, recht niedliche Späße.

Die flugen Fische. Jedermann kennt das unter dem Namen der magnetischen Fische bekannte Kinderspielzeug. Es besteht aus einer Anzahl kleiner, im Wasser schwimmender Blechfischchen, die in ihrem Maule einen kleinen Stabmagnet tragen. Ein stärkerer Magnetstab dient dazu, die Fischchen im Wasser zu lenken. Wir geben dem Spiel eine etwas andere Form.

Man schneidet aus Laubjügelholz eine Anzahl kleiner Fischchen und rundet die Kanten ein wenig mit der Feile oder einem Messer ab. Darauf stößt man mit einer glühenden Stricknadel ein Loch längs durch den ganzen Körper des Fischchens und schiebt in dieses ein Stück einer stark magnetisierten Stricknadel ein, so lang als der Fisch selbst. Die Löcher werden mit Wachs verkittet. Ein Anstrich mit Farbe vollendet das kleine Kunstwerk. Hat man die Vorsicht gebraucht, die Nadel unterhalb der Mitte anzubringen, so schwimmt das Fischchen schön aufrecht.

Drei Fischchen genügen schon, doch machen mehr den Versuch amüsanter. Bei allen sorgt man dafür, daß der nämliche Pol, etwa der Nordpol, sich im Kopfe befindet.

Soll das Experiment seine Wirkung auch auf schon gewitztere Zuschauer nicht verfehlen, so darf der Nichtmagnet seinen Charakter äußerlich nicht verraten. Man schließt daher eine stark magnetisierte Stricknadel in irgend eine Hülle ein, die magnetisch völlig unverdächtig ist. Recht gut eignet sich dazu ein Stückchen Rohr. Man versiegelt es beiderseits und setzt kleine aus Holz geschnitzte Knöpfchen auf, die so weit voneinander verschieden sind, daß sich der Experimentator an ihnen die dahinter verborgenen Pole merken kann.

Auf das Südende steckt man etwas Brot und läßt dieses von einem der Anwesenden den Fischchen darbiehen. Sofort drehen sie sich und kommen herbeigeschwommen, was allerliebste auszieht. Doch sind die Tierchen viel zu klug, um sich anführen zu lassen. Denn dreht man den Stab um und zeigt die leere Seite, so wenden sie sich enttäuscht und verächtlich ab. In diesem Augenblick nimmt man dem Freunde das Stäbchen fort, denn einen Augenblick später würde das ganze Geheimnis verraten sein. Warum wohl, lieber Leser?

Bedenke doch. Den Fischchen wird ein Nordpol zugekehrt und sie tragen in ihrem Schwanzende einen Südpol. Sie würden also, gleich nachdem sie sich abgewandt haben, mit ihrem Schwanzende voraus, auf den Stab zuschwimmen. Was sollte man aber zu einem solchen Benehmen bei „klugen“ Fischchen sagen!

Der eigensinnige Vogel. Dasselbe Experiment in anderer Form. Man stellt einen ausgestopften oder auch nur aus Ton oder



Fig. 146. Der eigensinnige Vogel.

Wachs gekneteten Vogel auf den Tisch und behauptet von ihm, daß er nur Kirschchen, aber keine Birnen oder sonst eine Frucht, wie sie die Jahreszeit gerade bietet, fräße. Hält man ihm dann auf dem bewußten Stabe eine oder die andere Frucht vor, so wird er bei den Kirschchen sich neigen, um sie anzupicken, bei den Birnen sich abwenden.

Der Apparat ist verhältnismäßig leicht zu machen. Man bringt in der Längsachse des Vogelkörpers einen starken Stabmagnet unter, so daß er vom Kopf bis zur Schwanzwurzel reicht. Zwischen die Füße gibt man ein Stückchen Holz, das in der Mitte eine kleine,

fenkrechte und möglichst glatte Öffnung hat (Fig. 146), die mit einem etwas eingebohrten Messingstückchen ausgefüllt ist. In Ermangelung eines solchen kann man auch über die Öffnung ein kleines Messingblechstück kitten.

Dann steckt man eine Nähnadel durch den Kork einer Weinflasche und stellt auf die Spitze den Vogel, so daß er mit dem Hölzchen, das seine Füße halten, und zwar mit der in diesem angebrachten Vertiefung, auf ihr ruht. Natürlich würde er umfallen, wenn man nicht dagegen Vorkehrung trafe. Man befestigt daher an dem Hölzchen zwei starke Messingdrähte und biegt sie beiderseits ein Stück herab, worauf man als Gewichte Kartoffelkugeln an ihnen befestigt. Diese drücken den Schwerpunkt des Ganzen unter den Unterstützungspunkt herab und der Vogel bleibt aufrecht sitzen. Da die Beweglichkeit der Vorrichtung unter den Gewichten nicht leiden darf, so macht man sie so leicht und die Drähte nicht länger, als eben gerade nötig.

Das Spiel des Apparates brauchen wir unseren Lesern kaum noch auseinanderzusetzen. Angenommen, der Vogel habe in seinem Kopfe einen Nordpol, dann wird man die beliebte Frucht auf den Südpol, die andere auf den Nordpol des Stabes legen. Bei der Annäherung des Südpoles wendet dann der Vogel sofort seinen Schnabel der Frucht zu und man kann leicht durch abwechselndes Annähern und Entfernen dafür sorgen, daß der Vogel in sie hineinhackt, was ihn besonders gierig erscheinen läßt. Dreht man dagegen den Stab um, so stößt ein Nordpol den anderen ab und der Vogel wendet sich fort. Auch hier ist es ratsam, den Stab beizeiten zu entfernen, da es einen durchaus komischen Anblick gewährt, den Vogel ebenso gierig mit dem Schwanz nach dem Stab wackeln zu sehen, wie er es vorher mit dem Schnabel getan hat.

★ Ein magnetischer Taucher. Dieses Experiment hat viel Ähnlichkeit mit dem auf S. 92 des Buches beschriebenen kartesianischen Taucher. Aber nur ganz äußerlich. In Wahrheit sind es doch andere Kräfte, die hier scheinbar dasselbe bewirken.

Man knetet um ein Magnetstäbchen von vielleicht 5 cm Länge eine grimmige Teufelsfigur aus Wachs, sorgt aber dafür, daß ein Teil der Brust hohl bleibt und die Figur daher auf dem Wasser schwimmt. Sie soll jedoch aufrecht schwimmen, und daher befestigt man so viel Schrotkörner an den Füßen, daß der Teufel eben noch mit dem Haar-

schopft aus dem Wasser sieht und schon der leiseste Anstoß genügt, ihn untertauchen zu lassen.

Die Figur setzt man dann in einen hohen, mit Wasser angefüllten Standzylinder, wie er in Fig. 36 gezeichnet ist, und bindet das fast bis an den Rand gefüllte Glas mit Papier zu oder verschließt es mit einem Holzdeckel.

Es gilt nun, den Teufel auf magnetischem Wege unter Wasser zu treiben. Dazu bedarf man eines ziemlich kräftigen Magnetstabes, der wiederum in der schon beschriebenen Weise in einer Papphülse oder einem hohlen Holzstab verborgen wird. Hat der Teufel den Nordpol im Kopf und nähert man das Nordende des (Zauber!-)Stabes dem Verschluß, so stoßen sich beide Pole ab und der Teufel sinkt unter. Will man, wie es wohl bisweilen auf Jahrmärkten geschieht, mit dieser Vorrichtung orakeln, so braucht man nur sein Verschwinden als „ja“, sein Bleiben als „nein“ zu deuten. Beides hat man in der Hand. Sitzt eine im Einverständnis befindliche Person unter dem Tisch, der natürlich dann verhängt sein muß, so kann die Beeinflussung auch von unten erfolgen, nur muß der Magnet dazu sehr stark und das Gefäß nicht sehr hoch sein. Elektromagnete, wie wir sie später noch kennen lernen werden, sind aber leicht in der erforderlichen Stärke herzustellen, man kann sie im Tischkasten unterbringen, braucht dann den Tisch nicht zu verhängen und kann der Hilfe einer zweiten Person ganz entbehren. Der Strom läßt sich mit dünnen Drähten unbemerkt zuführen, und da mit dem Wechsel der Stromrichtung auch die Pole des Elektromagnets wechseln, hat man weiter nichts mehr zu wünschen.

Aber der eben geschilderte Versuch ist nicht nur amüßant, er ist auch lehrreich. Warum sinkt denn der Teufel überhaupt? Nun, weil sich die beiden gleichnamigen Pole abstoßen. Ganz recht, aber die Figur hat auch noch einen anderen Pol, und während der eine nach unten abgestoßen wird, wird der andere nach oben angezogen. Man sollte doch meinen, daß beide Kräfte sich in ihrer Wirkung aufhoben. Der Widerspruch zwischen Überlegung und Versuch löst sich leicht. Wohl wirken beide Kräfte, aber die eine Kraft stärker als die andere, denn auch die magnetischen Wirkungen nehmen, wie alle anderen, mit der Entfernung ab, und die beiden gleichnamigen Pole sind einander näher als die ungleichnamigen, daher überwiegt die Abstoßung.

Da die Kraft der Einwirkung sehr schnell abnimmt, geht der Teufel auch nicht bis auf den Grund, es müßte sich denn schon um

einen sehr starken Magnet handeln. Er bleibt irgendwo im Wasser schweben. An dieser Stelle halten die abstoßende Kraft des Magnetpols und die auftriebende Kraft des Wassers einander die Wage. Der Teufel wird um so tiefer gehen, je stärker der Magnet ist. Welch einfaches und sicheres Mittel bietet sich uns hier, die Kraft unserer Magnete miteinander zu vergleichen!

Ein anderes kommt noch hinzu. Je weiter sich der sinkende Magnet von dem anderen entfernt, desto mehr verschwindet, dieser Entfernung gegenüber, die überwiegende Kraft des oberen abgestoßenen Poles. Der untere angezogene Pol kommt im Verhältnis immer mehr zur Geltung, so daß auch aus diesem Grunde mit der Entfernung die Einwirkung des genäherten Magnetstabes abnimmt. Ist nur diese Entfernung groß genug, dann kann man sagen, daß der eine Pol des schwimmenden Magnets mit derselben Kraft angezogen wird, wie der andere abgestoßen. Bei unserem Glase tritt freilich dieser Fall nicht ein, wohl aber auf der Erde, denn sonst müßte ja eine auf einem Kork schwimmende Magnetnadel auf der nördlichen Halbkugel dem Nordpol, auf der südlichen dem Südpol zueilen.

Spiel mit schwimmenden Magnetpolen. Drei, besser aber noch mehr, sagen wir fünf oder sechs ganz gleiche Korke werden mit ebensoviel gleich langen Stopfnadeln durchstochen (Fig. 147), die man vorher magnetisiert hat, und zwar so, daß die Öhre alle gleichnamig magnetisch, etwa nordmagnetisch werden. Man läßt die Nadeln mit dem Öhr nur wenig über den Kork hervorsehen und setzt sie in ein Waschbecken, wo sie mit der Spitze nach unten aufrecht schwimmen werden.

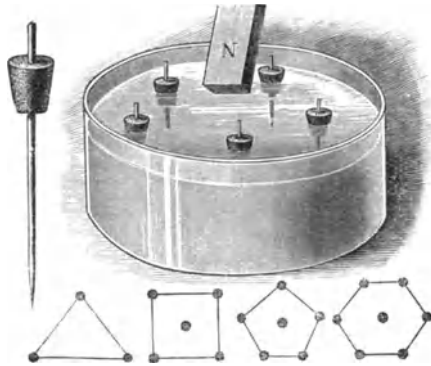


Fig. 147. Schwimmende Magnetpole.

Nun tritt eine eigentümliche Erscheinung ein. Drängt man die Korke zusammen, so stoßen sich die Nordpole der Öhren untereinander ebenso ab, wie die Südpole der Spitzen und die Nadeln fahren aus-

einander. Darum ist aber nicht gesagt, daß sie sich bis an den Rand der großen Schüssel entfernen müßten, denn es bestehen natürlich auch Kräfte in schräger Richtung zwischen den Nord- und Südpolen. In einer bestimmten Entfernung tritt dann, was zu beweisen uns hier zu weit führen würde, ein Gleichgewicht der Erscheinung ein, so daß sich die Nadeln bis über eine gewisse Zone hinaus nicht voneinander entfernen. Immer aber stehen sie unter dem Zwange einer gesetzmäßigen Wirkung und bilden eine symmetrische Figur. Recht lehrreich ist es, einen Magnetstab mit einem seiner Pole mitten in die Figur hineinzuhalten. Sind die Öfen nordmagnetisch und der Pol ebenfalls, so findet eine Abstoßung statt, die Nadeln fahren auseinander und die Figur erweitert sich, ohne aber dabei ihre Regelmäßigkeit zu verlieren. Allerdings werden hierbei auch die Südpole an den Nadelspitzen beeinflusst, und zwar anziehend, die Kraft auf die Nordpole überwiegt jedoch, da sie sich dem Magnetstab näher befinden. Bei Entfernung des Stabes zieht sich die Figur wieder auf ihr ursprüngliches Maß zusammen, was ganz absonderlich aussieht und durchaus den Eindruck hervorruft, als hätte man es mit elastischen Kräften zwischen den Nadeln zu tun. Bei der Annäherung eines Südpoles geschieht das Umgekehrte, die Figur zieht sich etwas zusammen, um nach Entfernung des Magnets wieder die alte Größe anzunehmen.

Nimmt man schnell eine der Nadeln hinweg, so ist das Gleichgewicht der Kräfte gestört und es ist dann sonderbar zu sehen, wie sofort alle Nadeln in Bewegung geraten, um sich neue Plätze zu suchen und wieder eine Figur völliger Symmetrie zu bilden.

Werkwürdige Viniengebilde unter dem Einfluß des Magnetismus. Ein seltsames Ding ist es doch um den Magnetismus. Hier auf dem Tisch liegt ein Magnet und in einiger Entfernung davon hängt eine Magnethadel, die sich mit einem ihrer Pole auf den Magnet zudreht und offenbar von ihm beeinflusst wird. Es ist gerade so, als ob sich ein straffes, elastisches, doch unsichtbares Gummiband zwischen Pol und Pol ausspannte. Aber wir entdecken nichts in dem Zwischenraum, wir können nichts sehen, nichts greifen, ein Holzbrett hält die einwirkende Kraft nicht auf. Und doch muß der Raum auf irgend eine Art die Einwirkung vermitteln. Jedenfalls sind auch in ihm magnetische Kräfte vorhanden, das beweist eine dritte Magnethadel, die man in den Zwischenraum bringt. Sie schwingt

hin und her, stellt sich dann aber so, daß ihre Achse in der Verbindungslinie der beiden Pole steht. Denkt man sich den Raum mit Tausenden von kleinen Magnetnadeln ausgefüllt, so werden sie im allgemeinen nicht alle die gleiche Lage haben, immer aber zeigen, wie die Richtung der magnetischen Kraft in jedem Punkte des Raumes beschaffen ist, in dem sie sich gerade befinden. Auf gleiche Weise kann man die magnetische Beschaffenheit des Raumes um einen Magnetpol und zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets untersuchen, nur werden unsere Leser nicht bereit sein, um ein vollständiges Bild vom Verhalten der Pole auf einmal zu erhalten, Tausende von winzigen Magnetnadeln anzufertigen und in der Nähe des Magnets anzubringen.

Da kommt uns denn der große englische Physiker Faraday zu Hilfe und zeigt, wie kleine Eisenfeilspänchen zu unserer größten Zufriedenheit die Rolle der kleinen Nadeln spielen können. Wir verfahren mit ihnen folgendermaßen.

Ein Magnetstab wird mit Wachs auf den Tisch geklebt oder zwischen Büchern so eingeklemmt, daß er senkrecht steht. Darauf heftet man mit Wachs auf ihn eine kleine quadratische Glasplatte oder ein ebenso großes Stück Kartonpapier. Auf dieses streut man dann durch ein größeres Sieb Eisenfeilspäne. So wie sie von einer gewöhnlichen Handfeile abfallen, nicht zu grob, aber auch nicht zu fein, sind sie gerade gut. Wenn man sich bei einem Schlosser gut Freund macht und ihn bittet, den Feilichtabfall zu sammeln, wird man bald genügendes Material haben. Man streut nur eine Wenigkeit auf, klopft dann mit dem Finger leicht auf das Kartonblatt und wird sofort die kleinen Eisenteilchen marschieren sehen, um sich dann zu Linien anzuordnen, die vom Pol strahlenförmig nach allen Seiten auseinanderlaufen. (Fig. 148, A.) Man kann das Auftreuen und Klopfen ein- bis zweimal wiederholen, wird aber finden, daß durch dickere Lagen die Figur nicht immer schöner wird. Die Eisenfeilspäne deuten an, wie in diesen Linien die magnetische Kraft eines Poles nach allen Seiten in den Raum ausstrahlt. Faraday nannte sie daher die „Linien magnetischer Kraft“.

Untersucht man dieserart die Eigenschaften zweier Pole nebeneinander (einen Hufeisenmagnet), so kann man schon im voraus erwarten, daß sich die Pole gegenseitig in der Ausbildung ihrer Linien beeinflussen werden. So ist es auch. Fig. 148 B zeigt, wie sich die Linien zum Teil in brückenartigen Bögen von einem Pol zum anderen

ausspannen und wie sie immer weitere Umwege machen, je weiter nach rechts oder links sie am Magnet angreifen.

Da die Experimente keinerlei Mühe machen, empfehlen wir unseren Lesern sehr, Magnete in allen möglichen Lagen, z. B. auch einen Stabmagnet liegend, zwei Hufeisenmagnete, mit gleichen oder ungleichen Polen einander gegenüberstehend, zu untersuchen und sich eine kleine Sammlung von Kartonblättern mit magnetischen Kraftlinien anzulegen. Aber, werden sie einwerfen, die zarten Gebilde sind leider vergänglich und fallen beim Aufrichten des Kartons zusammen. Auch hier wissen wir Rat. Man löse ein Stückchen Stearinkerze in einem Löffel über

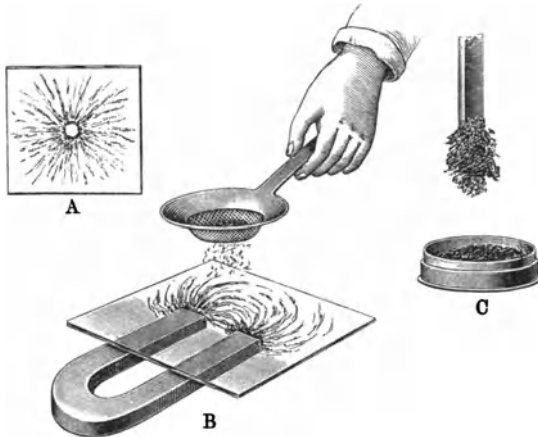


Fig. 148. Gebilde magnetischer Linien.

dem Zylinder einer Lampe auf, gieße den Inhalt auf den in Aussicht genommenen Karton und verteile ihn mit einer Visitenkarte schnell gleichmäßig über die ganze Fläche. Sollte das Stearin zu schnell erkalten und nicht mehr fließen wollen, so legt man den Karton auf eine warme Ofenplatte und verteilt das flüssige Stearin weiterhin mit einem Papierstreifchen. Darauf läßt man trocknen und bewahrt mehrere so vorbereitete Kartonblätter, damit sie flach liegen, in einem Buch unter Druck auf. Dann stellt man auf ihnen Kraftlinienbilder recht genau und sauber her, hebt das Ganze vorsichtig ab — natürlich darf man bei diesem Verfahren das Blatt nicht auf den Magnetpol kleben — und bringt es in eine nicht zu heiße Ofenröhre, wo das Stearin schmilzt und beim Erstarren die Eisenteilschen an den Karton

heftet. Die Pole, welche das Bild hervorgerufen haben, schreibt man mit *N* oder *S* in die Figur hinein und fügt auch am Fußrande eine knappe Beschreibung der Magnetform bei.

Wir haben die magnetische Figur auf einer Ebene aufgefangen, dürfen uns jedoch nicht zu dem Glauben verleiten lassen, es wirke die magnetische Kraft eben nur in dieser. Sie greift nach allen Seiten in den Raum hinaus, und tauchen wir einen Magnetpol in das Rästchen mit Eisenfeilicht, so bleibt eine ganze Traube von kleinen Spänchen an diesem hängen (Fig. 148 C). Sehr schön werden mit einiger Vorsicht diese körperlichen Kraftliniengebilde bei Hufeisenmagneten, deren Pole nicht gar so nahe beieinander stehen. Geschickte

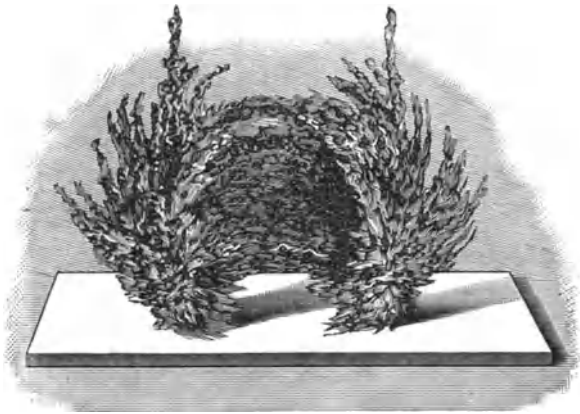


Fig. 149. Magnetische Laube.

Experimentatoren können sie auch dauernd erhalten und ihrer Sammlung einverleiben. Man klemmt dazu einen starken Hufeisenmagnet in irgend eine Vorrichtung so ein, daß seine Pole nach unten zeigen, und heftet lose an sie ein kleineres mit Stearin präpariertes Pappblättchen. Nähert man darauf vorsichtig die Schachtel mit Eisenfeilicht, so werden bereits viele Eisenspänchen an dem Karton hängen bleiben, in noch unvollkommenen Formen zwei Büschel zeigend, die sich in der Mitte zu einem Tor oder einer Laube zusammenschließen. Sobald der Magnet entfernt wird, fällt das Gebilde herab. Geht man darauf aus, es dauernd zu erhalten, so schabt man von einer Kerze feine Spänchen von Stearin ab und mischt diese — doch nicht allzu viel davon — recht gut unter die Eisenfeilspäne. Hat man dann die

Schachtel zurückgezogen, so kann man das Gebilde noch vollkommener machen, wenn man ein wenig Eisenfeilicht auf ein hölzernes Rößelchen nimmt und dieses denjenigen Stellen des Gebildes nähert, an denen man glaubt, noch mehr Teilchen ansetzen zu können. So baut man gewissermaßen das Kraftlinienbild zurecht. Nun kommt der bedenklichste Augenblick der Prozedur. Man hat nämlich den ganzen Aufbau mit- samt dem Magnet ohne Erschütterung in eine warme Ofenröhre zu befördern. Hier schmilzt das Stearin, dringt zwischen alle Teilchen ein und verklebt sie miteinander. Ist dies geschehen, so nimmt man die Vorrichtung ebenso vorsichtig aus der Röhre wieder heraus, läßt die Masse erstarren und kann dann behutsam das Kartonblatt von den Magnetpolen ablösen und umdrehen. Fig. 149 zeigt ein auf diese Art gewonnenes magnetisches Kraftgebilde.

Dem galvanischen Strom.

Von diesem kleinen Streifzug ins Gebiet der magnetischen Kräfte kehren wir zu den elektrischen Erscheinungen zurück. Wir haben die Elektrizität bisher durch Reibung von Glas oder Harz erzeugt und dabei gesehen, daß sie bei ihrem Ausgleich von Funken begleitet ist, die oft auf große Strecken durch die Luft überschlagen. Man könnte diese Funken mit Wasserstrahlen vergleichen, die aus einem Spritzenstück hervorschießen. Je höher der Druck der Spritze ist, d. h. je stärker das Wasser gespannt wird, desto weiter wird der Strahl gehen. Man spricht auch bei der Elektrizität von einer Spannung und hält sie für um so höher, je länger die Funken werden. Aber je höher die Spannung, desto schlechter läßt sich begreiflicherweise die Elektrizität in den Drähten fangen und führen. Alle unsere Leser werden schon einmal einen Gartenschlauch gesehen haben, der unter hohem Druck stand, und auch bemerkt haben, wie überall dort, wo er auch nur ein wenig schadhafte war, das Wasser in feinen Strahlen seitlich herausdrang. Gerade so geht es bei der hochgespannten Elektrizität der Elektrifiziermaschinen, deren Drähte im Dunkeln nach allen Seiten hin Ausstrahlungen zeigen.

So kann man freilich die Elektrizität nicht gebrauchen, wenn man sie auf große Entfernungen fortleiten will. Hochgespannt darf sie nicht

sein, wohl aber kann ihre Menge so groß sein wie sie will — man wird dann einfach dickere Drähte nehmen, gerade so, wie man für einen großen Wasserbedarf Rohrleitungen von großem Durchmesser anwendet. Es ist das Verdienst Alexander Voltas, Professor der Physik in Pavia (geb. 1745, gest. 1827), Vorrichtungen angegeben zu haben, die große Mengen von Elektrizität in einfachster Weise liefern.

Schon vor Volta hatte ein Arzt, Ludwig Galvani in Bologna, in Gemeinschaft mit seiner Frau eine eigentümliche Beobachtung gemacht, sie aber falsch gedeutet. Er bemerkte nämlich, daß getötete Frösche in der Nähe einer Elektrifiziermaschine jedesmal zuckten, sobald ein Funke übersprang. Die gleiche Erscheinung zeigte sich später, als er die Froschschenkel mit einem Kupferdraht zum Trocknen an ein Balkongitter hing, so oft als der Wind das Präparat gegen das Eisen trieb. Galvani deutete das Zucken ganz richtig als eine elektrische Erscheinung, nur verlegte er fälschlich den Sitz der elektrischen Kraft in den Frosch selbst.

Volta wiederholte die Versuche mit großem Ernst und fand sehr bald, daß der Frosch nicht zuckte, wenn er mit einem eisernen Haken an ein eisernes Geländer gehängt wurde. Immer waren zwei verschiedene Metalle zur Hervorrufung der Erscheinung nötig, und Volta schloß daraus ganz richtig, daß die Erzeugungsstelle der elektrischen Kräfte dort sei, wo die beiden verschiedenen Metalle einander berührten.

Auf die Richtigkeit seiner Ansicht fußend, baute er aus aufeinander-gegeschichteten Metallplatten eine Säule, die sich an ihrem einen Ende elektropositiv, an dem anderen elektronegativ erwies und alle bekannten elektrischen Erscheinungen zeigte. Nur die Funken hielten, obgleich sie glänzend waren, an Länge gar keinen Vergleich mit den durch Reibungselektrizität erzeugten aus, ein Beweis, daß die Elektrizität hier unter niedriger Spannung auftrat.

Volta legte zwischen je zwei Plättchen verschiedenartiger Metalle ein mit Säure getränktes Filzstückchen, wodurch er die Wirkung wesentlich erhöhte. Dabei griff die Säure die Metalle an und verzehrte sie. Wir sehen auch hierin wieder den Aufwand, der immer nötig ist, um elektrische Erscheinungen hervorzurufen.

Die Elektrizität, durch eine derartige Einrichtung erzeugt, nennt man nach ihrem Entdecker die galbanische. Niemand wird aber hoffentlich glauben, es handele sich um eine andere, ganz neuartige Elektrizität, nur ihre Erzeugungsart ist eine andere geworden und sie erscheint hier unter der Form geringerer Spannung.

Galvanische Elemente und Batterien aus Wassergläsern.

Zur Erzeugung des elektrischen Stromes — der für uns neue Begriff „elektrischer Strom“ soll gleich erklärt werden — wählen wir eine etwas andere Anordnung als Volta. Wir packen die Metallplatten nicht übereinander, sondern nebeneinander und ersetzen die Filzstücke durch angesäuertes Wasser. Im Grunde wird aber nichts geändert.

Ein Wasserglas (Fig. 150 A) wird bis 2 cm breit unter den Rand mit Wasser gefüllt, dem man unter Umrühren mit einem Glasstäbchen den dreißigsten Teil Schwefelsäure hinzufügt. Es mag hier wiederum und für alle künftigen Versuche, bei denen es sich um Mischung von Säure und Wasser handelt, gesagt sein, daß man immer die Säure in das Wasser gießt und niemals umgekehrt, da anderenfalls eine heftige Dampfbildung die Säure umherschleudern würde.

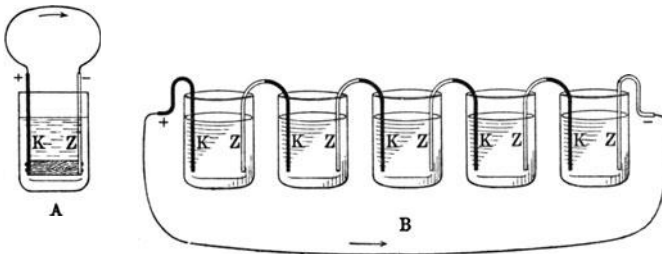


Fig. 150. Galvanische Batterie aus Wassergläsern.

Man denke daran, daß auch bei größerer Verdünnung Schwefelsäure immer noch Flecke auf den Anzug macht, die sich bald durch ihre rötliche Farbe verraten. Ist das Gewebe noch nicht allzu stark angegriffen, so kann man die Flecke beseitigen, wenn man sie mit Salmiakgeist oder mit Ammoniakflüssigkeit betupft. Es empfiehlt sich daher durchaus, immer eine der beiden Flüssigkeiten zur Stelle zu haben.

In das angesäuerte Wasser stellt man Streifen zweier verschiedener Metalle. Man kann deren sehr viele wählen, doch eignen sich für uns keine so gut als Kupfer und Zink. Den Zinkstreifen lasse man sich, etwa 4 cm breit, aus einem etwas dickeren Bleche schneiden, da er von der Säure stark angegriffen wird. Als Hauptregel merke man sich, daß sich die Metalle in einem elektrischen Element — so nennt man die Vorrichtung — niemals berühren dürfen. Es ist daher gut, sie entweder über den Rand herumzubiegen oder sie durch ein mit Stearin oder Paraffin überzogenes Holzklötzchen unten auseinander zu halten.

Unsere Leser wollen sich nun an unsere ersten Versuche über Reibungselektrizität erinnern. Als wir einen Glasstab mit einem Seidenlappen rieben, wurde durch unsern Arbeitsaufwand das Glas positiv, die Seide negativ elektrisch. Hier arbeitet die Säure an den Metallen, und durch diese chemische Arbeit wird das Kupfer positiv und das Zink negativ elektrisch. Beide Elektrizitäten haben als ungleichnamig das Bestreben, sich miteinander zu vereinigen. Durch das gesäuerte Wasser hindurch, obgleich dieses ein Leiter ist, kann der Ausgleich nicht geschehen, da die chemische Arbeit immer wieder die Elektrizitäten auseinandertreibt. Bietet man ihnen dagegen einen anderen Weg, etwa indem man außerhalb des Glases die beiden Platten durch einen Draht verbindet, so tritt durch diesen Draht eine Entladung ein, gerade so, wie bei einer Leidener Flasche, wenn man den äußeren und inneren Belag miteinander verbindet.

Nur ist diese Entladung in vieler Hinsicht doch eine etwas andere, denn einmal handelt es sich dabei um eine ganz geringe Spannung, die kaum ein winziges Zündchen an der Berührungsstelle hervorbringt. Dann ist sie auch nicht eine einmalige, schlagartige Entladung, sondern eine dauernde, da die chemischen Kräfte in dem Element fortwährend tätig sind. Man kann daher sagen, daß die Elektrizität in dem Schließungsdraht stromartig fließt. Dieser „elektrische Strom“ muß eine gewisse Richtung haben, oder es ist doch für viele Experimente gut, eine solche anzunehmen. Man hat sich dahin geeinigt, den Strom vom positiven Metall nach dem negativen durch den Draht herüberfließen zu lassen, in unserem Fall also vom Kupfer zum Zink, sehr leicht an der alphabetischen Reihenfolge zu merken. Die Spannung eines solchen Elementes beträgt etwa nur den hunderttausendsten Teil derjenigen, die man an der Elektrifiziermaschine erzeugt, jedoch ist die Stärke des Stromes — auch durch die Drähte bei unseren Reibungsversuchen „floß“ die Elektrizität — so ungeheuer viel größer, daß, wenn wir die abfließende Reibungselektrizität mit einem aus großer Höhe im Gebirge niedergehenden Staubfall vergleichen wollen, wir dem Element die Erzeugung eines Stromes zuschreiben müssen, der wie der Rhein in der Ebene majestätisch dahinfließt.

Man hat es jedoch in der Hand, die Spannung galvanischer Vorrichtungen zu erhöhen, ohne dabei an Stromstärke einzubüßen, indem man nämlich die Elemente zu einer Batterie zusammenschaltet, wie Fig. 150 B es zeigt. Man stellt so viel Gläser in eine Reihe

nebeneinander, als man Elemente in der Batterie haben will, und verbindet stets den Kupferstreifen des einen Elementes mit dem Zinkstreifen des anderen am besten so, daß man sie, wie es auch die Figur zeigt, oben zusammenlötet und U-förmig herumbiegt. Am Ende der Batterie oder „Kette“ bleibt je ein Kupferstreifen und ein Zinkstreifen übrig, von denen der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird aber nun behaftet mit einer Spannung, die der Summe aller Elemente entspricht. Wollte man hunderttausend solcher Elemente hintereinanderschalten, so würde man alle Erscheinungen der Reibungselektrizität sehen; die beiden Enden der Batterie — ihre „Pole“, wie man sagt — würden im Dunkeln leuchten, ihre Drähte würden, einander genähert, Funken überschlagen lassen, man könnte Leidener Flaschen laden, kurz, alles würde darauf hindeuten, daß man es mit hochgespannter Elektrizität zu tun habe.

Verbindet man den Kupferpol einer Batterie mit dem Zinkpol durch einen Draht, der dort, wo er die Pole berührt, immer blank gepugt sein muß, so fließt ein galvanischer Strom, wie es auch die Abbildung andeutet, in der Richtung des Pfeiles vom Kupfer (+) zum Zink (—). Um die Drähte bequem an den Polen befestigen zu können, lötet man an die Blechstreifen Drahtstücke an und setzt auf diese die bekannten Volklemmen aus Messing, die bei jedem Mechaniker oder Schlosser zu haben sind, der sich mit der Ausführung von elektrischen Klingelleitungsanlagen beschäftigt.

Hat man eine Batterie von zehn bis zwanzig Elementen zur Verfügung, klemmt an die Batteriepole zwei Drähte und stößt ihre Enden reibend gegeneinander, so kann man zwischen ihnen schon ein kleines Zünglein bemerken. Wickelt man jedes Ende an einen Löffelstiel und ergreift die Löffel mit angefeuchteten Händen, so spürt man allemal beim Zufassen und Loslassen eine kleine Erschütterung. Behält man sie fest in der Hand, so fühlt man dagegen nichts.

Wir merken uns für alle folgenden Experimente, daß beide Batteriepole mit Drähten versehen werden müssen, die zu dem jeweilig in Betrieb zu setzenden Apparat führen, sonst aber einander metallisch nicht berühren dürfen, da dann der Stromkreis geschlossen ist und die Elemente sich verzehren. Mit zwei bis vier Elementen kommt man für alle unsere Versuche aus. Benutzt man sie nicht, so nimmt man die Metallplatten heraus und spült sie unter laufendem Wasser ab.

Man kann, wenn man nicht starke Wirkungen verlangt, die Elemente auch mit anderen Flüssigkeiten füllen, z. B. dem Wasser für jedes Glas ein bis zwei Löffel Kochsalz oder ebensoviel Salmiak zugeben.

Käufliche elektrische Elemente, die etwa in die Hände unserer Leser kommen könnten, sind folgende:

Das Flaschenelement, zum Experimentieren sehr geeignet, bestehend aus Platten von Kohle und Zink, die nur während des Gebrauches durch eine besondere Vorrichtung in die Flüssigkeit gesenkt werden. Füllung ist eine Lösung von doppelt chromsaurem Kali mit Schwefelsäurezusatz.

Das Bunselement, sehr stark in der Wirkung, wegen der umständlichen und unsaubereren Zusammensetzung jedoch für uns wenig geeignet. Zink und Kohle voneinander durch einen durchlässigen Tonzylinder getrennt. Füllung auf der Zinkseite verdünnte Schwefelsäure, auf der Kohleseite Salpetersäure.

Das Leclanchéelement, zu Klingelanlagen viel gebraucht, auch für uns wohl geeignet. Zinkstab und Braunstein in einem Tonzylinder, Füllung Salmiaklösung. Dieses Element wird nach dem Gebrauch nicht auseinander genommen.

Das Trockenelement, im Handel als Einsagelement für Taschenlampen zu haben, ist völlig verschlossen, so daß es in allen Stellungen gebraucht werden kann. Füllung verschieden. Recht geeignet für kleinere Versuche.

Wie auch immer die Elemente im einzelnen beschaffen sein mögen, sie haben stets zwei verschiedene Pole und man schaltet sie immer so zu einer Batterie hintereinander, daß man die ungleichnamigen Pole miteinander verbindet.

Aber die Verwendung und Behandlung von Akkumulatoren berichtigt ein späterer Abschnitt.

Drähte. Die Zuleitung des galvanischen Stromes zu den Apparaten geschieht durch Drähte von beiden Polen aus. Denn wir müssen annehmen, daß der Strom vom positiven Pole kommt, durch den Apparat läuft und zum negativen Pole der Batterie zurückkehrt. Jedes Metall ist als Draht geeignet, doch ist Kupfer bei verhältnismäßig hoher Leitfähigkeit am billigsten. Fast alle zu elektrischen Zwecken verwendeten Drähte sind aus Kupfer gezogen und je nach den

Stromstärken, die sie führen sollen, verschieden dick. Für uns genügt es, Drähte von 0,7 bis 1 mm Durchmesser zu besitzen. Da sie einander an keiner Stelle leitend berühren dürfen, weil sonst der Strom außer über den Apparat noch einen Nebenweg offen finden würde, so kauft man doppelt mit Baumwolle umspinnene und gewachste Drähte. Sogenannter Klingelleitungsdraht ist für unsere Zwecke ganz ausreichend und empfehlenswert.

- Überall dort, wo die Stromführungsdrähte mit der Batterie in Verbindung stehen, müssen sie von der isolierenden Hülle befreit und blank gepuht werden. Will man zwei Drahtenden miteinander verbinden, so benutzt man dazu eine Klemme oder wickelt die blanken Enden fest umeinander. Letzteres Verfahren verdirbt jedoch die Drähte bald. Bei jeder Leitung, die dauernd liegen bleiben soll, werden die Verbindungsstellen verlötet und mit Folierband — käuflich in den elektrotechnischen Geschäften — umwickelt.

Der elektrische Strom zerlegt das Wasser in zwei Gase.

Jede Straße unterliegt durch den über sie gehenden Verkehr der Abnutzung und Veränderung. Für den elektrischen Strom ist der Draht der Weg, über den er mit für uns unsaßbarer Geschwindigkeit dahineilt. Ist es nun nicht merkwürdig, daß man an einem solchen Draht keinerlei Abnutzung nachweisen kann, daß er nach dem Gebrauch genau so aussieht wie vor ihm, daß er jahrzentlang den gleichen Zwecken dient und es sicher noch länger tun würde, wenn nicht die zerstörenden Kräfte der Witterung an ihm arbeiteten?

Man hat greiflicher Weise alle möglichen Körper auf ihre Leitungsfähigkeit für den elektrischen Strom untersucht und, wie es unseren Lesern schon bekannt ist, Leiter und Nichtleiter (Isolatoren) unterschieden. Man ist aber auch auf eine ganze Gruppe von Körpern gestoßen, die eine durchaus eigenartige Stellung einnimmt und deren besonderes Verhalten das größte Interesse verdient. Zu ihr gehören die Flüssigkeiten. Auch sie leiten der Mehrzahl nach den Strom, aber sie bleiben dabei nicht unverändert wie die Metalle, sondern werden vielmehr bei dem Vorgang zerlegt. Eine solche Zerlegung kann man beim Wasser leicht vornehmen.

Man beschafft sich vom Mechaniker zwei dünne, etwa 4 cm lange Platindrähtchen, die man auf einer metallenen Unterlage mit einem kleinen Hämmerchen zu Streifen breitklopft und an fingerlange Stücke

von Kupferdrähten anlötet. Diese zieht man durch einen guten Kork so weit hindurch, daß die Lötstellen im Kork versteckt sind, die Platindrähte aber darüber hinausragen. Der Kork wird dann, wie es Fig. 151 zeigt, von oben her in den Hals eines geräumigen Trichters gestoßen, so daß keinerlei Flüssigkeit nach unten hindurchfließen kann, und zur Sicherheit werden auch noch die Löcher mit Siegellack verkittet.

Man befestigt darauf den Trichter in einem Stativ oder zwischen Büchern und Klögen und füllt ihn bis zweifingerbreit unter den Rand mit Wasser, dem man eine Wenigkeit Schwefelsäure zusetzt. Verbindet man die beiden Drähte des Apparates mit den Polen einer Batterie von zwei bis vier Elementen, so sieht man die Platindrähte sich mit kleinen Blasen bedecken, die sich ablösen, nach oben aufsteigen und neu entstehenden Platz machen. Indem der Strom durch das Wasser fließt, zerlegt er es, zerlegt es in seine Bestandteile, und alle, denen bekannt ist, daß das Wasser aus zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff besteht, werden sich nicht wundern, Gase an den Platindrähten aufsteigen zu sehen. Man kann sie auffangen und einer einfachen Prüfung unterwerfen. Dazu füllt man ein Reagenzglas bis an den Rand mit angesäuertem Wasser, verschließt es mit dem Daumen und öffnet es erst, nachdem man es in der Flüssigkeit des Trichters umgekehrt hat. Nach einem bekannten physikalischen Gesetz fließt dann das Wasser aus dem Röhrchen nicht heraus und man kann es so mit der Öffnung über eines der beiden Platindrähtchen bringen. Das aufsteigende Gas verdrängt das Wasser und füllt nach einer gewissen Zeit, die man sich merkt, das ganze Röhrchen an. Man verschließt es darauf unter Wasser mit dem Daumen und nimmt es heraus.



Fig. 151. Zersetzung des Wassers durch den elektrischen Strom.

Schon vorher konnte man bemerken, daß sich das Gas an dem einen Drähtchen reichlicher entwickelt als an dem anderen, und es ist nicht schwer zu erraten, daß das in größerer Menge entwickelte Gas der Wasserstoff sein wird, da das Wasser aus zwei Teilen Wasserstoff,

aber nur einem Teil Sauerstoff besteht. Es ist der elektronegative Draht, derjenige also, der mit dem Zinkpol der Batterie in Verbindung steht, an dem sich der Wasserstoff zeigt. Wir haben über ihm das Röhrchen gefüllt und nähern nun seiner Mündung ein brennendes Streichholz. Sofort hört man einen leichten Puff, und das Gas verbrennt mit schwach leuchtender, bläulicher Flamme. Es ist in der That Wasserstoff.

Der Sauerstoff brennt zwar selbst nicht, er ist aber dasjenige Element, das eine Verbrennung möglich macht und unterhält. Daher flammt denn ein glühender Span in ihm wieder auf, wie man sich an einer zweiten Probe überzeugen kann, die man über dem anderen Platindrähtchen aufgefangen hat. Man bemerkt dabei auch, daß man nun die doppelte Zeit warten muß, ehe das Gläschen voll ist.

Wir werden später auf andere Art Wasserstoff und Sauerstoff in größeren Mengen bequem darstellen lernen und gehen daher an dieser Stelle nicht auf die überraschenden Versuche ein, die man mit beiden Gasen anstellen kann.

Fängt man beide Gase zusammen auf, so hat man es mit dem furchtbaren Knallgas zu tun, das ungemein leicht entzündlich und explosiv ist. Will man an dieser Stelle einen Versuch mit dem Gemenge machen, so begnüge man sich, einen halben Fingerhut voll von beiden Gasen gleichzeitig aufzufangen und zu entzünden. Sie verbinden sich mit einem heftigen, peitschenähnlichen Knall, und es bildet sich ein Tröpfchen Wasser, dasselbe, durch dessen Zersetzung die beiden Gase entstanden waren.

Knallgastelegraphie. Nichts ist leichter, als mit Hilfe der beschriebenen Gasausscheidungen eine elektrische Telegraphie einzurichten. Durch einen Stopfen werden zwei Drähtchen gesteckt und in einem Reagenzgläschen befestigt. Da es bei diesem Versuche nicht darauf ankommt, die Gase ganz rein zu erhalten, begnügt man sich mit Kupfer-, besser noch mit den billigen Neufilberdrähten. Die Füllung ist Wasser mit etwas Schwefelsäure angeäuert (Fig. 152).

Von den beiden Drahtenden — den Polen des Apparates — führt man zwei umspinnene Kupferdrähte so weit, als man will, bis zu einem Raum, von dem aus die Depesche aufgegeben werden soll. Stellt man hier eine Batterie von mindestens zwei Elementen auf, verbindet den einen der Drähte etwa mit dem negativen Pol der Batterie

und berührt mit dem anderen den positiven Pol, so werden im Augenblick der Berührung Gasbläschen im Glase der anderen Station aufsteigen.

Damit ist die telegraphische Einrichtung eigentlich fertig und es erübrigt nur noch, irgend ein alphabetisches System zu verabreden. Deren kann man sich leicht mehrere ausdenken, z. B. kann man bestimmen, ein einmaliger Stromschluß solle A bedeuten, ein zweimaliger B usw. Für den Buchstaben F würde man demnach den Strom sechsmal hintereinander zu schließen haben. Nach jedem Buchstaben wird

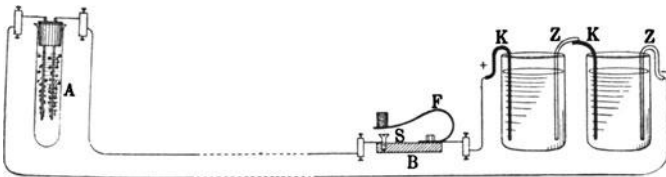


Fig. 152. Knallgastelegraphie.

eine kleine Pause gemacht, so daß der „Telegraphenbeamte“, der das Gläschen beobachtet, sich eine Notiz machen kann. Dies System ist ebenso einfach wie umständlich, und man wird daher besser fahren, wenn man lange und kurze Zeichen zu Buchstaben zusammenstellt. Man wird dann zu der Anordnung greifen, die der Amerikaner Morse für seinen elektromagnetischen Schreibtelegraphen benutzt hat. In langen und kurzen Stromschlüssen (Strichen und Punkten) ausgedrückt, lautet das Morsealphabet folgendermaßen:

a . —	k — . —	t —
b — . . .	l	u . . —
c — . — .	m — —	v . . . —
d — . .	n — .	w . — —
e .	o — — —	x — . . —
f . . — .	p . — — .	y — . — —
g — — .	q — — . —	z — — . .
h	r . — .	
i . .	s . . .	

Will man ohne besondere Vorübung irgend eine Morsedepesche schnell entziffern, so kann man sich mit Vorteil des beistehenden originellen Wurzelchemas bedienen (Fig. 153). Beginnt der Buchstabe

mit einem Punkt, so geht man von oben (Mitte) auf der gestrichelten Linie nach der linken Seite, sonst auf der geschlossenen Linie nach rechts. Jeder folgende Punkt oder Strich bedeutet dann eine weitere Bewegung auf einer gestrichelten Linie nach links, jeder Strich auf einer vollen Linie nach rechts. Also $\cdot - \cdot$ links, dann schräg rechts nach unten, links nach unten; man findet r. Oder: $- \cdot - -$ von der Mitte nach rechts, dann nach links, wieder rechts und noch einmal weiter nach rechts = y. Selbst bei geringer Übung geht das Auffinden der Buchstaben so ganz außerordentlich schnell.

Umständlich und unsicher ist es freilich, die Stromschlüsse durch Berührung des Batteriepoles herzustellen, und es lohnt sich schon, für diesen und für alle künftigen Versuche, bei denen die Batterie nur zeit-

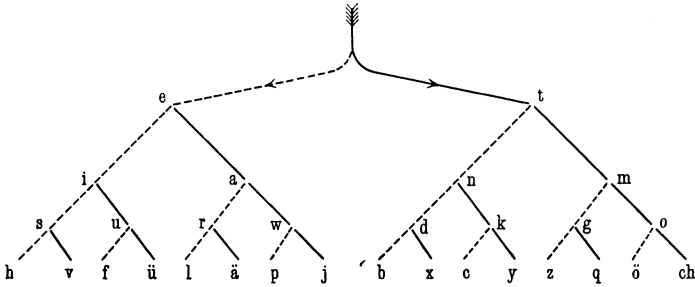


Fig. 153. Ein eigenartiger Schlüssel zur schnellen Entzifferung von Telegrammen.

weise geschlossen werden soll, einen einfachen „Stromschlüssel“ anzufertigen. Auf einem Grundbrettchen *B* (Fig. 152) befestigt man eine 2 cm breite Messingfeder *F*. Drückt man die Feder herab, so berührt sie den Kopf der Messingschraube *S* und der Strom wird geschlossen, wenn, durch entsprechende Anschlüsse, Schraube und Feder mit der Leitung und der Batterie in Verbindung stehen. Zur besseren Handhabung kittet man auf die Feder einen Kork. Die Berührungsstellen müssen stets ganz sauber sein.

Wir wollen noch verraten, daß man sich bisweilen die eine der beiden Leitungen ersparen kann, wenn man nämlich in der Nähe der beiden Stationen Gas- oder Wasserleitung vorfindet, die beide eine vorzügliche Leitung darstellen. Man zieht dann nur einen Draht und schließt den einen Pol des Gläschens ebenso wie einen Pol der Batterie an die Wasserleitung an, indem man einen blanken Draht

mehrere Male um einen Hahn wickelt. Unmöglich ist es aber, beide Drähte fortzulassen und den einen durch die Wasserleitung, den anderen durch die Gasleitung zu ersetzen. Die Röhrensysteme haben stets irgendwo miteinander Verbindung und wirken nur wie ein Draht.

Diese Gastelegraphie ist keineswegs unsere Erfindung. Die ersten Versuche Sömmerings vor mehr als hundert Jahren waren wirklich dieser Art. Nur verfuhr er weit umständlicher und ordnete 25 Gläschen nebeneinander an, von denen jedes einen Buchstaben bedeutete. Ebensoviele Stromschlüssel und 26 Drähte zwischen beiden Stationen waren zu dieser ersten elektrischen Telegraphie nötig, von der heute nur noch wenige Menschen etwas wissen.

Zwei Farben in derselben Flüssigkeit durch den elektrischen Strom hervorzurufen. Die Schenkel eines U-förmig gebogenen Glasröhrchens werden mit einer Lösung von Glaubersalz in Wasser angefüllt, dem man so viel Blaufarbstofflösung oder auch Malventinktur hinzugefügt hat, daß die Farbe violett ist. Man befestigt dann in den Schenkeln mit Korken kleine Platindrähtchen und verbindet diese mit den Polen einer Batterie aus etwa vier Elementen. Sofort tritt eine Gasentwicklung ein, und die Flüssigkeit am positiven Pol färbt sich rot, am negativen grün. Sollen die Farben wechseln, so ändert man die Stromrichtung, d. h. man vertauscht die Drähte an den Polen der Batterie.

Der gehorsame Schreibstift. Farbauscheidungen unter dem Einfluß des elektrischen Stromes sind ziemlich häufig und können zu einer Reihe von überraschenden Versuchen benutzt werden. Man schüttet von Phenolphthalein — einem weißlichen Pulver, das in den Apotheken zu haben ist — so viel in etwas Spiritus, als sich lösen will und gießt von der Lösung etwa 50 g in einen halben Liter Wasser, dem man noch eine Messerspitze voll Kochsalz zusetzt. Diese Lösung hat die Eigenschaft, sich am negativen Pole eines Zeretzungsgläschens — man kann das auf S. 379 beschriebene benutzen — rot zu färben, so daß eine derartige Vorrichtung in bequemster Weise dazu dienen kann, die Pole einer Stromquelle festzustellen.

Man verfährt bei dem Versuch nun folgendermaßen. Ein nicht zu dickes und rauhes Schreibpapier wird mit der Phenolphthaleinlösung getränkt und auf eine gerade Unterlage von Weiß- oder Zinkblech gelegt.

Diese verbindet man mit dem positiven Pol einer nicht zu kleinen Batterie. Der andere Pol steht durch einen leicht beweglichen Draht mit einem Schreibstift in Verbindung, der jedoch nur aus einer starken Stricknadel besteht. Schreibt man nun mit der Nadel, ohne allzusehr aufzudrücken, auf dem noch feuchten Papier, so geht die Farbauscheidung vor sich und die Schrift erscheint schön rot auf weißem Grunde, doch, wohlgemerkt, nur solange eine Verbindung mit der Batterie besteht. Darauf bauen wir unseren Plan und bitten irgend jemand, etwas über uns niederzuschreiben, doch ja nur etwas Unangenehmes, da der Stift bei jedem mißliebigen Wort versage. Die Batterie ist versteckt und ebenso der Stromschlüssel, den wir, dem Schreiber über die Schulter sehend, mit dem Fuße niedertreten. Wir haben es dann in der Hand oder richtiger „im Fuß“, die Schrift ganz nach Belieben aussetzen und wieder auftreten zu lassen, eine Erscheinung, die sich sicher niemand so leicht erklären wird.

*** Gegenstände mit dem elektrischen Strom zu verkupfern oder nachzubilden.** In den Drogenhandlungen ist das Kupfervitriol in schönen, blauen Kristallen käuflich. Man schüttet davon so viel in ein Einmacheglas mit Wasser, daß eine gesättigte Lösung entsteht, d. h. so viel, daß auf dem Boden des Glases immer noch einige Kristalle unauflöslich liegen bleiben (Fig. 154). Darauf legt man quer über das Glas zwei blanken Messingstäbchen, verbindet beide leitend mit den Polen einer Batterie aus zwei Elementen und hängt an den positiven — mit dem Kupfer der Batterie verbundenen — Stab mit blanken Drähten ein Stück Kupferblech auf. An dem anderen Stabe wird der zu verkupfernde Gegenstand, sagen wir ein Schlüssel, ebenfalls an einem blanken Draht, in die Lösung gehängt. Es tritt hier nun merkwürdigerweise keine Zersetzung des Wassers auf, vielmehr wird dort, wo sich sonst der Wasserstoff entwickeln würde, metallisch reines Kupfer aus der Lösung abgeschieden. Sie würde immer farbloser werden und immer dünner, wenn man nicht Kupfervitriolkristalle im Ueberschuß beigegeben hätte, die sich während des Prozesses in der Tat verzehren.

Jeder zu verkupfernde Gegenstand muß zwei Bedingungen genügen; er muß den Strom leiten und völlig sauber, vor allen Dingen aber ganz frei von Fett sein. Da sich unsere Leser kaum damit beschäftigen werden, Gegenstände zu verkupfern, so sollen die zum Teil umständlichen Reinigungsmethoden hier nicht besprochen werden. Schon

nach wenigen Sekunden zeigt sich der Kupferniederschlag und hat meist nach einer halben Stunde eine genügende Stärke erreicht. Während des Versuches ist es durchaus nötig, den Gegenstand einige Male herumzudrehen und alle Seiten nacheinander der Kupfertafel zuzuwenden.

Reizend sehen verkupferte, natürliche Blätter und Blumen aus, nur unterliegt es einiger Schwierigkeit, sie für den Strom leitend zu machen. Entweder trägt man Graphit in dünner Lage mit einem feinen Haarpinsel auf oder man legt die Blume eine Zeitlang in die auf S. 243 des Buches beschriebene Verfilberungslösung, in der sie bald einen leitenden Überzug von metallischem Silber erhält. Das so vorbereitete Präparat bringt man, an mehreren feinen Kupferdrähtchen hängend, die den Strom gleichmäßig über den ganzen Gegenstand verteilen, in das elektrische Kupferbad, und zwar immer an den negativen Pol.

In gleicher Weise kann man leicht rostende Metallgegenstände in einem Nickelsalzbade mit Nickel überziehen, unedle Metalle in einem Goldbade vergolden usw. Eine ganze Industrie hat sich des einfachen physikalischen Vorganges bemächtigt und Tausende von Arbeitern finden durch ihn ihren Lebensunterhalt.

Aber die Elektrizität, deren vielseitige Fähigkeiten wir immer rückhaltloser bewundern müssen, vermag noch mehr. Sie umgibt nicht nur unedle oder gebrechliche Körper mit wertvoller und dauerhafter Hülle, sie bildet sie auch nach und schafft von einem Original Kopien, die von diesem nicht zu unterscheiden sind und von denen viel zu wenig gesagt wird, wenn man behauptet, sie gleichen dem Original, wie ein Ei dem anderen.

Wir wollen versuchen, mit Hilfe des elektrischen Stromes irgend eine Münze in Kupfer nachzubilden. Eines neuen Apparates bedarf es nicht, unser Verkupferungsgefäß dient auch diesem Zweck ohne jede Veränderung.

Gesetzt, es wäre möglich, die Münze einseitig recht stark zu verkupfern und dann den zusammenhängenden Niederschlag von ihm abzusprenken, so würde man offenbar ein genaues Abbild der Zeichnung erhalten, nur daß alle Erhabenheiten vertieft wären. Eine genaue Kopie des Originals würde einen zweiten Niederschlag auf dem ersten notwendig machen. Da man jedoch nicht darauf rechnen kann, den zweiten Niederschlag von seinem Kupferuntergrund los zu bekommen, verfähet man folgendermaßen.

Die Münze wird ein wenig mit Olivenöl eingefettet und mit einem fingerbreiten Rand aus Schreibpapier versehen, so daß eine Hohlform entsteht, in die man dünnen Gipsbrei gießt. Nach dem Erstarren läßt sich die Münze leicht ablösen, und man hat nun einen negativen Gipsabdruck vor sich, in dem alle erhabenen Stellen der Münze vertieft sind. Auf dieser „Matrize“ soll galvanisch Kupfer niedergeschlagen werden. Man pinxelt sie daher, um sie leitend zu machen, gut mit Graphit aus, auch auf der Rückseite, und hängt sie dann am negativen Pol in das Bad. Das Relief muß stets der Kupferplatte zugewendet sein. Einige Schwierigkeit bereitet die gut leitende Aufhängung. Am besten wickelt man ganz dünnen, blanken Kupferdraht mehrmals um den breiten Rand der Matrize und bestreicht diesen dann noch einmal mit Graphit.

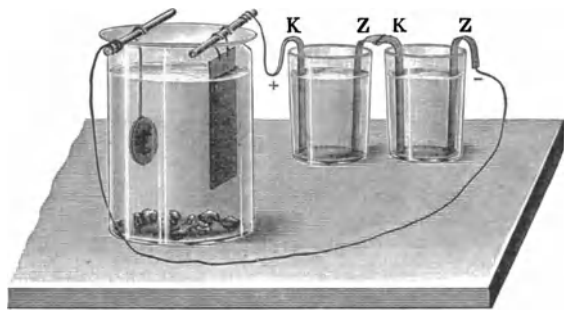


Fig. 154. Galvanische Nachbildung von Münzen (Galvanoplastik).

Nun habe man Geduld und überlasse den Apparat sich selbst. Kupfer, so fein verteilt, daß es in die kleinsten Vertiefungen dringt, lagert sich zunächst auf der Form ab, neue Schichten verstärken die erste, und schließlich ist der Kupferbelag dick genug, um mit leichter Mühe von der Form abgesprengt zu werden. Vierundzwanzig bis achtundvierzig Stunden kann die Matrize schon im Bade bleiben. Den Niederschlag durch mehr Elemente beschleunigen zu wollen, hat gar keinen Zweck, da er dann grobkörnig und unansehnlich wird. Sind auf solche Weise beide Seiten der Münze nachgebildet, die Abdrücke auf eine Messingscheibe gelötet und die Ränder mit der Feile sauber verputzt, so hat man eine Kopie, die völlig die Schärfe des Originals aufweist und die der gewiegteste Kenner nicht mehr von diesem unterscheiden kann.

Sehr leicht sind Blätter galvanoplastisch nachzubilden, da ihre Rückseite mit den erhabenen Adern schon die Matrize darstellt. Man überzieht daher die Rückseite mit Graphit und hängt das Blatt mit dieser der Kupferplatte gegenüber auf. Um einen recht gleichmäßigen Niederschlag zu erzielen, ist es angebracht, von dem Hauptdraht, an dem der Stiel befestigt ist, mehrere feine Kupferdrähte ausgehen zu lassen, die das Blatt an verschiedenen Stellen berühren. Der Abdruck muß an den Rändern sauber befeilt werden, da das Kupfer Neigung zeigt, um das Original herumzuwachsen. Ein derartiges Blatt, bronziert, gibt einen reizenden Schmuck für einen Briefbeschwerer ab.

*** Lauben und Bäume aus Bleikristallen durch den Strom gebildet.** Die Vorrichtung ist eine sehr einfache. Man kauft starken Bleidraht und hängt ihn bogenförmig in ein Wasserglas



Fig. 155. Bleibaum und Bleilaube.

(Fig. 155). Dieses wird gefüllt mit einer ziemlich starken Auflösung von Bleiacetat (essigsaurem Blei, Bleizucker), mit der man sich jedoch in acht nehmen muß, da sie sehr giftig ist. Dann leimt man einen Kork auf ein Kartonblatt, dieses groß genug, das Glas damit zuzudecken, und steckt durch ein Loch im Kork ein zweites Bleidrahtstück, das bis über die Mitte in das Glas hineinragt, jedoch keinesfalls den Bogen berühren darf.

Der Stab wird mit dem negativen, der Bogen mit dem positiven Pole einer zwei- bis vierelementigen Batterie verbunden, und nun beobachtet man in dem Glase ein anziehendes Schauspiel, das durch die Betrachtung mit einem Vergrößerungsglase noch gewinnt. Der Bleistab verliert seine glatte Oberfläche, winzige, glänzende Bleikriställchen setzen sich an, wachsen vor unseren Augen, spalten sich ab, verzweigen

sich und bilden schließlich einen umgekehrten Baum von wunderbarer Zierlichkeit. Auch hier scheidet sich also, wie bei dem vorigen Versuch, ein Metall aus der Lösung aus und, da es sich am negativen Pole ansetzt, der Strom aber vom positiven Pole kommt, so kann man sagen, es wandere mit diesem.

Keht man die Stromrichtung durch Vertauschung der Drähte an der Batterie um, so sieht man den Baum kleiner und kleiner werden. In dem Maße aber, wie von ihm ein Kristall nach dem anderen verschwindet, schmückt sich der Bogen — nun der negative Pol — mit ihnen, und schließlich ist auf Kosten des Baumes eine prächtige, allerdings umgekehrte, Laube entstanden.

Nach dem Versuch bewahrt man die Lösung in einer Flasche auf und reinigt das Glas, das man unter keinen Umständen mehr zu Trinzwecken benutzen sollte, gründlichst unter dem Wasserhahn.

*** Die Aufspeicherung elektrischer Arbeit in Akkumulatoren.** Nichts ist umsonst. Auch die Zertrümmerung und Zersetzung des Wassers in seine gasigen Bestandteile (S. 376) muß bezahlt werden, denn die Erzeugung des elektrischen Stromes, gleichgültig ob man ihn von Elementen oder einer Dynamomaschine bezieht, kostet Geld. Aber diese Arbeit ist nur dann für uns verloren, wenn wir die Gase nutzlos in die Luft entweichen lassen. Man kann sie auch fesseln und zu gelegentlicher Verwendung aufbewahren, ja man kann sogar mit ihrer Hilfe wieder einen elektrischen Strom zu beliebiger Verwertung erzeugen. Derartige Vorrichtungen nennt man Akkumulatoren oder Sammler für elektrische Arbeit. Sie sind in einfachster Form sehr leicht herzustellen und geben für unsere Experimente eine vorzügliche Stromquelle ab. Also wenden wir ihnen unsere Aufmerksamkeit zu.

Zur Ladung unserer selbstgefertigten Akkumulatoren benutzen wir den Strom der Lichtleitung unter der Voraussetzung, daß diese Gleichstrom und nicht etwa Wechselstrom führt. Wir werden das sofort herausbekommen. Zunächst schrauben wir den Stecker einer Anschlußdose auseinander und befestigen an den blanken, federnden Steckerbolzen zwei bis auf die Verbindungsstellen isolierte Drähte und stecken die Bolzen in die Dose (Fig. 156). Nun aber heißt es aufpassen! Würden sich die beiden Drähte A und B irgendwie leitend berühren, so wäre das berüchtigte Feuerwerk eines „Kurzschlusses“

fertig. Um sich ein für allemal dagegen zu schützen, schaltet man noch eine elektrische Lampe ein, wie es unsere Abbildung sehr deutlich zeigt. A und B können sich dann nicht mehr leitend berühren, und zwischen A und C ist ein Kurzschluß unmöglich, da bei einer Berührung dieser Teile der Strom stets über die Lampe fließt und diese allenfalls zum Brennen bringt. Unter diesen Vorsichtsmaßregeln haben wir in der Lichtleitung eine sichere Stromquelle zur Verfügung.

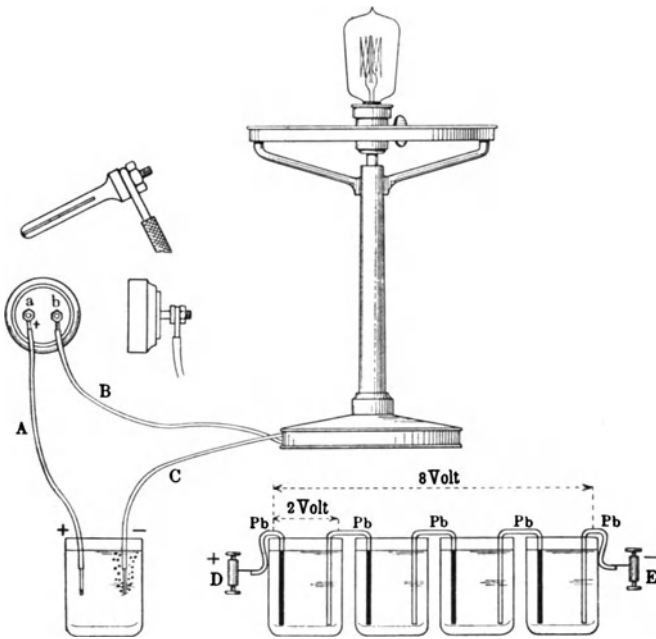


Fig. 156.

Die blanken Enden von A und C tauchen wir nun in Wasser, dem wir vielleicht noch wenige Tropfen von Schwefelsäure zusetzen können. Es tritt die bekannte Wasserzersehung auf. Der Pol, an dem sich lebhaft Gasentwicklung (Wasserstoff) zeigt, ist der negative, der andere der positive, den wir für alle künftigen Fälle auf der Steckdose anmerken (a). Bei Wechselstrom zeigt sich spärliche Gasentwicklung — gleichstark — an beiden Drähten. Dann ist eine Ladung von Akkumulatoren nicht möglich.

Eine Akkumulatorenbatterie ist rasch hergerichtet. Sie besteht für alle unsere Zwecke aus zwei bis vier Wassergläsern, gefüllt mit Wasser, dem $\frac{1}{10}$ Schwefelsäure zugefetzt ist, und in die wir etwa 3 bis 4 cm breite Streifen aus dünnem Bleiblech hängen, wie die Fig. 156 es zeigt. Klemmen wir nun unsere Drähte A und C an die Endbleche dieser Zellenreihe, so fließt der Strom durch das angesäuerte Wasser (die Lampe glüht), und es müßte sich eigentlich jetzt in jedem Glase Wasserstoff und Sauerstoff zeigen. Aber wir sehen nur Wasserstoff aufsteigen. Der Sauerstoff verbindet sich mit dem Blei, und die dem positiven Pol zugekehrten Bleiteile verrosten sozusagen. Schaltet man die Lichtleitung nach etwa einer halben Stunde wieder ab, so sieht man die Farbenänderung ganz deutlich, und unsere Vorrichtung ist nun nichts anderes als eine Batterie galvanischer Elemente, die zwar nicht, wie bisher, Kupfer und Zink, dafür aber Blei und verrostetes Blei (Bleisuperoxyd) in verdünnter Schwefelsäure enthalten. Wir können unsere „Akkumulatorenbatterie“ überall dort verwenden, wo wir bisher die galvanischen Elemente benutzten. Meist genügen zwei Elemente (Zellen), von denen jedes etwa 2 Volt Spannung hat, während unsere Kupfer-Zink-Elemente nur etwa die Hälfte besitzen*).

Aber — ein Aber ist nämlich dabei — unsere Akkumulatorenbatterie ist, einmal „geladen“, nun nicht etwa eine ewige Stromquelle. Mehr elektrische Arbeit, als man bei der Ladung hineinstecken konnte — und das ist in unserem Falle nicht arg viel —, kann man unmöglich wieder herausbekommen. Weil immer noch Gase ungebunden entweichen, ist es sogar viel weniger. Der Strom läßt also bald nach und die „entladene“ Batterie muß von neuem wieder geladen werden. Wir können aber unseren Freunden etwas aus der Verlegenheit helfen, wenn wir ihnen verraten, daß man ruhig die Batterie laden und gleichzeitig Strom aus ihr entnehmen kann. Hat man die Batterie vorher geladen, so wird man die Entladungsdauer dadurch verlängern, namentlich, wenn man eine starkstromige Lampe — etwa eine solche für 50 oder 100 Kerzen — einsetzt.

Die Akkumulatoren haben, natürlich in anderer Konstruktion, für die Elektrotechnik eine große Bedeutung erlangt. Sie helfen in den

*) Der Elektrotechniker mißt die Spannkraft, die den elektrischen Strom durch die Leitung treiben, nach der Einheit Volt, so wie man ähnlich die Spannkraft des Dampfes in einem Kessel mit dem Manometer nach Atmosphären bezißert.

Elektrizitätswerken aus, wenn die Maschinen zum Stillstand kommen, sie treiben elektrische Droschken und Boote. Auch die auf deutschen Bahnen oft gesehenen „Triebwagen“ sind mit Akkumulatoren ausgerüstet. Selbstverständlich müssen alle Akkumulatorengefährte von Zeit zu Zeit zu ihrer Ladestation zurückkehren, um sich neue Stärkung zu holen.

Magnetismus und Elektrizität.

*** Elektromagnetische Telegraphenapparate aus Streichholzschachteln.** Im Jahre 1820 hatte der Kopenhagener Professor Oersted eine Entdeckung gemacht, deren Tragweite man damals noch gar nicht übersehen konnte. Sein berühmtes Experiment ist so einfach, daß es von jedem unserer Leser wiederholt werden kann. Oersted experimentierte mit elektrischen Strömen in der Nähe einer Magnetenadel und entdeckte zu seinem größten Erstaunen, daß die Nadel ihre Nord-südrichtung verlor, sobald er einen stromdurchflossenen Draht über sie hielt, und zwar war die Richtung der Ablenkung, je nach der Richtung des Stromes, verschieden.

Man kann sich heute nicht mehr recht vorstellen, welches Aussehen dieser Versuch in der ganzen gebildeten Welt machte. Man hatte bisher Magnetismus und Elektrizität als zwei voneinander völlig verschiedene Kräfte behandelt und einen Zusammenhang kaum geahnt. Nun reichten sie einander die Hände zum Bunde, und dieser Bund war ein noch viel innigerer, als man damals glauben mochte. Heute wissen wir, daß die magnetischen und elektrischen Erscheinungen unzertrennlich miteinander verknüpft sind.

Die ablenkende Wirkung des Stromes ist um so größer, je stärker er ist und je öfter man ihn um die Nadel — natürlich in der Richtung derselben — herumführt. Wir laden unsere jungen Freunde ein, mit uns einen kleinen Versuch anzustellen, der ihnen nicht nur den Oersted'schen Versuch zeigt, sondern auch, wie später die beiden Göttinger Gelehrten, der große Mathematiker Gauß und der Physiker Weber, die Erscheinung zu einer elektrischen Telegraphie angewendet haben.

Zu dem Experiment sind zunächst einmal die äußeren Hüllen zweier Streichholzschachteln nötig, die man in der Mitte der beiden

Breitseiten mit einer glühenden Stricknadel durchbohrt. Wir beschreiben nur die Einrichtung der einen Schachtel, da die andere genau so hergerichtet wird. Abbildung 157 zeigt die Schachteln sowohl von der Seite als von vorn. Man magnetisiert ein Stück Stricknadel *N*, fast so lang als die Schachtel selbst, und steckt es durch einen kleinen Kork *K*, so daß die Nadel nach beiden Seiten gleich weit herausfährt. Darauf drückt man von beiden Seiten her durch die Schachtelböden Nähadeln in den Kork, die zusammen die Achse bilden, um die sich die magnetische Stricknadel in der Schachtel drehen kann. Dann wird das eine Ende durch den Kork *K*₁ beschwert, so daß das andere immer nach oben zeigt. Um eine Verschiebung der Achse zu verhindern, werden seitlich außerhalb der Schachtel auf der Achse zwei Korkstückchen mit Siegellack festgefittet.

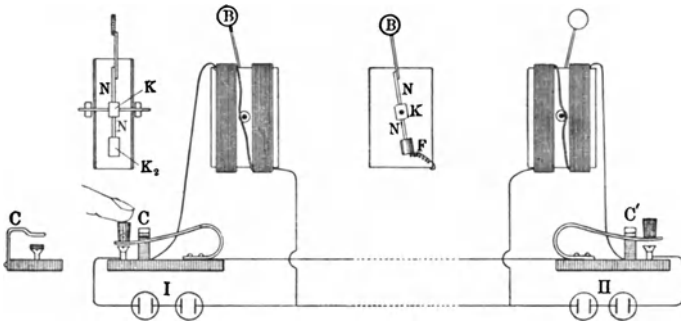


Fig. 157. Elektrischer Nadeltelegraph aus Streichholzschachteln.

Darauf beginnt man, in der Mitte einen Streifen von 1 cm Breite freilassend, die Schachtel in der angedeuteten Weise mit dünnem, aber wohl isoliertem Draht (Klingelleitungsdraht) zu umwickeln. Hat man eine Lage hergestellt, so beginnt man, ohne den Draht abzuschneiden, von derselben Seite eine neue, wobei man immer in der gleichen Richtung umwickelt. Fünf bis acht Lagen werden genügen. Die Enden befestigt man durch Umbinden eines Fadens oder mit Siegellack. Sobald man die Windungen mit einer Batterie verbindet, verläßt die Nadel ihre senkrechte Lage und schlägt, je nach der Stromrichtung, nach der einen oder anderen Seite aus. Durch ein angefittetes Streichhölzchen mit einem Papierblättchen *B* kann man die Bewegung auch äußerlich sichtbar machen. Merkt man sich einmal,

nach welcher Seite der Ausschlag erfolgt, wenn etwa das linke Ende der Spule mit dem positiven Pole eines Elementes verbunden ist, so kann man den kleinen Apparat jederzeit benutzen, um die etwa unbekanntes Pole einer Batterie zu bestimmen. Hat er sehr viel Windungen, so wird er gegen den Strom überhaupt ungemein empfindlich. Er dient dann nicht nur zur Bestimmung der Stromrichtung, sondern zum Nachweis geringer Ströme überhaupt und wird „Galvanometer“ genannt.

Wir merken uns den Ausschlag bei einer bestimmten Stromrichtung und bringen dann im Innern des Kastens eine feine Spiralfeder *F'* an, die unsere Nadel sehr sanft nach der anderen Seite herüberzieht. Nunmehr ist der Apparat zum Gebrauch fertig, und es ist nicht schwer, einzusehen, wie man ihn zum Telegraphieren benutzen kann. Man stellt auf der einen Station den kleinen Nadelapparat, auf der anderen eine Batterie und den Stromschlüssel in bekannter Weise auf (vgl. S. 379) und stellt die Verbindung durch zwei Drähte oder durch nur einen Draht und die Wasserleitung her. Bei jedem Stromschluß wird das Zeigerchen einen Ausschlag machen, und es ist einem dann überlassen, in der schon früher angedeuteten Art durch die Anzahl oder Länge der Stromschlüsse ein Alphabet zu bilden.

Soll der telegraphische Verkehr in beiden Richtungen stattfinden, so bedarf man natürlich zweier Apparate, zweier Batterien und zweier Stromschlüssel. Vier Leitungsdrähte sind jedoch nicht erforderlich, da man durch eine kleine Veränderung am Stromschlüssel mit zwei Drähten ebensogut auskommen kann. Man setzt an das Brettchen des Schlüssels seitlich einen fingerbreiten Messingstreifen *C* an und biegt ihn, wie es auch die Abbildung zeigt, so über die Feder, daß eine Berührung eintritt, wenn die Feder losgelassen ist, nicht aber, wenn man sie niederdrückt. Die Berührungsstelle muß ganz rein und blank sein.

Unsere Leser werden die Funktion der Apparate am besten verstehen, wenn wir, an der Hand der Abbildung, den Stromverlauf verfolgen. Ruhen beide Stromschlüssel, so läuft sich, wie man leicht sieht, der Strom der beiden Batterien I und II in der Kontaktschraube der Schlüssel tot. Drückt man jedoch den Taster der Station „Links“ nieder, so ist dem Strom der Batterie I folgender Stromkreis geboten. Er läuft durch die Kontaktschraube in die Tasterfeder, von hier in die Leitung zum Taster (Stromschlüssel) der anderen Station und, da dessen Feder im Ruhezustande gegen den Messingstreifen *C'* anliegt,

durch diesen zum Nadelapparat und dann wieder durch den anderen Zweig der Leitung zur Batterie I der Station „Links“ zurück. Es ist wohl zu beachten, daß der Strom einer jeden Batterie niemals den Apparat der eigenen Station betätigen kann, da jedesmal beim Niederdrücken der Tasterfeder die Verbindung nach ihm aufgehoben wird. Wie nun Station „Rechts“ mit Station „Links“ verkehrt, wenn auf Station „Links“ der Taster in Ruhe ist, auf der anderen Station aber herabgedrückt wird, versteht sich nach dem eben Gesagten von selbst. Wenn unsere Leser alle Drahtverbindungen genau nach dem gegebenen Stromlaufschema ausführen, kann gar kein Irrtum vorkommen. Gut ist es aber immerhin, zum Studium erst einmal beide Apparate auf demselben Tisch aufzubauen. Auch achte man genau darauf, die Pole der Batterie richtig zu schalten, da anderenfalls die Ablenkung der Nadel in der Richtung der Federkraft erfolgt und daher nicht bemerkt wird. Zum Betriebe reichen zwei bis vier der früher beschriebenen Kupfer-Zinkelemente oder ein bis zwei Akkumulatorenzellen auf jeder Station aus.

Die beweglichen Augen. Begreiflicher Weise kann man den kleinen Nadelapparat auch zu allerhand mehr oder minder geistvollen Scherzen anwenden. Nimmt man die kleine Feder heraus, so kann man die Nadel, je nach der Stromrichtung, nach rechts oder links ausschlagen lassen. Man schneidet dann aus einem Holzschnittporträt die Augen heraus und heftet an den Nadelzeiger des Apparates einen weißen Papierstreifen, auf den man die Pupillen im richtigen Abstand klebt. Darauf bringt man den Apparat so hinter das Gesicht, daß die Pupillen in den Augenhöhlen erscheinen. Damit sie gut anliegen, kann man an der Nadel zunächst einen Kupferdraht befestigen und diesen so weit als nötig nach vorn biegen. Man hat es dann in der Hand, die Pupillen hin und her wandern und jemand verfolgen zu lassen, der durchs Zimmer geht, was stets gewaltigen Eindruck macht, wenn alle Vorbereitungen geschickt getroffen sind und das Porträt womöglich an der Wand unter Glas und Rahmen hängt.

Magnetismus durch Elektrizität. Wie sollte wohl sonst ein stromdurchflossener Draht eine Magnethadel ablenken können, wenn er nicht selbst magnetische Eigenschaften besäße? Diese Eigenschaften betätigen sich auch bei dem berühmten Experiment des Engländers

Sturgeon (spr. Störtschen), der einen stromdurchflossenen Draht mehrmals um ein Stück Eisen wickelte und nun an diesem Magnetpole nachweisen konnte.

Fig. 158 stellt das Experiment dar, wie wir es unseren Lesern anzustellen empfehlen. Man wickelt um ein etwa fingerlanges Stück Rundeseisen einen isolierten Draht in mehreren Lagen und schließt die Enden der so entstandenen Spule an eine Batterie. Sofort wird das Eisen zu einem Magnet, dessen Stärke bis zu einem gewissen Grade mit der Anzahl der Drahtwindungen und Elemente zunimmt und jedenfalls diejenige eines gewöhnlichen Stahlmagnets immer um ein Bedeutendes übertrifft. Alle von uns früher angestellten magnetischen

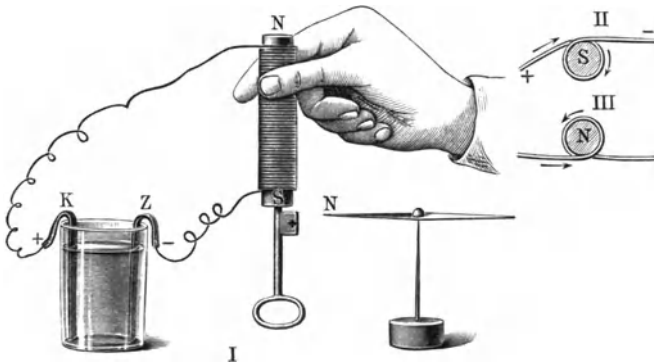


Fig. 158. Magnetismus durch Elektrizität.

Versuche gelingen mit dem Elektromagnet ebensogut, ja vielleicht noch besser, da er bei derselben Kraftleistung viel kleiner sein kann und man durch Unterbrechen des Stromes jeden Augenblick in der Lage ist, den Magnetismus verschwinden zu machen, ohne den Magnet entfernen zu müssen. Damit sind jedoch die wertvollen Eigenschaften des Elektromagnets noch keineswegs erschöpft. Untersucht man die Pole mit einer Magnetnadel und kehrt darauf die Stromrichtung um, so wird man die Pole miteinander vertauscht finden. Die Stelle des Südpoles nimmt nun der Nordpol ein und umgekehrt. Es ist von Wert, zu wissen, in welcher festen Beziehung die Art des erzeugten Poles zur Stromrichtung steht und eine Regel ist in der That leicht genug aufzustellen, wenn man sich daran erinnert, daß der Strom vom positiven Pol — vom Kupfer einer Kupfer-Zinkbatterie also — kommt und

zum negativen fließt. Man hält einen Stab aus weichem Eisen so vor sich hin, daß man gerade auf eine der Endflächen sieht und wickelt den positiven Draht im Sinne eines Uhrzeigers einige Male rechts herum. Darauf schließt man ihn an den negativen Pol der Batterie, so daß Strom entsteht, und prüft den Eisenstab mit der Magnetonadel. Das zugewandte Ende wird sich als süd magnetisch, das andere als nord magnetisch erweisen (Fig. 158, II). Wickelt man dagegen, vom positiven Pol ausgehend, den Draht links herum, so entsteht vor dem Beobachter ein Nordpol, am anderen Ende ein Südpol (Fig. 158, III). Die Regel ergibt sich mithin von selbst, und man kann immer die Pole im voraus bestimmen, wenn man die Stromrichtung kennt.

Nur weiches Schmiedeeisen verliert nach dem Aufhören des Stromes seinen Magnetismus wieder, Stahl behält ihn, und wir haben also nun ein vortreffliches Mittel an der Hand, gute Stahlmagnete herzustellen und tun gut daran, eine besondere Vorrichtung dazu bereit zu halten.

Eine Pappöhre, deren Durchmesser jedenfalls größer ist als derjenige des dicksten Stahlstückes, das man zu magnetisieren hat, wird an den Enden mit kleinen Pappringen versehen, so daß ein Röllchen von etwa Fingerlänge entsteht. Auf dieses Röllchen wickelt man dünnen isolierten Klingelleitungsdraht in so viel Lagen, als irgend darauf Platz haben und bringt das Stahlstäbchen in die Röhre, so daß, falls es länger ist, beide Enden zu gleichen Teilen herausragen. Dann schließt man eine Batterie an die Spule und beklopft den Stab mit einem Holzstückchen auf beiden Enden. Er ist dann genügend magnetisch geworden, ja in den meisten Fällen bis zum größtmöglichen Betrage. Man öffnet den Strom, ehe man den Stab aus der Spule zieht. Hat man kleinere Stäbe, wie Stricknadeln, zu magnetisieren, so kann man mehrere von ihnen zugleich der Strombehandlung unterwerfen und erhält dann auf derselben Seite an allen Stäben die gleichen Pole.

Auch Hufeisen elektromagnete lassen sich herstellen, nur ist die Umwicklung mit Draht weniger bequem. Man zieht es daher meist vor, auf die Schenkel des schmiedeeisernen Hufeisens Spulen mit Drahtwicklung zu schieben und diese so anzuordnen, daß, von vorn gesehen, die eine vom Strom rechtsläufig, die andere linksläufig umkreist wird (Fig. 159). Ist das Hufeisen kurz und schwach genug, so kann man Garnröllchen statt der Papphülfen verwenden. Man kann auch, wenn der Draht

gut genug isoliert ist, ihn direkt in mehreren Lagen auf den einen Schenkel wickeln und ihn dann — den Bogen des Hufeisens freilassend — auf die andere Seite herübernehmen und ihn auf dem zweiten Schenkel im entgegengesetzten Sinne umlaufen lassen. Die Enden werden mit Schnur festgebunden.

Ein Elektromagnet übertrifft einen stählernen Hufeisenmagnet vielfach und trägt oft das Zehnfache seines eigenen Gewichtes. Die Kraftlinienerperimente (S. 366) gelingen mit ihm ganz besonders schön und es lohnt sich schon, auf ihn einige Sorgfalt zu verwenden. Wir empfehlen unseren Lesern, sich vom Schlosser aus $\frac{1}{2}$ zölligem Rundeisen (13 mm) ein Hufeisen von 8 cm Länge und 4 cm Weite biegen zu lassen und die Anfertigung der Papprollchen dem Buchbinder in Auftrag zu geben. Diese Ausgabe lohnt sich stets, da man die abnehmbaren Bewicklungen auch noch zur Herstellung eines Stabmagnets, zum Magnetisieren von Stahlstäben und zu vielen anderen Versuchen verwenden kann. Es müssen auf jedem der Rollchen etwa zehn

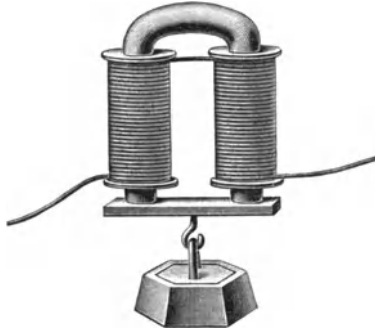


Fig. 159. Hufeisenelektromagnet.

Drahtlagen Platz haben. Schwacher, doppelt umspinnener und gewachster Klingelleitungsdraht eignet sich für die Bewicklung vortrefflich.

Benutzt man käufliche Akkumulatoren zu den elektromagnetischen Versuchen, so darf man kaum mehr als eine Zelle nehmen. Auch muß der Draht auf den Apparaten in einer reichlichen Anzahl von Windungen aufliegen und dünn sein, da anderenfalls durch eine zu hohe Stromstärke sowohl Akkumulator als auch Apparate leiden.

Der Klopftisch. Die Eigenschaft des Elektromagnetismus, mit dem Strom zu entstehen und zu verschwinden, macht ihn für alle Zauberkünstler besonders schätzenswert. Es ist unglaublich, wieviel Unfug mit ihm schon getrieben wurde, besonders zu einer Zeit, da noch nicht jedermann in einem unerklärlichen Experiment gleich ein elektrisches vermutete, und man lieber zu übernatürlichen Kräften seine Zuflucht nahm, als sich der einfachsten physikalischen Erscheinungen erinnerte.

So machte folgendes Experiment eine Zeitlang von sich reden, dessen Erklärung unseren Lesern nicht schwer fallen dürfte. Der Zauber-
künstler stellt ein kleines einbeiniges, rundes Tischchen vor die Zu-
schauer, legt darauf zwei dünne Bücher und auf diese wiederum eine
Glascheibe, damit man zwischen dieser und dem Tisch hindurchsehen
kann. Dann holt er eine Hand aus Papiermaché herbei, von der er
behauptet, daß sich ihrer die Geister zum Verkehr mit den Sterblichen
bedienten. Und zwar pflegten sie ein oder mehrere Male damit auf-
zuklopfen, um ihren Willen kund zu tun. Darauf legt er die Hand
auf die Glasplatte und läßt aus dem Publikum eine Frage an sie
richten. Wirklich belebt sich die Hand und klopft mehrmals mit den
Fingern gegen die Glascheibe. Allgemeines Erstaunen, denn eine
Verbindung der Hand mit irgend einer Vorrichtung ist durchaus nicht
zu erkennen, auch nimmt sie der Zauberstab um sie herum, um zu beweisen, daß keinerlei
Fäden ihre Bewegung hervorrufen.

Natürlich handelt es sich um einen elektromagnetischen Vorgang.
Die Hand ist so eingerichtet, daß sie für gewöhnlich etwas nach hinten
überkippt, trägt in ihren Fingerspitzen Eisenstückchen, und in dem
Tischchen ist ein Elektromagnet verborgen, der durch die Tischplatte
und durch die Glasplatte hindurch wirkt. Unsere Leser ersähen aus
dem nächsten Paragraphen, wie sie das Kunststück in anderer Form
ebenfalls ausführen können.

Wir werden kaum viel Zeit und Mühe auf ein derartiges Expe-
riment verwenden wollen, es sei denn, um die Zuschauer von der
Leichtgläubigkeit vieler Menschen zu überzeugen. Jeder Tisch genügt,
um den Spaß zu machen, und je einfacher die Einrichtung ist, desto
besser. Auch brauchen die Klopflaute keineswegs stark zu sein. Im
Gegenteil. Wenn sie erst bei angestrengtem Hinhorchen vernehmbar
sind, wirken sie um so geheimnisvoller. Jedenfalls darf das Klopfen
nicht metallisch klingen, sondern etwa so, als ob ein unwirrscher Geist
durch unftetes Poltern seine Anwesenheit kundgibt. Hat der Tisch
eine Schublade, so wird man den Elektromagnet hier unterbringen,
denn es lohnt sich wirklich nicht, wegen dieses platten Spases einen
doppelten Boden anfertigen zu lassen. Am besten hängt man ihn an
der Tischplatte auf, doch so, daß seine Pole noch weit genug vom
Boden der Schublade entfernt sind, um einem mit Wolle umwickelten
Stückchen Eisen einige freie Bewegung zu lassen. Beim Stromschluß

hüpft das Knäuel gegen den Magnet, um dann bei einer Unterbrechung mit dumpfem Laut wieder auf den Boden des Kastens zu fallen. Nach den Seiten in drei Richtungen ausgespannte Fäden verhindern das Knäuel am Fortlaufen. Man kann natürlich auch auf viele andere Arten das verlangte Geräusch hervorrufen. Unsere jungen Leser werden im Erfinden neuer Methoden nicht verlegen sein und sich ebensowenig den Kopf lange darüber zu zerbrechen haben, wie sie die Zuführungsdrähte, die übrigens, wenn es sich nicht um große Entfernungen handelt, ganz dünn sein dürfen, dem forschenden Blick der Zuschauer verbergen können. Der Elektromagnet hat am besten Hufeisenform und darf nicht zu schwach sein.

Die Wunschelrute spielt im deutschen Märchen eine bedeutende Rolle. Sie zuckt in der Hand von Zauberern und Sonntagsfindern, um verborgene Schätze anzudeuten. Heute noch gibt es Leute, die fest an sie glauben und mit ihrer Hilfe, zwar nicht versteckte Schätze, wohl aber Wasseradern auffinden wollen. Wir benutzen den alten Glauben als Aufspüz für ein niedliches elektromagnetisches Experiment.

In einem Tischkasten wird ein starker Hufeisenelektromagnet aufgestellt, dessen Pole die Tischplatte berühren. Man merkt sich auf dem Tisch genau den Punkt, unter dem der Magnet sich befindet, legt hier ein Geldstück, den Schatz vorstellend, hin und überdeckt den ganzen Tisch mit einem mehrfach zusammengelegten Tuch, so daß das Geldstück nicht mehr fühlbar ist. Darauf gibt man einer Person ein Holzstäbchen in die Faust und bittet sie, dicht über dem Tuch hinfahrend, langsam das Feld nach Schätzen abzusuchen. Und wirklich zuckt das Stäbchen in der Hand lebhaft, sobald es über dem Geldstück angelangt ist. Natürlich hat man ein Eisenstäbchen in dem Holz verborgen und den Strom durch einen Gehilfen in rascher Folge öffnen und schließen lassen, als sich die Hand dem verborgenen Schätze näherte. Wählt man Mauerrohr, so wird die Unterbringung des Eisenstäbchens keine Schwierigkeiten machen. Das Experiment gelingt übrigens nicht immer gleich gut, sondern nur dann recht auffällig, wenn das Eisenstäbchen zugleich über beiden Polen des Elektromagnets anlangt. Das ist aber fast stets zu erreichen, wenn man die suchende Person gerade vor den Tisch stellt und den Magnet parallel zur Knöchelrichtung der rechten Hand, also etwas schräg zur vorderen Tischkante, aufbaut.

*** Eine elektromagnetische Kanone.** Eine Pappröhre von etwa 15 cm Länge und 10 mm Weite wird mit 15 bis 20 Lagen Klingelleitungsdraht bewickelt und etwas in die Höhe gerichtet wie ein Kanonenrohr (Fig. 160). Wirft man zur oberen Mündung ein 3 bis 4 cm langes Stückchen Rundeisen von 9 mm Durchmesser ($\frac{3}{8}$ Zoll) hinein, so gleitet es natürlich durch die Röhre und kommt an der unteren Öffnung wieder zum Vorschein. Ist jedoch der Strom einer starken Batterie, deren Elemente statt der Metallstreifen breite Platten haben, durch die Spule geschlossen, so erhält sie magnetische Eigenschaften und man wartet vergebens auf das Erscheinen des Eisenternes an der unteren Öffnung. Bei einer genaueren Untersuchung findet man ihn in der Mitte des Rohres, wohin er immer wieder zurückkehrt, so oft man ihn auch mit einem Stäbchen hinabstößt. Selbst

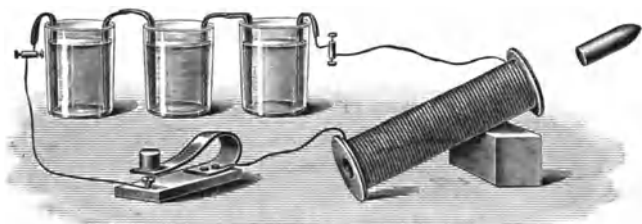


Fig. 160. Eine elektromagnetische Kanone.

wenn man ihn an die untere Öffnung hält, wird er sofort bis zur Mitte eingesaugt. Auch an der oberen Öffnung spürt man deutlich dieselbe Wirkung.

Legt man nun das Eisenstäbchen in die untere Öffnung und schließt den Strom nur so lange, als das Stäbchen braucht, um bis zur Mitte zu gelangen, so wird es wie ein Geschöß zur oberen Öffnung herausfliegen. Die Erfahrung lehrt bald, wie lange man auf den Taster zu drücken hat.

Zu diesem Versuch eignen sich Akkumulatoren besonders gut, da sie, wegen der Kürze des Stromschlusses, auch bei dickdrähtiger Bewicklung der Spule, kaum überlastet werden. Man wählt ein bis zwei Zellen.

*** Elektromagnetische Schmetterlinge.** Ohne allzu große Mühe kann man ein Experiment anstellen, das durch Fig. 161 erläutert wird und sicher allen, die es beobachten, viel Vergnügen bereiten

dürfte. Es handelt sich darum, einen Schmetterling herzustellen, der auf Kommando seine Flügel öffnet und schließt. Um sich die Arbeit zu erleichtern, wählt man als Vorbild einen Schmetterling von der großen, blauen brasilianischen Sorte. Der Körper besteht aus einem etwa 2 mm dicken Eisenstäbchen, an dessen Kopf ein hufeisenförmig gebogenes starkes Eisenblechstreifchen so angenietet wird, daß seine Enden gleichsam die Achseln des Schmetterlings bilden. Man umwickelt das Eisenstäbchen mit feinem, gut besponnenem Kupferdraht und hat dann in dem Körper des Tieres zugleich einen kleinen Elektro-



Fig. 161. Der elektrische Schmetterling.

magnet vor sich, dessen Pole einmal durch das Schwanzende und dann durch die Schenkel des U-förmigen Eisenstreifens dargestellt werden. Nur diese werden benutzt. Die weitere Ausrüstung des Schmetterlings veranschaulicht die Figur besser, als man sie beschreiben kann. Man umwickelt nämlich den Körper noch mit dunklem Zwirn, um ihm ein natürlicheres Aussehen zu verleihen und befestigt zugleich auf jeder Seite zwei kleine Häkchen, die das Gelenk des Flügels bilden sollen. Es ist auf der Figur deutlich zu erkennen, daß das Gerippe der Flügel aus einem winklig gebogenen Draht besteht, der an seinem längeren Ende die aus Gaze zusammengeklebten großen Flügel trägt. Das

kürzere Ende steht den Seitenpolen gegenüber und trägt eine kleine Platte aus Eisenblech, die als Anker — so nennt man das von einem Magnet angezogene und zu ihm gehörige Eisenstück — dient.

Dicht über dem Körper zieht eine schwache Spiralfeder die Flügel etwas aneinander, so daß die Anker gelüftet werden. Bei jedem Stromstoß werden sie jedoch gegen die Seitenpole gezogen und der Schmetterling schlägt seine Flügel etwas auseinander. Es ist ein leichtes, ihn auf einer Blume anzubringen und die Leitungsdrähte zu verbergen. Ein Kopf aus Wachs, sowie Fühler und Beine aus Draht vervollständigen seine Erscheinung.

Die Hausklingel als Elektrifizierapparat. Auch eine galvanische Batterie, besonders wenn sie aus vielen Elementen besteht, vermag elektrische Schläge auszuteilen, vornehmlich im Augenblick, da man ihre Pole berührt oder losläßt. Hat man eine Vorrichtung, den Strom in rascher Folge zu unterbrechen, so können die Schläge unerträglich werden. Die als Funkeninduktoren bekannten Elektrifizierapparate der Ärzte sind im Grunde nichts anderes als automatische Schließ- und Unterbrechungsapparate, nur daß sie insofern zum Elektrifizieren noch ganz besonders geeignet sind, als sie den Strom unter hoher Spannung liefern. Fast niemand aber weiß, daß unsere biedere elektrische Hausklingel beinahe denselben Dienst leistet.

Fig. 161 zeigt eine elektrische Klingel. Ihre Einrichtung ist leicht zu verstehen, wenn man den Lauf der Leitungen, die sich meist auf der Rückseite befinden, verfolgt. Sie sind, soweit sie nicht gesehen werden können, auf unserer Figur durch punktierte Linien angedeutet. Der Strom tritt an der Klemme K_1 in die Klingel ein, läuft nach dem Metallstück d und von diesem durch die Spitze der Feder F nach dem Anker A . Von dort geht er durch die Feder b nach dem gußeisernen Gestell G der Glocke über. Ein Drähtchen leitet ihn in die Bewicklungen B des Elektromagnets, die er durchläuft, um dann durch die Leitung c und die Klemme K_2 wieder abzufließen.

Das Spiel der Glocke versteht sich nun eigentlich von selbst. Sobald der Strom eintritt, wird der Anker A gegen den Elektromagnet gezogen und der Klöppel schlägt gegen die Glocke. In diesem Augenblick ist aber auch der Stromkreis unterbrochen, denn der Anker hat sich von dem kleinen Federstift entfernt, der ihm den Strom zuführte. Der Magnetismus erlischt und der Anker schnell wieder

zurück. Dadurch berührt er die Feder wieder, der Strom wird geschlossen, der Magnet tritt in Tätigkeit, zieht den Klöppel wieder an, eine neue Stromunterbrechung tritt ein usw. Man sieht also, daß sich das Spiel der Glocke automatisch regelt und daß der Klöppel so lange in rascher Folge hin und her schnellen muß, als man der Klingel Strom zuführt.

Nun wollen wir unseren Lesern verraten, daß in jeder Drahtspule, also auch in denjenigen der Glocke, ein besonderer elektrischer Strom entsteht in dem Augenblick, wo man den bisher sie umfließenden

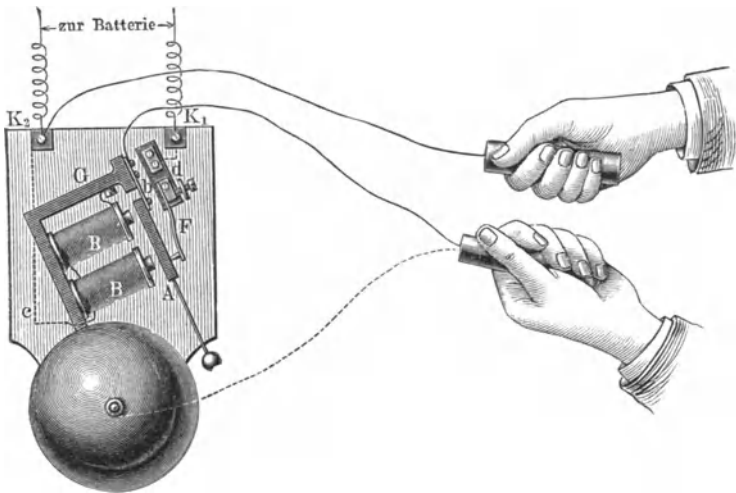


Fig. 162. Die elektrische Hausklingel als Elektrifizierapparat.

Strom unterbricht. Dieser sogenannte Extrastrom zeichnet sich durch eine hohe Spannung aus, die ihn befähigt, ähnlich auf den menschlichen Körper zu wirken wie eine Leidener Flasche. Das kleine glänzende Flünkchen, das unsere Leser beim Arbeiten an der Feder der Glocke bemerken können, rührt hauptsächlich von dem Extrastrom her. Es handelt sich nun darum, diesen Extrastrom einzufangen in den Augenblicken, wo die Glocke selbsttätig den Strom der Batterie unterbricht. Nichts kann aber leichter sein. Man braucht nur von den beiden Enden der Drahtspulen zwei Drähte abzuzweigen. Wo man den Anschluß macht, ist ziemlich gleichgültig, wenn nur der eben ausgesprochenen Bedingung genügt wird. Da das Gestell G einerseits

und die Klemme K_2 andererseits mit den Spulenden in leitender Verbindung steht, so kann man hier anschließen, wie es auch die Figur zeigt, oder man legt den einen Draht an die genannte Klemme und den anderen an die Glockenschale (siehe die punktierte Linie der Zeichnung), was den Vorteil gewährt, das Glockengehäuse nicht erst abnehmen zu müssen. Demjenigen, der elektrisiert werden soll, gibt man zwei Messingröhren in die Hände — Schlüssel tun es ebenso gut —, die mit den Abzweigdrähten verbunden sind. Sobald man dann auf den Knopf drückt und die Glocke arbeitet, wird er gehörig elektrisiert werden und die Schläge bis zu den Ellbogen hin fühlen, besonders wenn die Hände vorher angefeuchtet wurden. Um überflüssigen Spektakel zu vermeiden, steckt man ein mehrfach zusammengelegtes Stück Papier unter die Glockenschale oder nimmt sie ganz ab.

Dieser billige Elektrifizierapparat — er kostet eigentlich gar nichts — genügt selbst für eine Reihe von Personen. Sie reichen einander die angefeuchteten Hände, während die erste den einen Schlüssel in die linke, die letzte den anderen in die rechte Hand nimmt. Die Stärke der Schläge nimmt natürlich schnell ab, ist aber oft, namentlich bei Glocken mit dünner Drahtbewicklung, noch durch sechs Personen fühlbar.

Eine Anordnung, die den ahnungslosen Besucher im Augenblick des Läutens an der Haustür elektrisiert, verraten wir unseren Lesern lieber nicht.

★ **Elektrische Bewegungsmaschine (Elektromotor).** Vorrichtungen, deren Teile unter dem Einfluß des elektrischen Stromes Bewegungen ausführen, sind uns nicht unbekannt. Jede durch den Strom abgelenkte Magnethöhle, jede elektrische Klingel ist genau genommen ein Elektromotor, d. h. eine durch Elektrizität bewegte Maschine. Man versteht jedoch unter Elektromotoren im besonderen solche Maschinen, deren Bewegung eine drehende ist und dauernd in demselben Sinne erfolgt. Nachstehend ist die Beschreibung einer solchen Maschine gegeben, die sich unsere Leser mit zeitweiser Unterstützung des Schlossers ganz wohl selbst anfertigen können.

Zunächst muß der Schlosser ein $\frac{1}{2}$ zölliges Stück Rundeisen zu einem etwa 18 cm langen und 8 cm weiten U-förmigen Hufeisen biegen (Fig. 163). Dieses unwickelt man dann in der durch die Figur veranschaulichten und schon früher genau besprochenen Art in mehreren Lagen mit Klingelleitungsdraht, so daß ein Hufeisenelektro-

magnet entsteht, den man mit einem Messingstreifen (M) auf einem kräftigen Grundbrettchen befestigt. Die Enden der Wicklung läßt man einftweilen frei.

In die Biegung des Hufeisens wird ein Holzklötzchen S mit Schellack eingekittet und über den Polen ein rechtwinklig gebogenes Messingstreifchen B befestigt, und zwar derart, daß man seine Enden mit Draht an den Magnetschenkeln festbindet. In einer Vertiefung

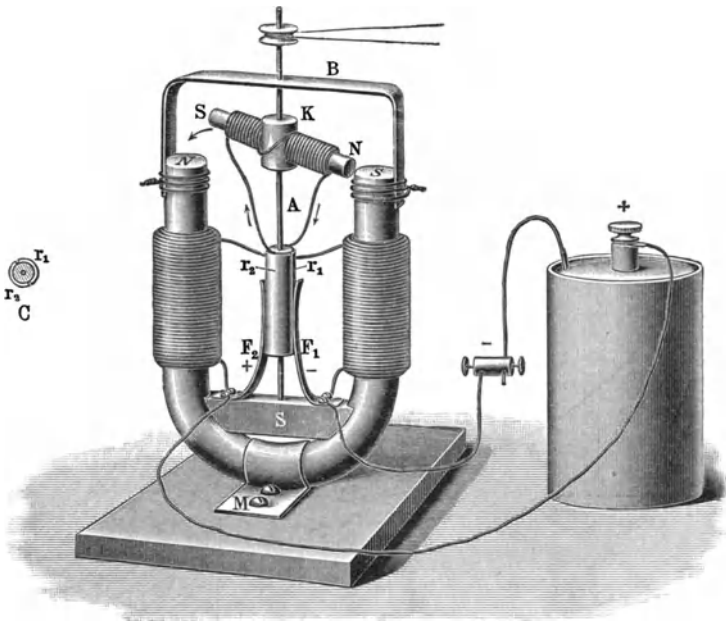


Fig. 163. Elektromotor.

des Klötzchens S und einer Durchbohrung des Bügels B läuft die Achse A des Maschinchens, aus zwei Stücken bestehend, die in Bohrungen des zylindrischen, 13 mm breiten Holzklötzchens K fest mit Schellack eingekittet sind. Dieses Klötzchen ist seitlich auf 10 mm Weite nochmals durchbohrt und nimmt hier einen Stab SN aus weichem Eisen von 9 mm ($\frac{3}{8}$ Zoll) Stärke auf, der ebenfalls festgekittet wird. Seine Länge ist gegeben durch den Abstand der Pole des Magnets von Mitte zu Mitte. Die Höhe des Klötzchens K über dem Magnet wird so bemessen, daß das Eisenstäbchen NS gerade, ohne sie zu

berühren, über seine Pole hinstreicht. Auch das Stabeisen wird mit mehreren Drahtlagen versehen, wobei man darauf achtet, immer in dem gleichen Sinne zu wickeln. Die Enden dieser Wicklung stehen nun mit dem wichtigsten Teile des ganzen Apparates, dem Stromwender, in Verbindung. Es ist bei einiger Vorsicht nicht schwer, ihn anzufertigen. Man wählt eine Messingröhre von etwa 10 mm Durchmesser und 3 cm Länge aus und läßt sich vom Drechsler dazu einen genau passenden zylindrischen Holzkern drehen und in der Mitte, etwas stärker als die Achse ist, durchbohren. Man kittet dann die Röhre auf dem Zylinder fest und sägt sie an zwei gegenüberliegenden Stellen mit einer kräftigen Laubsäge der Länge nach auf, wie es in der Figur auch links neben der Hauptzeichnung angedeutet ist. Statt der Säge kann man zur Not eine Dreikantfeile benutzen. Nachdem alle Metallspäne aus den Schnitten sorgfältig entfernt sind, erhält man zwei voneinander durch das Holz isolierte Zylinderhälften (r_1 , r_2) und kittet die ganze Vorrichtung so auf der Achse fest, daß die Schnitte genau in die Richtung des drehbaren Elektromagnets NS kommen. Die Enden seiner Wicklung werden durch Lötung mit den Zylinderhälften verbunden.

Seitlich gegen den Stromwender schleifen die leichten Messingfedern F_1 und F_2 . Sie werden sowohl mit den Enden der Hufeisenmagnetwicklung, wie mit den Polen einer Batterie in der durch die Figur veranschaulichten Weise verbunden.

Sobald die Batterie angeschlossen ist, und man dem Maschinen vielleicht noch einen Anstoß gibt, beginnt es schnell zu laufen. Der vom Element kommende Strom teilt sich nämlich und fließt sowohl um das Hufeisen, als auch um den Stab. Letzterem wird er durch die Federn und die Zylinderhälften des Stromwenders zugeführt. Wir wollen annehmen, daß, bei der gezeichneten Stellung der Maschine, der Stromverlauf in dem festen Magnet links einen Nordpol, rechts einen Südpol hervorgerufen hat und darüber in dem beweglichen Magnetstabe links einen Südpol, rechts einen Nordpol. Dann muß ja ohne weiteres auf beiden Seiten eine Anziehung und daher eine Drehung in der Richtung des Pfeiles erfolgen. Diese Drehung wird sofort aufhören, wenn die Magnetpole übereinander angelangt sind, wo sie sich gegenseitig festhalten, oder die Bewegung wird eine rückläufige werden, wenn der Stabmagnet durch seine Wucht etwas über den festen Pol hinausgelangt ist. Inzwischen haben sich jedoch die

Verhältnisse an den Stromzuführungsfedern geändert, denn die linke Feder, die bisher auf der Zylinderhälfte r_2 auflag, geht nun bei der Drehung auf die Hälfte r_1 über und die rechte Feder vertauscht die Zylinderhälfte r_1 mit r_2 . Der Strom wechselt also in dem beweglichen Magnet in dem Augenblick seine Richtung, wo die Pole übereinander anlangen. Mit der Stromrichtung wechseln auch die Polbezeichnungen des Stabmagnets, ein Nordpol steht nun dem Nordpol, ein Südpol dem Südpol gegenüber und der Magnet würde, da auf beiden Seiten Abstoßung erfolgt, wieder zurückgeworfen werden, wenn er nicht schon durch seine Wucht über den festen Pol hinausgelangt wäre. So erfolgt denn die Abstoßung auf der anderen Seite und der Magnet setzt seine Umdrehung in demselben Sinne fort. Bei jeder halben Umdrehung erfolgt dasselbe Spiel, und unsere Leser tun gut daran, sich diese Verhältnisse recht genau klar zu machen, indem sie den Apparat langsam mit der Hand drehen und den Wechsel der Pole mit Kreide an dem Magnetstabe verzeichnen. Der Hufeisenmagnet ändert seine Pole natürlich nicht.

In unseren Straßenbahnwagen befinden sich ebenfalls Elektromotoren, freilich in ganz anderer Ausführung, im Prinzip aber durchaus ähnlich, unter den Wagenkästen; sie übertragen ihre Bewegung mit Zahnrädern auf die Räder des Gefährtes. Der Strom wird vom Elektrizitätswerke dem über der Straßenmitte befindlichen Leitungsdraht zugeführt und vom Wagen mit einer gegen diesen „Fahrdrabt“ schleifenden Stange aufgegriffen. Er fließt dann durch die Stange und durch eine im Wagen befindliche Leitung zum Elektromotor und durch die metallenen Räder des Wagens und die Schienen zum Elektrizitätswerk zurück.

Seitdem es gelungen ist, den elektrischen Strom durch Maschinen (Dynamomaschinen) auf verhältnismäßig billige Art zu erzeugen, ist überhaupt der einfache und wirtschaftliche Elektromotor der stets bereite und willige Helfer des Menschen in großen und kleinen Betrieben.

*** Elektrizität durch Magnetismus.** Im allgemeinen ist jedes physikalische Experiment umkehrbar, und wenn man sich Jahrzehntelang vergeblich bemüht hat, durch magnetische Kräfte elektrische Erscheinungen hervorzurufen, so hat man es nur falsch angefangen. Wir machen's gleich richtig und bedürfen dazu nur geringer Vorkehrungen, vorausgesetzt, daß wir einen starken, hufeisenförmigen Stahlmagnet besitzen oder borgen können.

Wir klemmen den Magnet an seinem Bogen aufrecht in einem Schraubstock fest und wickeln auf eine lange Stange aus $\frac{1}{2}$ zölligem Rundeisen so viel feinen isolierten Kupferdraht, als irgend zwischen den Polen des Magnets Platz hat (Fig. 164). Die Drahtenden werden mit leitenden Handhaben (Schlüsseln) versehen. Legt man den Eisenstab mit der Wicklung in der angedeuteten Weise auf die Magnetpole und reißt ihn dann mit einem plötzlichen Ruck ab, so wird eine zweite Person, die beide Schlüssel mit nassen Händen hält, einen elektrischen Ruck spüren, der sich bei schneller Annäherung des Ankers an den Magnet, nur nicht so stark, wiederholt.

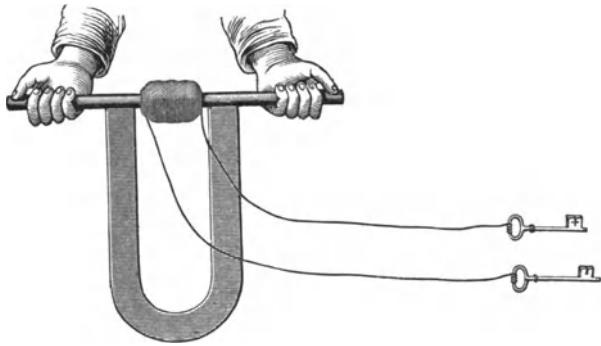


Fig. 164. Elektrizität durch Magnetismus.

So sind denn in der That, nur durch magnetische Einflüsse, während der Arbeit des Abreißens und ohne Zuhilfenahme eines galvanischen Elements, elektrische Ströme entstanden, mit denen zweifellos alle elektrischen Versuche ebenfalls gelingen müssen. Nur ist die maschinelle Einrichtung einstweilen noch sehr unvollkommen. Man wird selbstredend sich nicht stundenlang hinstellen wollen und seine Kraft im Spiel mit dem Anker verzehren. Zudem ist ein derartiges Hin und Her noch ganz besonders ermüdend. Mit einer Drehvorrichtung wäre schon viel gewonnen, und diese haben wir in dem Maschinchen des vorigen Paragraphen vor uns. Wir werden es nun nicht mit einem elektrischen Strom treiben, sondern es drehen, um einen elektrischen Strom zu erhalten. Unsere aufmerksamen Leser werden zwar einwerfen, daß in dem Maschinchen ohne Element ja gar kein Magnetismus vorhanden sei. Nur gemacht. Es kommt hier allerdings etwas Neues hinzu, was wir bisher absichtlich verschwiegen

haben. Auch weiches Schmiedeeisen wird, einmal magnetisiert, niemals wieder ganz unmagnetisch, es bleibt in ihm stets ein, wenn auch sehr geringer Rest von Magnetismus zurück. So hat denn auch der Hufeisenmagnet ohne Element schwache Pole, und wenn sich der drahtumwickelte Stab über ihm dreht — und das ist gerade so gut, als ob er sich wie in dem eben beschriebenen Experiment näherte und entfernte —, so werden in der bewegten Wicklung elektrische Ströme entstehen, die durch die Drähte und Federn herabfließen, den Hufeisenmagnet umkreisen und seine Pole verstärken. Nun wird auch die Einwirkung auf den bewegten Stab stärker, und so steigert sich durch wechselseitige Beeinflussung der Strom in dem Mechanismus bis zu einer gewissen Höhe. Das ist das berühmte von Werner v. Siemens entdeckte dynamoelektrische Prinzip. Ein Teil des Stromes fließt auch durch die früheren Zuführungsdrähte ab und kann nun an irgend einer Stelle elektrische Wirkungen ausüben, gerade als käme er von einem galvanischen Element.

Wie setzen wir aber das Maschinchen, und zwar sehr schnell in Umdrehung? Ja, das ist eine schlimme Geschichte, denn eine Schwungmaschine mit großer Killenscheibe, von der aus man einen Schnurlauf nach der Achse der Maschine legen könnte, ist zu teuer. Hat man aber eine Nähmaschine mit einer Aufspulvorrichtung für Garnröllchen zur Verfügung, so ist einem schon geholfen. Man läßt sich dann vom Drechsler eine Killenscheibe aus hartem Holz machen, so groß, als sie irgend auf den Dorn der Nähmaschine paßt. Von dieser Scheibe aus setzt man mit einem Schnurlauf das Maschinchen in schnellste Umdrehung und hat dann vielleicht das Glück, mit dem von ihr gelieferten Strom eine kleine elektrische Klingel in Betrieb zu setzen oder einige wenige Bläschen im Knallgasapparat (S. 377) hervorzurufen. Wir sagen „vielleicht“, denn vollkommen ist unsere Einrichtung natürlich nicht und klein ist sie auch. Daß sie aber in besserer und größerer Form wirklich brauchbare Ströme liefert, beweisen die gewaltigen, von Dampfmaschinen in den Elektrizitätswerken angetriebenen Dynamomaschinen, die unsere Straßen und Häuser mit elektrischem Licht, unsere Fabriken und Tausende von flinken Straßenbahnwagen mit Kraft versorgen. Sie sind in der That nach denselben Grundätzen gebaut wie unser Maschinchen.

So ist denn durch Elektromagnetismus und Magnetelektrizität herüber und hinüber die nahe Verwandtschaft zwischen Elektrizität und Magnetismus auf das Glücklichsste erwiesen.

Wasser, das ohne Feuer kocht. Wir riefen im vorigen Paragraphen elektrischen Strom durch Arbeit hervor, denn was anderes ist's denn als eine Arbeitsleistung, wenn wir die Maschine drehen? Umgekehrt vollbrachte der Strom auch eine Arbeitsleistung, indem er den kleinen Motor betrieb. Arbeit macht warm, und wenn der Strom

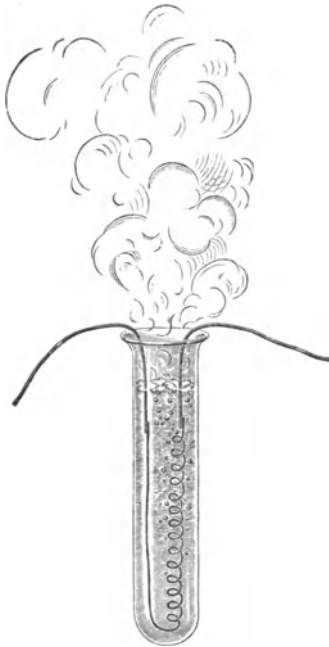


Fig. 165.

Wasser, das ohne Feuer kocht.

den Widerstand eines Drahtes mühsam überwindet, dürfen wir uns über eine Erwärmung des Drahtes nicht wundern. Sie kann sich unter geeigneten Verhältnissen bis zur Glut steigern, z. B. in unseren Glühlampen. Haben wir eine Batterie von acht bis zehn großen Elementen oder zwei bis vier Akkumulatorenzellen zur Verfügung, so kann man ein sehr feines, zwischen die Poldrähte der Batterie geklemmtes Eisendrahtchen von etwa 1 cm Länge bis zur Weißglut, ja bis zum Schmelzen bringen. Man kann aber die Wärmewirkung auch noch auf andere Weise zeigen. Ein feines, vielleicht 10 cm langes Eisendrahtchen wird spiralig aufgerollt und an den blanken Enden der Poldrähte befestigt. Es erwärmt sich sofort, wahrscheinlich nicht aber bis zur Glut. Man taucht es ganz und gar in ein Reagenzglaschen mit kaltem Wasser, das schnell warm wird und schließlich brodelnd und zischend Dampf Wolken empor sendet, ein sonderbarer Anblick — kochendes Wasser ohne Feuer (Fig. 165). Ist die Batterie nicht so groß, so nimmt man das Drahtchen entsprechend kürzer und wird dann immerhin eine Erwärmung des Wassers nach kurzer Zeit nachweisen können.

den Widerstand eines Drahtes mühsam überwindet, dürfen wir uns über eine Erwärmung des Drahtes nicht wundern. Sie kann sich unter geeigneten Verhältnissen bis zur Glut steigern, z. B. in unseren Glühlampen.

Haben wir eine Batterie von acht bis zehn großen Elementen oder zwei bis vier Akkumulatorenzellen zur Verfügung, so kann man ein sehr feines, zwischen die Poldrähte der Batterie geklemmtes Eisendrahtchen von etwa 1 cm Länge bis zur Weißglut, ja bis zum Schmelzen bringen. Man kann aber die Wärmewirkung auch noch auf andere Weise zeigen.

Ein feines, vielleicht 10 cm langes Eisendrahtchen wird spiralig aufgerollt und an den blanken Enden der Poldrähte befestigt. Es erwärmt sich sofort, wahrscheinlich nicht aber bis zur Glut. Man taucht es ganz

Sechster Abschnitt.

Versuche aus dem Gebiete der Chemie.

In unserem Buche ist schon mehrfach vom Wasserstoff die Rede gewesen. Dieser Abschnitt soll unsere Leser mit einer wohlfeilen Darstellung des Gases bekannt machen.

★ Wenn man chemische Versuche anstellen will, so tut man gut daran, sich von vornherein mit einigen Glasapparaten zu versehen. Man kann zwar auch mit alten Selterswasserflaschen, Weinkorken und Siegellack auskommen, doch macht das Experimentieren mit solchen Vorrichtungen wenig Freude. Einige Glasröhren, zwei oder drei doppelt durchbohrte Gummistopfen, zur Not auch gute Korkstopfen, eine Trichterröhre, ein Meter Gummischlauch für die Glasröhren passend, ein Trichter aus Glas, Filtrierpapier und wenn es sein kann, eine kleine Gasentwicklungsflasche — das ist alles, was zunächst gebraucht wird und immerhin noch erschwänglich ist. Der Chemiker ist ja gegen den Physiker mit seinem Apparatenmaterial gut daran. Chemikalien schafft man nur vor Fall zu Fall zu dem besonderen Zweck an. Säuren werden in Flaschen mit Glasstöpseln, Pulver in Flaschen mit weitem Hals aufbewahrt. Die Chemikalien in Düten oder Schachteln bereit zu halten, gewöhne man sich ab. Selbstverständlich erhält jedes Gefäß ein aufgeklebtes Schild mit der genauen Bezeichnung des Inhalts.

Um Wasserstoff darzustellen, wirft man in eine Gasentwicklungsflasche *G* (Fig. 166) eine halbe Handvoll Zinkblechabfälle, die man bei jedem Klempner bekommt, und schüttet so viel Wasser auf, daß die Metallstücke reichlich bedeckt sind. Darauf setzt man den doppelt durchbohrten Gummistopfen mit dem Trichterrohre *T* und dem Ableitungsröhre *R* fest auf. Das Ableitungsröhre schneidet man dicht unter dem Stopfen ab, das Trichterrohr läßt man fast bis auf den Grund der Flasche, jedenfalls aber immer bis in die Flüssigkeit reichen. Alle Glasröhren schmilzt man an ihren Rändern rund, um das Anstecken von Schläuchen zu erleichtern.

Werden durch den Trichter einige Gramm verdünnte Schwefelsäure eingegossen, so beginnt sofort an den Zinkstäben eine heftige Wasserstoffgasentwicklung infolge eines interessanten chemischen Vorganges. Die Schwefelsäure nämlich besteht aus Wasserstoff und einigen anderen Substanzen, sogenannten Elementen, die zu dem Wasserstoff eine große Verwandtschaft haben und diesen festhalten. Das Zink wirkt nun als Störenfried, denn es zeigt sich, daß die Verwandtschaft zwischen ihm und den übrigen Elementen größer ist als zwischen diesen und dem Wasserstoff. Es macht daher kurzen Prozeß, verbindet sich mit den Gefährten des Wasserstoffs und stößt diesen in kleinen Bläschen

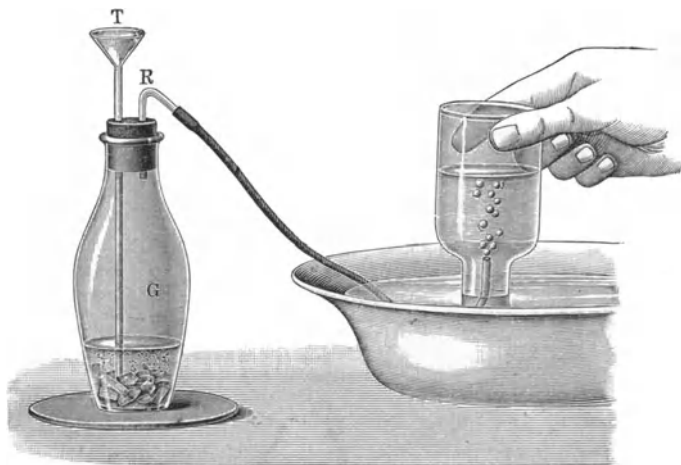


Fig. 166. Darstellung des Wasserstoffs.

heraus. Er erfüllt, die Luft verdrängend, allmählich die Flasche, aber es wäre mehr als leichtsinnig, wollte man gleich zu Anfang dem Ausflußröhrchen mit einem Streichholz zu nahe kommen, obgleich es sonst keinem Bedenken unterliegt, Wasserstoffgas zu entzünden. Denn die Luft enthält Sauerstoff, und wir wissen schon (S. 378), daß ein Gemenge von Sauerstoff und Wasserstoff nichts anderes ist als das gefährliche Knallgas, das sofort bereit wäre, die Flasche zu zertrümmern. Man wartet daher einige Minuten, bis man glaubt, alle Luft aus der Flasche vertrieben zu haben und verfährt auch dann noch unter gewissen Vorsichtsmaßregeln. Das Gas wird durch einen Gummischlauch in eine gewöhnliche, mit Wasser gefüllte Waschschüssel geleitet, die, solange

ſie dem chemiſchen Experimente dient, den vornehmen Namen „pneumatiſche Wanne“ erhält, und hier in einem mit Waſſer gefüllten und mit der Mündung unter Waſſer aufgerichteten Reagenzröhrchen aufgefangen. Verſchließt man dann das mit Gas gefüllte Röhrchen unter Waſſer mit dem Daumen, nimmt es heraus, dreht es um und nähert ſeiner Öffnung raſch ein brennendes Streichholz, ſo muß ſich das Gas leicht puffend entzünden und mit bläulicher, kaum ſichtbarer Flamme in das Reagenzröhrchen hineimbrennen. Solange ſich noch ein pfeifender Ton oder gar ein Knall hören läßt, hat man es mit Knallgas zu tun und muß noch warten.

Hat man ſich ſo davon überzeugt, daß alle Luſt vollkommen aus dem Apparat verdrängt iſt, ſo kann man das gebogene Abflußrohr mit einem längeren, geraden und zu einer Spitze ausgezogenen Glasrohr vertauſchen und das Gas an der Ausſtrömungsöffnung ohne Gefahr anſtecken. Es brennt mit faſt lichtloſer, aber ungemein heißer Flamme, die ſich nach kurzer Zeit jedoch durch den Natriumgehalt des Glaſes gelblich färbt. Hat man ein Stückchen eines alten, unbrauchbar gewordenen Gasglühlichtſtrumpfes zur Hand und hält dieſes in die Flamme, ſo ſtrahlt es geradezu blendendes Licht aus. Auch ein ganz fein zugespitztes Stückchen Kreide wird bis zur hellen Glut erhitzt. Hält man eine weite lange Glasröhre über das Flämmchen, ſo beginnt die Luſtſäule in ihr laut zu tönen. Dieſe „chemiſche Harmonika“ iſt jedoch unſeren Leſern wohlbekannt und bedarf hier keiner weiteren Erklärung (S. 142). Bemerkenswert ſind jedenfalls die kleinen Waſſertröpfchen, die ſich bei längerer Dauer des Verſuches an den kalten Wandungen anſetzen, denn ſie ſind das Verbrennungsprodukt des Waſſerſtoffgases, das ſich während der Flammenerſcheinung mit dem Sauerſtoff der Luſt verbindet und Waſſer bildet. Waſſer beſteht bekanntlich aus zwei Teilen Waſſerſtoff und einem Teil Sauerſtoff, wie es uns ſchon das Experiment der elektriſchen Waſſerzerſetzung gezeigt hat (S. 377).

Läßt die Gasentwicklung nach, ſo kann man ſie durch Nachgießen von Waſſer und etwas Säure vorübergehend wieder erhöhen. Schwimmen jedoch ſchon ſchwärzliche Flocken in der grau gewordenen Flüſſigkeit umher, ſo nützt auch dieſer Zuſatz nichts mehr; der Apparat muß, nachdem die Flamme gelöſcht iſt, auseinandergenommen, gereinigt und neu beſchickt werden. Filtriert man jedoch die gebrauchte Flüſſigkeit und läßt ſie in einem Schälchen oder einem Becherglaſe ſtehen, ſo kristallisieren ſchöne langgeſtreckte Nadeln aus, die allmählich das ganze Gefäß

ausfüllen. Es ist Zinkvitriol (giftig), die Verbindung des Zinkes mit dem Rest der Schwefelsäure.

Wasserstoff ist das leichteste der bekannten Gase und daher zur Füllung der als Charliären bezeichneten Luftballone vorzüglich geeignet (vgl. S. 54). Über die Verfertigung derartiger Gasballone sind wir bereits unterrichtet. Es empfiehlt sich nicht, die Kollodiumhüllen bei der Füllung direkt auf das Glasrohr der Flasche zu stecken, da durch dieses immer zerstörende Schwefelsäuredämpfe in den Ballon gelangen, vielmehr leitet man das Gas durch einen Schlauch und durch ein Stück Glasrohr ein.

Soll das Gas in größerer Menge zu anderen Zwecken aufgefangen werden, so bedient man sich wiederum der pneumatischen Wanne, indem man die zu füllenden Gefäße ganz mit Wasser anfüllt, sie dann mit einem Kartonblatt oder einer Glasplatte verschließt, umkehrt und erst öffnet, wenn die Mündung sich unter Wasser befindet. Das aufsteigende Gas verdrängt dann das Wasser und nimmt seinen Platz ein, worauf man wiederum verschließt und das Gefäß mit der Mündung nach unten aus der Wanne hebt. In dieser Stellung kann das leichte Gas, das ja nach oben drängt, am wenigsten schnell entweichen. Steckt man ein Stümpfchen Kerze an einen Metalldraht und fährt mit ihm von unten her schnell in das Gefäß — wir denken uns darunter eine Flasche mit weitem Halse —, so entzündet sich das Gas an der Mündung, während die Kerze im Innern der Flasche erlischt, woraus man den Schluß ziehen muß, daß Wasserstoff nur bei seiner Begegnung mit Sauerstoff brennbar ist.

Gefäße mit Wasserstoff aufzubewahren, ist auch bei bestem Verschuß nicht ratsam, da schon nach kurzer Zeit genug Luft eingedrungen ist, um

★ **Knallgas** zu bilden. Man weiß, daß es aus zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff besteht und in größter Reinheit und Explosivkraft mit Hilfe des elektrischen Stromes gewonnen werden kann. Wir beschränken uns darauf, beide Gase in geeigneter Weise miteinander zu mischen, indem wir den in der Luft enthaltenen Sauerstoff verwenden. Da die atmosphärische Luft ein Gemenge von einem Teil Sauerstoff und vier Teilen Stickstoff ist, wird man der Luft etwa $\frac{2}{5}$ ihres Volumens Wasserstoff hinzuzusetzen haben, um Knallgas zu erhalten. Man füllt daher ein Reagenzgläschen zu $\frac{2}{7}$ seiner Höhe mit

Wasser an, dreht es über der pneumatischen Wanne (alias Waschschüssel) um und leitet Wasserstoff ein, bis die $\frac{2}{7}$ Teile Wasser vertrieben sind, nicht länger. Nähert man dann schnell ein Streichholz der Öffnung, so erfolgt eine heftige, pistolenschußartige Explosion. Der Schreck ist dabei meist größer als die Gefahr, doch kann man die Röhre zur Sicherheit mit einem Tuch umwickeln und bis zur Entzündung die Öffnung mit dem Daumen zuhalten.

Die auf S. 344 beschriebene Knallgaskanone wird man sich durch Wasserfüllung nicht verderben wollen und begnügt sich daher damit, sie einige Augenblicke über die Mündung des Ausflußröhrchens zu halten. Durch einige Proben stellt man dann sehr bald das richtige Mischungsverhältnis fest. Den Stopfen setze man niemals allzu fest auf, da das Knallgas in geringeren Mengen und in Hüllen, die nicht zu fest sind, zwar knallt, aber keinen bedeutenden Schaden anrichten kann, während es in größerer Menge und gar zusammengepreßt die entsetzlichsten Zerstörungen hervorruft.

Sehr empfehlenswert, weil völlig ungefährlich, ist das Experiment in folgender Form. Man wählt als Explosionsgefäß ein solches, dessen umherfliegende Trümmer niemand Schaden zufügen können, nämlich eine Seifenblase, deren Wert als vielseitiges Demonstrationsmittel überhaupt noch lange nicht genug geschätzt ist. Zu mäßiger Größe aufgeblasen, hält sie sich auf wollener Unterlage längere Zeit, so daß man behutsam das gut mit Seifenwasser benetzte Zuführungsrohr in sie einführen und Wasserstoff zulassen kann. Das richtige Mischungsverhältnis wird sehr bald getroffen, und die Blase explodiert bei der Annäherung eines Streichholzes mit lautem Knall.

*** Sauerstoff.** Wie oben erwähnt, besteht die atmosphärische Luft in der Hauptsache aus vier Teilen Stickstoff und einem Teil Sauerstoff, zwei Gasen, die sich in bezug auf die Lebensfähigkeit der Menschen und der Tiere, man möchte sagen, geradezu entgegengesetzt verhalten. Denn Stickstoff wirkt vernichtend, Sauerstoff im höchsten Grade belebend auf die Atmung ein, ja er würde, rein eingeatmet, die Lebensfähigkeit ungemein heben, aber auch verkürzen. Auf das Blut in den Lungen wirkt er reinigend und erwärmend zugleich und tritt an Stelle der als giftig ausgeschiedenen Kohlensäure.

Man kann den Sauerstoff unschwer durch Erhitzung aus sauerstoffreichen chemischen Verbindungen austreiben. Es führen viele Wege

zum Ziel. Wir wählen den bequemsten und mischen auf einem Stückchen Papier vorsichtig und sehr gewissenhaft gleiche Teile von chlorsaurem Kali und Braunsteinpulver miteinander. Die Mischung, deren Gewicht insgesamt 20 g nicht überschreiten sollte, wird dann in einem Kochfläschchen untergebracht und dieses durch Stopfen und Abflußrohr verschlossen. Man stellt darauf das Kölbchen auf ein Dreibein aus Draht und erhitzt vorsichtig mit einem Bunsenbrenner oder einer Spirituslampe (Fig. 167). Von Zeit zu Zeit prüft man das ausströmende Gas mit einem glimmenden Streichholz und steckt, sobald sich das Hölzchen entzündet, was allemal die Entwicklung von Sauerstoff ankündigt, den Gummischlauch über die Abflußröhre und fängt das Gas in der bekannten Weise in der pneumatischen Wanne auf.



Fig. 167.
Die Darstellung des Sauerstoffs.

Man kann bei dem angegebenen Quantum mehrere Flaschen mit Sauerstoff füllen, die man bis zu den folgenden Versuchen so aufbewahrt, daß man sie mit der Öffnung nach unten in einer flachen Schüssel mit Wasser stehen läßt.

Bei der ganzen Operation ist doch einige Vorsicht nötig. Sauerstoff ist freilich nicht explosiv, entwickelt sich aber bisweilen so stürmisch, daß man schleunigst die Lampe, die man überhaupt am besten in der Hand hält, von dem Glaskölbchen entfernen muß. Erst wenn die Entwicklung merklich nachläßt, erhitzt man weiter. Die im Glase auftretenden Blitze rühren von verbrennenden Kaliteilchen her und sind weiter nicht gefährlich, wenn sie nicht zu massenhaft auftreten, was bei unverständlich starker Erhitzung vorkommen kann. Will man die Entwicklung unterbrechen oder läßt die Gaslieferung so nach, daß weitere Ausbeute nicht mehr zu erhoffen ist, so denke man sofort daran, den Schlauch aus der Wanne zu ziehen, da anderen-

falls das Wasser in die sich abkühlende Flasche steigen und diese zersprengen würde.

So wie die Lebensfähigkeit, wird auch die Flamme durch Sauerstoffzufuhr unterhalten, ja man kann sagen, daß die Verbrennung nichts ist als ein Verbindungsvorgang des Sauerstoffs mit dem verbrennenden Körper. Wir werden sehen, wie bei reichlich vorhandenem Sauerstoff selbst Körper zur Verbrennung kommen, denen wir dies niemals zugetraut hätten und daß zweifellos alle Feuer, alle Brände auf der Erde zu unheimlicher, alles vernichtender Gewalt anwachsen würden, wenn der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre ein höherer wäre. Ein Feuer wirkt gerade so wie die Lunge eines im engen fest verschlossenen Zimmer Schlafenden; es entzieht der Umgebung den Sauerstoff und erstickt schließlich durch seine eigene Tätigkeit. Es ist kein Feuer im Herde ohne Zug zu unterhalten und dieser Zug bezweckt nichts anderes, als fortdauernd die Kohle mit neuer Luft und neuem Sauerstoff zu umgeben. Für die Gluten des Schmiedefeuers und der Hochöfen, wo die Temperatur höchste Grade erreichen soll, bedarf es dazu besonderer Gebläse. Wer kennt nicht den Wind als unheimlichen Förderer der Feuersbrünste?

Will man Körper im reinen Sauerstoff verbrennen, so bedeckt man die Mündung einer der gefüllten Flaschen, die nicht zu klein sein sollten, unter Wasser mit einem gut anschließenden Kartonblatt oder einer Glasscheibe, richtet sie auf und hängt an einem krummgebogenen Eisendraht die zu untersuchenden Körper in das Gas. Es bietet nicht jeder derselben etwas besonderes. Wir empfehlen, Substanzen zu wählen, die wir für gewöhnlich an freier Luft nur glühen zu sehen gewohnt sind, wie Kohle, ein Stückchen Schwamm, eine Zigarre und ähnliches. Sowie sie nur im geringsten glimmend in den Sauerstoff kommen, entzünden sie sich und brennen so lange, bis keine Substanz oder kein Sauerstoff mehr vorhanden ist: Kohle mit einer rotgelben, Schwamm mit einer bläulichen Flamme.

Überraschend in höchstem Maße aber ist es, Stahl brennen zu sehen. Man befestigt an dem unteren Ende einer dünnen Laubsäge ein Stückchen Schwamm, das, glimmend, dazu dienen soll, die Verbrennung einzuleiten. Das andere Ende steckt man durch einen Kork, mit dem nach Einführung der Säge die Flasche verschlossen wird. Zunächst geht der glimmende Schwamm in Flammen auf, dann gerät die Stahlsäge in Weißglut und brennt — eigentlich schmilzt —, nach allen

Seiten prächtige Funkenfarben werfend, ab. In dem Maße, wie sie kürzer wird, schiebt man sie durch den Kork nach. Zweierlei ist zu dem Gelingen des prächtigen Experimentes nötig, das eine unbedingt, das andere nicht unbedingt und nur zur Sicherheit. Die Flasche sollte sowohl möglichst groß sein, um genügend Sauerstoff aufzunehmen, als auch auf ihrem Boden eine etwa daumenbreite Schicht von Wasser enthalten. Mit kleinen Flaschen gelingt das Experiment nur unvollkommen, und das Wasser ist nötig, da die schönen umhersprühenden Sterne kleine Kügelchen geschmolzenen Stahles sind und sich tief in das Glas ein-

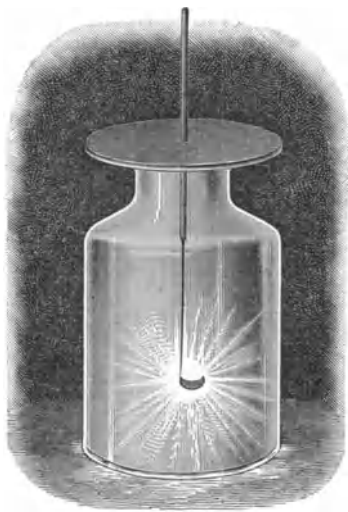


Fig. 168.

Phosphor in Sauerstoff brennend.

fressen, ja die Wandungen durchbohren oder zersprengen können. In der Hauptsache fallen sie auf den Boden und hier findet man sie selbst noch mit dem Glase verschmolzen, nachdem sie die Wasserschicht durchfallen haben. Soll die Flasche dadurch nicht unansehnlich werden, so bedeckt man am besten für dieses Experiment den Boden der Flasche mit Sand und gießt noch Wasser darüber.

Schwefel verbrennt in Sauerstoff mit schöner blauer Flamme. Man hängt ihn jedoch nicht an dem Draht in das Glas, von dem er abtropfen würde, sondern verwendet für dieses und das folgende Experiment ein kleines

Puppenlöffelchen aus Blech, dem man einen aufwärts gebogenen Draht als Handhabe annietet. Der Schwefel wird in das Löffelchen gelegt und über einer Flamme so lange erhitzt, bis er schmilzt und sich entzündet. Darauf bringt man ihn schnell in den Sauerstoff. Auch hier ist es zweckmäßig, während der Verbrennung die Flasche mit einem Kork oder, wenn sie einen weiten Hals hat, mit einem Kartonblatt zu schließen.

Die glänzendste Erscheinung bietet in Sauerstoff verbrennender Phosphor. Leider ist Phosphor ein ungemein gefährlicher Körper, da seine Verwandtschaft zu dem Sauerstoff so groß ist, daß er sich, an freier Luft liegend, von selbst entzünden kann. Man bewahrt

ihn daher unter Wasser auf, schneidet von ihm, ebenfalls unter Wasser, ein erbsengroßes Stück los — niemals mehr als man braucht —, holt es mit der Messerspitze heraus und trocknet es an dieser mit Fließpapier ab, ehe man es in den Verbrennungslöffel bringt. Mit den Fingern berühre man den Phosphor gar nicht, denn er ist tödtlich und die durch ihn verursachten Brandwunden sind fürchterlich.

Man entzündet den Phosphor mit einem glühenden Drähtchen und stößt ihn dann schnell in eine große mit Sauerstoff gefüllte Flasche hinab, die man sogleich zudeckt (Fig. 168).

Der Glanz ist wahrhaft unerträglich, und auch die sich bald in reichlichem Maße entwickelnden, weißen Wolken (aus Phosphorsäure bestehend) sind von innen heraus noch so kräftig erleuchtet, daß ihre Leuchtkraft nur von der des elektrischen Bogenlichtes und der Sonne übertroffen wird. Stellt man das Experiment des Abends an, so ist es, als wären alle Lampen plötzlich ausgelöscht und als ginge allein vom brennenden Phosphor der tageshelle Glanz aus. Die Schatten erscheinen trotz der anderen Lichtquellen grell und tiefschwarz. Erlischt der Glanz, so glaubt man im Finstern zu stehen oder erblindet zu sein, da man anfangs im hell erleuchteten Zimmer nichts sieht, bis sich erst ganz allmählich die ermüdeten und überreizten Nerven an die Dunkelheit gewöhnen und sich die Gegenstände gleichsam aus der Finsternis herauslösen.

*** Feuererscheinungen unter Wasser.** Von der großen chemischen Verwandtschaft des Phosphors zum Sauerstoff wurde soeben gesprochen. Sie wird um so größer, je stärker der erstere erwärmt wird und kann leicht zu folgendem überraschenden Versuch benutzt werden. Man füllt ein Gläschen mit warmem Wasser und wirft ein kleines Stückchen Phosphor hinein. Es erhält dadurch eine Temperatur, bei der es sich an der Luft sofort entzünden würde. Bläst man daher durch ein Glasröhrchen einen Luftstrom gegen das warme Phosphorstück, so wird man fortdauernd kleine weißlich leuchtende Blitze an ihm bemerken. Auch an dieser Stelle mag Vorsicht in der Behandlung des Phosphors noch einmal anempfohlen sein.

Eisen in freier Luft verbrennen zu lassen. Wir sahen Stahl in einer Sauerstoffatmosphäre bis zur Schmelztemperatur erhitzt und konnten nach dem ganzen Aussehen der Erscheinung wohl von einer

Art Verbrennung reden. Um eine solche handelt es sich hier auch, aber nicht von Stahl, sondern von Eisen und auch nicht in reinem Sauerstoff, sondern in gewöhnlicher atmosphärischer Luft. Wer hätte wohl schon einmal Eisen an freier Luft ohne Zutat einer erhitzenden Flamme glühen oder gar verbrennen sehen? Ein festes Stück Eisen sicherlich nicht, denn es bietet dem Angriff des in der Luft so wie so schon in geringem Maße enthaltenen Sauerstoffs nur eine geringe Angriffsfläche. Vergrößert man jedoch seine Oberfläche künstlich, indem man es fein in der Luft verteilt, so schafft man dem Sauerstoff vielfachen Zutritt und erzielt eine intensivere Verbrennung, gerade wie bei einem Kienspan, den man zum Feueranmachen zerspaltet.

In feinsten Form kennen wir das Eisen als Eisenpulver. Man hängt ein Büschel davon an einen Magnet und hat dann gleichsam einen Eisenschwamm vor sich, der sich mit Luft — und also auch mit Sauerstoff — vollgesaugt hat. Allerdings ist bei gewöhnlicher Temperatur die Verwandtschaft des Sauerstoffs zum Eisen nicht so groß, als daß eine Verbrennung einträte. Es genügt jedoch, nur einen Augenblick mit einer Flamme über das Büschel hinzufahren, um die Eisenteilchen am Rande bis zur Rotglut zu erhitzen. Der Sauerstoff tut dann das Übrige und wir sehen in der Tat die Erhitzung von Teilchen zu Teilchen übergehen und die Glut den Eisenhaufen gleichsam durchstößern. Senkt man das glimmende Büschel in eine Flasche mit reinem Sauerstoff, so erlebt man das schönste Feuerwerk im kleinen.

Ausgebrannte Silhouetten. Man gibt Kali-Salpeter in ein halbes Weinglas voll Wasser, bis sich nichts mehr davon löst. Darauf entwirft man auf rauhem, ungeleimtem Papier eine nicht zu kleine Umrisszeichnung mit Bleistift und zieht sie mit einem Tuschpinsel nach, den man in die Salpeterlösung getaucht hat. Man sorgt ferner dafür, daß die Umrisszeichnung rings geschlossen ist. Reibt man nach dem Trocknen den Bleistiftstrich vorsichtig heraus, so sieht man gar nichts von der Zeichnung. Salpeter wirkt sehr stark oxydierend (Oxygenium = Sauerstoff). Mit Salpeter getränkte Gegenstände sind daher ungemeyn verbrennlich, so hier das Papier an den Stellen, wo es die unsichtbare Salpeterzeichnung enthält. Tupft man daher mit einem glimmenden Streichholz auf den Salpeterstrich (man muß sich irgend eine Stelle mit Bleistift oder durch eine eingesteckte Nadel merken), so brennt die Zeichnung mit großer Geschwindigkeit ringsherum ab

und das Innere des Bildes fällt heraus. Hat man vorher das Papier vor einen dunkeln Hintergrund gehängt, so erscheint also plötzlich eine schwarze Silhouette.

Kohlen Säure ist ebenfalls in der atmosphärischen Luft enthalten, aber erstickend und giftig auf die Lunge wirkend, die den Ueberschuß von Kohlen Säure aus dem Blut absondert, unwillig von sich stößt und ihn der Pflanzenwelt zuweist, der dies Gas zum Atmen unentbehrlich ist.

Kohlen Säure ist in unserem Sinne kein interessantes Gas, denn es lassen sich glänzende Experimente mit ihr kaum ausführen. Vor allem ist es ausgezeichnet durch seine Schwere, die es stets am Boden derjenigen Räume verweilen läßt, in denen es sich entwickelt. Wir konnten eine mit Luft gefüllte Seifenblase auf ihm schwimmen lassen (vgl. S. 108) und brauchen wegen eben dieser Schwere auch keine pneumatische Wanne, um es aufzufangen. Es genügt, von dem Entwicklungsapparat eine Glasröhre bis auf den Grund eines hohen, nicht zu weiten Gefäßes herabgehen zu lassen. Das eintretende Gas füllt dieses von unten her an, indem es die Luft nach oben vertreibt. So kann man mehrere Standgläser (hohe Einmachegläser) mit Kohlen Säuregas anfüllen und durch einfaches Zudecken mit einem Kartonblatt einige Zeit aufbewahren, ohne eine Verflüchtigung, wie bei dem Wasserstoff und dem Sauerstoff, befürchten zu müssen.

Die Entwicklung der Kohlen Säure geschieht in der schon bei der Darstellung des Wasserstoffs beschriebenen Flasche, nur daß sie jetzt mit Kreide- oder Marmorstückchen statt der Zinkstückchen besetzt wird und einen Aufguß von verdünnter Salzsäure erhält. Das Gas entwickelt sich sofort unter Brausen, da die Säure sich sehr heftig mit dem Kalk — Marmor ist kohlensäurer Kalk — verbindet und die Kohlen Säure freimacht.

Übrigens entwickelt sich Kohlen Säure bei jeder Verbrennung von Kohle an der Luft und ist, in größerer Menge eingeatmet, unbedingt tödlich. Man erzählt, daß zur Zeit der französischen Revolution sogar Hinrichtungen mit ihr ausgeführt wurden, indem man die Delinquenten zwang, einen kleinen Raum zu betreten, in dem ein offenes Kohlenfeuer brannte. Doch auch durch Unvorsichtigkeit kommen Unglücksfälle, ja sogar Todesfälle genug vor, denn das Gas entwickelt sich häufig in den Bergwerken und Brunnen Schächten und wehe dem, der in sein Bereich kommt. Am bekanntesten, und berüchtigsten zugleich, ist die Hundsgrotte

bei Neapel, auf deren Boden sich das Gas, einem unsichtbaren See vergleichbar, aufhäuft. Auch in Deutschland gibt es Kohlensäuregrotten, z. B. bei Pyrmont in Westfalen, überhaupt dort, wo die Gegend einen vulkanischen Charakter trägt. Und doch gibt es ein verhältnismäßig einfaches Mittel, die Anwesenheit der Kohlensäure festzustellen: Jede Flamme erlischt in ihr augenblicklich und man braucht nur eine brennende Kerze in einen Brunnen schacht herabzulassen, um Auskunft über die Beschaffenheit der Luft in ihm zu erhalten. Erlischt die Laterne beim Betreten eines Kellers, in dem Bier oder Wein in Gärung begriffen ist, so ist höchste Gefahr im Verzuge, denn auch bei diesem Prozesse wird Kohlensäuregas in großen Mengen frei.

Und doch ist — so sonderbar es auch klingt — die Kohlensäure dem Menschen zum Leben unentbehrlich, da er sie täglich, im Wasser, im Bier und Wein, in nicht unbedeutender Menge zu sich nimmt. Es scheint, als wäre sie, in kleinen Mengen für die Lunge schon verderblich, für den Magen selbst in größeren nicht unbedenklich, ja sogar der Verdauung dienlich.

Versuche mit Kohlensäure. Ein Licht mit einem unsichtbaren Gase auszugießen. Selbstverständlich ist das angekündigte unsichtbare Gas die Kohlensäure. Man befestigt auf einer Pappscheibe mehrere Lichte von ungleicher Größe und versenkt diese auf den Boden eines hohen, nicht zu breiten Einmacheglasses, worauf man mit einer langen, ganz herabreichenden Glasröhre Kohlensäure aus der Entwicklungsflasche in das Glas eintreten läßt (Fig. 169). Sie sammelt sich auf dem Boden und dann steigt ihre Oberfläche mehr und mehr, um ein Flämmchen nach dem andern, vom kleinsten anfangend, zu ersticken.



Fig. 169. Kerzenflammen ersticken in aufsteigendem Kohlensäuregas.

Da die Kohlensäure schwerer ist als die Luft, kann man sie mit einiger Vorsicht und bei ruhiger Luft von einem Gefäß in das andere herübergießen. Eine sehr empfindliche Wage, auf der das zweite Gefäß steht, wird dabei sogar einen deutlichen Ausschlag im Sinne zunehmen-

den Gewichtes geben. Gießt man aus einem großen Gefäß, gerade so, als handele es sich um eine Flüssigkeit, Kohlensäure über eine Kerzenflamme, so wird sich diese sofort zusammenducken, als habe sich ein fester Gegenstand auf sie gelegt. Sowie die Gasmenge aber zunimmt, verlischt das Licht ebenso, als hätte man es in das Gas selbst getaucht (Fig. 170).

Eine wasserklare Flüssigkeit in eine milchähnliche zu verwandeln. Man löst einige Stückchen gewöhnlichen Kalkes in Wasser auf und erhält nach dem Filtrieren eine wasserklare Flüssigkeit, die man auch zu späteren Versuchen vorrätig halten kann. Leitet man dann einen Strom von Kohlensäuregas in das Kalkwasser, so trübt sich dieses sofort und zeigt schließlich ein milchiges Aussehen. Kalkwasser ist überhaupt eines der empfindlichsten Mittel zum Nachweis der Kohlensäure, und es genügt schon, mit einem Röhrchen die aus den Lungen kommende Luft durch die Flüssigkeit zu blasen, um eine Trübung zu erzielen.



Fig. 170. Ausgießen einer Kerze mit Kohlensäuregas.

Die Farben Schwarz, Weiß, Rot zu erzeugen durch Eingießen einer wasserklaren Flüssigkeit in drei andere ebenso beschaffene. Bei chemischen Vorgängen handelt es sich wirklich um eine Neuschaffung von Körpern, deren Eigenschaften gänzlich verschieden sein können von denjenigen ihrer Bestandteile. Schwefel hat die Eigenschaft zu brennen, Eisenpulver diejenige, von einem Magnet angezogen zu werden, die Verbindung beider jedoch, das Schwefeleisen, ist weder brennbar noch magnetisch. Träufelt man einige Tropfen von einer Höllensteinlösung in Salzwasser, so entsteht ein völlig giftfreier, milchiger Niederschlag, obgleich Höllenstein ein starkes Gift ist, ja man kennt gänzlich unschädliche Substanzen, die aus nur giftigen Körpern entstanden sind, und umgekehrt Gifte aus Bestandteilen völlig

harmloser Natur. Man kennt auch Farben, deren Bestandteile völlig farblos sind, und andererseits farblose Flüssigkeiten, entstanden aus der Zusammenmischung zweier Farbenbestandteile. Von derartigen interessanten Dingen soll nun die Rede sein.

Man löst in zwei getrennten Flaschen voll Wasser etwas Eisenvitriol und gelbes Blutlaugensalz auf. Die erstere Lösung wird eine grünliche, die andere eine gelbliche Farbe aufweisen. Darauf gießt man von jeder etwas in ein Glas (am besten nehmen sich kelchförmige Stengelgläser zu den Versuchen aus) und füllt jedes von ihnen mit Wasser bis zur Hälfte auf. Ist dann noch nicht alle Färbung verschwunden, so gießt man etwas von dem Inhalt aus und schüttet wieder Wasser nach. Beide Flüssigkeiten machen dann durchaus den Eindruck klaren Wassers, ergeben jedoch beim Zusammengießen eine Flüssigkeit von prachtvoll blauer Farbe (sogenanntem Berliner Blau).

Noch überraschender ist der Versuch, auf den sich die Überschrift des Paragraphen bezieht. Es werden drei Lösungen, nämlich von Rhodankalium, Gerbsäure (Tannin) und salpetersaurem Silber (Höllenstein) hergestellt und, damit man sie stets zur Hand hat, in Flaschen aufbewahrt. Da man nachher doch stark verdünnt, ist es ziemlich gleichgültig, wie stark die Lösungen sind. Auf Viertelliterflaschen genügt es, zwei Löffel voll Rhodankalium, ebensoviel Gerbsäure und einen Höllensteinlöffel (vom Drogisten) zu nehmen. Schließlich setzt man noch in einer vierten Flasche Eisenchlorid an und verwendet davon so viel, daß die Lösung deutlich gelb gefärbt ist.

Für den Versuch verdünnt man die Lösungen in vier Gläsern so weit, daß wenigstens bei Lampenlicht eine Färbung nicht mehr zu erkennen ist. Die Gläser werden zu dreiviertel gefüllt und in folgender Reihenfolge aufgestellt: Tanninlösung, Lösung von Höllenstein, Rhodankaliumlösung. Darauf gießt man in jedes etwas von der ebenfalls farblosen Eisenchloridlösung hinein und erhält in dem ersten Glase eine schwarze, in dem zweiten eine weiße und in dem dritten eine schön rote Färbung: die alten deutschen Farben. Auf jeden nicht mit chemischen Kenntnissen ausgerüsteten Zuschauer wird dies Experiment einen großen Eindruck machen müssen.

Entstehen und Verschwinden einer blauen Farbe. Man bringe ein wenig Stärkemehl mit viel Wasser zum Kochen und setze dann etwas Jodnatriumlösung hinzu. Ist diese rein genug, so wird

keine Färbung auftreten. Man läßt erkalten und setzt dann einen Tropfen Schwefelsäure hinzu, wodurch sogleich eine blaue Färbung entsteht. Kocht man jedoch etwas von der Flüssigkeit in einem Reagenzglaschen, so wird sie sofort farblos. Nach dem Erkalten kehrt die Farbe wieder, verschwindet bei der Erwärmung uff.

Die Erklärung des Versuches ist ein wenig verwickelt. Iod hat die Eigenschaft, heiße Stärke blau zu färben, es ist jedoch im Jodnatrium zu fest an das Natrium gebunden, als daß es seinem Wunsche nachkommen könnte. Durch die Schwefelsäure wird es jedoch aus seiner Verbindung befreit.

*** Tinte (scheinbar) in Wasser zu verwandeln.** Wir sahen bereits eine Gerbstofflösung und eine Eisenlösung miteinander eine schwarze Flüssigkeit bilden, die nicht nur wie Tinte ausseh, sondern wirklich Tinte war, mit der man bei genügender Konzentration der Bestandteile schreiben konnte. In der That ist unsere Schreibtinte nichts anderes als eine Verbindung von Gerbstoff und Eisenoxyd, man kann sie sich also ohne viele Mühe selbst bereiten. Aus der Zusammensetzung geht aber auch hervor, daß man die Tinte entfernen kann, wenn man die Verbindung durch den Zusatz einer anderen zersezt. Hierzu eignet sich vorzüglich starke Schwefelsäure oder Keesäure (giftig!). Um nicht allzu große Quantitäten von beiden verwenden zu müssen, ist es ratsam, für den Versuch die Tinte reichlich durch Wasserzusaß zu verdünnen. Der Säurezusaß erfolgt unter stetem Umrühren. Soll die farblose Flüssigkeit wieder in Tinte zurückverwandelt werden, so genügt es, Ammoniakflüssigkeit hinzuzusezen und stark umzurühren. Sie verbindet sich nämlich mit der Säure und gibt so der Gerbsäure und dem Eisen wieder Gelegenheit, sich miteinander zu vereinigen.

Eine Flüssigkeit durch Zusaß von zwei farblosen Flüssigkeiten rot oder blau zu färben. Das Experiment des vorigen Paragraphen war insofern ganz besonders lehrreich und interessant, als es zeigte, daß sich Schwefelsäure und Ammoniak gewissermaßen entgegensezt verhalten und geeignet sind, sich in ihrer Wirkung gegenseitig aufzuheben. Sie sind jedoch nur die Vertreter zweier großer Gruppen von Körpern, die dasselbe Verhalten zeigen und von den Chemikern als Säuren und Basen bezeichnet werden. Ihre Wirkung läßt sich an folgendem Experiment besonders schön zeigen.

Man hält in einer Flasche eine Lösung von einem, unter der Bezeichnung Lackmus künstlichen Farbstoff vorrätig und setzt von dieser so viel auf ein Reagenzglas voll Wasser zu, daß eine ausgesprochen rotblaue Färbung entsteht. Darauf fügt man einige Tropfen Schwefelsäure hinzu, verschließt das Röhrchen mit dem Daumen und schüttelt den Inhalt, worauf er sofort eine kirschrote Färbung annimmt. Durch Zusatz von Ammoniak wird die Lackmüstinktur intensiv blau, durch Säure wiederum rot. Eine Umwandlung, die man so oft vornehmen kann wie man will. Unsere Leser ersehen hieraus, daß Lackmüstinktur, oder auch mit solcher gefärbtes Papier, durch seine Farbenveränderung ein vorzügliches Mittel abgibt, um die Anwesenheit von Säuren oder Basen zu erkennen. Wir werden später sehen, daß durch die Vereinigung von Basen und Säuren eine dritte Hauptgruppe von Körpern (Salze genannt) entsteht, deren Eigenschaften von denen der Säuren und Basen durchaus verschieden sind.

Eine grüne Flüssigkeit in eine rote zu verwandeln und umgekehrt. Die Erklärung dieses Experiments müssen wir uns hier leider versagen, da sie für unsere Leser zu schwierig ist. Der Versuch ist schön und sehr leicht anzustellen. Man löst etwas mangansaures Kali in einer reichlichen Menge kalten Wassers auf, wodurch dieses eine wundervoll grüne Farbe annimmt. Sie verwandelt sich durch Zusatz weniger Tropfen Salpetersäure und Umrühren in Hochrot (Vorsicht!). Will man die ursprünglich grüne Färbung wieder herstellen, so genügt es, etwas erwärmte Kalilösung hinzuzufügen. Derselbe Prozeß kann beliebig oft wiederholt werden.

*** Farbenänderungen durch Erhitzung.** Man löse das bekannte blaue Kupfervitriol in Wasser auf und verdünne die Lösung ziemlich stark, worauf man so lange von der Lösung kauftischen Kalis zusetzt, bis auch nach mehrfachem Umschütteln der schöne blaue Niederschlag nicht weiter zunimmt. Hierauf setze man etwas von einer Traubenzuckerlösung hinzu, wodurch die Färbung nicht verändert wird. Erwärmt man jedoch etwas von dieser Flüssigkeit in einem Reagenzglase, so zeigt sich sehr bald eine ausgesprochen orange oder rote Färbung.

Unterhaltende Anwendung der vorigen Versuche. Nach dem vorher Gesagten sind wir der Mühe enthoben, für jeden der folgenden Versuche eine besondere Erklärung zu geben. Sie beruhen

sämtlich auf der chemischen Vereinigung zweier oder mehrerer Substanzen und der dadurch hervorgerufenen Bildung von Farbstoffen.

Mit einer farblosen Flüssigkeit (scheinbar Wasser) Tintenschrift hervorzubringen. Man löst reines, nicht gelb gewordenes, Eisenvitriol in Wasser auf und verdünnt so weit, daß die Lösung so gut wie farblos erscheint. Man gibt sie für reines Wasser aus, taucht die Feder hinein und erklärt, mit dieser schwarze Schrift hervorbringen zu wollen, die auch wirklich auf dem Papier erscheint. Sie ist in bester Form durch Tinte verursacht, denn das Schreibpapier war vor dem Versuche mit einer klaren und völlig farblosen Tanninlösung (Gerbsäure) bestrichen worden. Läßt man einen Tropfen der wasserklaren Schreiblösung auf das Papier fallen, so entsteht ein Tintenfleck.

Wie die rein gewaschenen Hände an einem sauberen Handtuch schwarz werden können. Dieser chemische Scherz ist freilich recht unterhaltend und überraschend, aber eigentlich auch etwas unnütz, da die als schwarz bezeichnete Farbe Tinte ist und das Handtuch unfehlbar vernichtet. Man begnüge sich daher zum Abtrocknen mit einem alten Leinwandlappen, der zwar sauber ist, dessen Wert aber durch einen gehörigen Tintenfleck nicht mehr verringert wird.

Das Experiment beruht auf der schon bekannten Tintenbildung aus Gerbsäure und Eisenlösung. Man tränkt das Tuch mit einer sehr verdünnten Lösung von Eisenvitriol (salpetersaurem Eisenoxyd), läßt es trocknen und reißt es dann gehörig durch, damit es weder durch Farbe noch Steifheit seine Vorbehandlung verrät. Dem Waschwasser setzt man so viel Tanninlösung hinzu, als es aufnehmen kann, ohne durch seine gelbe Färbung verdächtig zu werden. Berührt die nasse Hand das Tuch, so wird sie sowie das Tuch, bald voller Tinte sein, die immer reichlicher auftritt, je mehr man sie abzuwischen versucht, und deren räthselhaftes Erscheinen sich so leicht niemand erklären wird.

Mit derselben Farbe blau und rot zu malen. Dieser hübsche und wirklich überraschende Versuch stützt sich auf das Farbenverhalten der Lackmüstinktur den Säuren und Basen gegenüber. Wir geben ihn in der niedlichen Form wieder, die ihm Zimmermann gegeben hat, wobei wir uns zum Teil seiner eigenen Worte bedienen:

Der Experimentator bestreicht die eine Hälfte eines Blattes Papier mit sehr verdünnter Schwefelsäure und läßt es trocken werden. Er

hält dann eine kleine Rede und erklärt, daß die Malerkunst seit den Zeiten des griechischen Meisters Apelles, der es verstanden habe, die herrlichsten Bilder mit nur drei Farben zu malen, doch sehr herabgekommen sei, und daß er allein, wenigstens was das Technische anbeträfe, es dem großen Maler nachtun könne, denn er erbiete sich, mit derselben Farbe, ja mit demselben Pinselstrich blau und rot zu malen. Die Farbe ist nichts anderes, als durch Ammoniakflüssigkeit blau gefärbte Lackmustrinktur. Streicht man mit dieser über das präparierte Papier, so werden die Striche überall dort, wo es angesäuert ist, rot, an den anderen blau erscheinen. Hat man sich zu diesem Experiment mehrere Papiere vorbereitet oder verschiedene, genau bekannte Stellen desselben Blattes mit verschiedenen Chemikalien überstrichen, so kann man auch erklären, daß man mit seiner Kunst noch keineswegs zu Ende sei und ebensogut auch gelb und braun, statt rot und blau malen könne. Ein frischer Pinsel wird dann in Curcumalösung getaucht und über eine mit Pottaschelösung imprägnierte Stelle geführt. Hat man vorher auf dem Papier eine Umrißzeichnung in leichten Bleistiftlinien entworfen und passend mit Chemikalien behandelt, so kann man sie mit zwei Pinseln auskolorieren und mit den genannten vier Farben schon ganz hübsche Effekte erzielen. Dem Einwande, daß etwa in dem Pinsel zwei verschiedene Farben vorhanden seien, die nacheinander ausfließen, und daß zuerst immer das Gelbe und dann das Braune, oder zuerst das Blaue und dann das Rote zum Vorschein komme oder umgekehrt, kann man leicht begegnen, wenn man zuerst über das reine Papier und dann über die präparierte Stelle fährt. Man kann dann auch mit dem blauen Pinsel bloß rot malen, indem man immer auf der gesäuerten Stelle bleibt, oder bloß blau, wenn man sie vermeidet.

Viel veränderlicher noch ist Weilsenjaft. Man kann mit ihm allein ein ganzes Gemälde herstellen, denn er erscheint auf reinem Papier blauviolett, auf gesäuertem lebhaft rot, auf alkalischem (mit Kali oder Natron getränktem) Papier sehr schön grün, auf einer mit Eisenbitriollösung bestrichenen Stelle schwärzlich.

Es versteht sich von selbst, daß man diesen Versuchen noch manche andere Form geben kann.

*** Eine rote Rose in eine weiße, darauf in eine grüne und schwarze zu verwandeln.** Man setzt einige rote Rosen unter einer Glasglocke den Dämpfen brennenden Schwefels aus, wodurch sie

zuerst unansehnlich, schiefzig, schließlich aber ganz weiß werden. Man nimmt dann eine von ihnen und taucht sie in verdünnte Schwefelsäure, wodurch das alte Rot wieder hergestellt wird. Eine zweite wird in Bleiessiglösung getaucht, was ihr eine grüne Farbe verleiht, eine dritte erst in eine verdünnte Sodaaflösung, dann in eine Eisenvitriollösung gehalten, worauf sie fast schwarz wird. Die weißen, roten, grünen, schwarzen Rosen stellt man zu einem Strauß zusammen.

Statt der Rosen eignen sich auch noch Veilchen und Malven zur Umfärbung. Befeuchtet man die Veilchen und bringt sie in den Dampf, der von konzentrierter Salzsäure aufsteigt, so werden sie rot. Den Dämpfen von Ammoniakflüssigkeit ausgesetzt, werden sie grün, und weiß über Bleikalk, dem man ein wenig Salzsäure zugesetzt hat.

Von den Malven sind vorzüglich die dunkelblauen für den Versuch geeignet. Sie werden, wie die Rosen, in Schwefeldämpfen gebleicht, in verdünnter Schwefelsäure prachtvoll rot. Die farblose Malve wird in Bleizuckerlösung (sehr giftig!) dunkelgrün, in Pottasche oder Sodaaflösung hellgrün und endlich in verdünnter Schwefelsäure wieder rot.

Unter **sympathetischen Tinten** versteht man solche, die für gewöhnlich unsichtbar sind und dann durch eine geeignete chemische Behandlung oder durch Erwärmung zum Vorschein kommen. Nach dem vorher Gesagten kann es unseren Lesern gar nicht schwer fallen, selbst derartige „Geheimtinten“ zu erfinden. Um ihnen jedoch das Umherprobieren zu ersparen, mögen hier die bewährtesten Rezepte noch einmal zusammengestellt sein.

A. Tinten, die durch Behandlung mit einer Flüssigkeit oder durch die Einwirkung von Dämpfen sichtbar werden.

★ **Weißer Tinte.** Eine Lösung von essigsaurem Bleioryd (giftig!) läßt sich erforderlichenfalls durch Zusatz von etwas Essigsäure klären. Mit dieser Lösung hervorgebrachte Schrift ist selbst auf farbigem Papier fast unsichtbar, wird jedoch durch Eintauchen in verdünnte Salzsäure sofort weiß.

Blaue Tinte. Man schreibt mit einer sehr verdünnten Lösung von gelbem Blutlaugensalz auf nicht zu glattem Papier. Die Schriftzüge sind fast unsichtbar, treten jedoch schön blau hervor, sobald sie mit einer Lösung von Eisenvitriol überfahren werden.

Schwarze Tinte. Die Schrift wird mit einer stark verdünnten Tanninlösung gemacht und nach dem Trocknen mit Eisenvitriollösung überfahren.

B. Tinten, die durch Erwärmung sichtbar werden.

Alle Verfahren sind sehr einfach, mit denen durch starke Erwärmung dauernd sichtbare Schriftzüge hervorgerufen werden. Interessanter, aber auch schwieriger herzustellen sind Schriftzüge, die nach dem Erkalten wieder verschwinden.

Schwarze Tinte. Bei Anwendung sehr verdünnter Schwefelsäure als Tinte entstehen fast farblose Schriftzeichen, die bei der Erwärmung des Blattes über einer Lampe deutlich hervortreten, jedoch nicht wieder verschwinden. Zitronensaft leistet fast dieselben Dienste wie Schwefelsäure. Die Schrift erscheint durch eine Verkohlung des Papiers. Nicht so gut, aber immerhin brauchbar ist Milch, doch dürfte es kaum gelingen, mit ihr völlig unsichtbare Zeichen zu machen.

Rosenrote Tinte. Eine nicht zu starke Lösung von Kobaltoxydul gibt auf dem Papier nur schwach gefärbte Spuren, die nach dem Trocknen meist völlig unsichtbar werden. Erwärmt man sie jedoch vorsichtig über einer Lampe oder in einer warmen Ofenröhre, so kommen sie mit prächtig rosenroter Farbe zum Vorschein, um nach dem Erkalten wieder zu verschwinden. Geht die mäßige Erwärmung einmal in zu starke Erhitzung über, so bleiben die Schriftzüge mit bräunlichem Ton stehen.

Blaue Tinte. Es wird mit einer Lösung von salzsaurem Kobaltoxydul (Chlorkobalt) geschrieben. Die Schrift erscheint bei der Erwärmung mit blauer Farbe, verschwindet beim Erkalten, kehrt beim Erhitzen wieder usw. Schließlich bleibt sie jedoch schwach gelb sichtbar.

Grüne Tinte. Oft genug erhält man bereits bei der vorigen Präparierung grünliche Farbentöne. Sie zeigen an, daß der Chlorkobalt verunreinigt ist. Man kann jedoch aus der Not eine Tugend machen und, um grüne Tinte zu erzielen, von vornherein eine geringe Menge Eisenchlorid zur Chlorkobaltlösung setzen. Auch die grüne Farbe verschwindet beim Erkalten.

C. Tinten, die durch Belichten zum Vorschein kommen.

Die chemische Einwirkung des Lichtes auf viele Verbindungen ist schon lange bekannt. Auf ihr beruht bekanntlich auch die Wirkung

der photographischen Platten, indem durch das Licht aus irgend einer geeigneten Silberverbindung (Bromsilber, Chlor Silber) das Silber ausgeschieden wird. Unsere Leser kennen wohl alle die bräunende Einwirkung des Lichtstrahles auf das käufliche photographische Positivpapier (Celloidin-, Albumin-, Kristoppapier u. s. w.), und einige von ihnen haben sich vielleicht schon einmal das Vergnügen gemacht, einem guten Bekannten eine wohllaufgezogene Photographie zum Andenken zu überreichen, die nicht fixiert war und daher am Licht bald in ein dunkles Braun überging.

* Lichtempfindliche Tinte, die weiß wird. Man schreibt mit einer Bleizuckerlösung (giftig!) auf weißem Papier und erhält, wenn dieses nicht zu glatt ist, eine unsichtbare Schrift. Bringt man das beschriebene Papier in das Sonnenlicht, so erhält man eine Schrift von so blendender Weiße, daß sie selbst auf dem weißen Papier völlig lesbar ist.

Lichtempfindliche Tinte, die braun wird. Geschrieben wird mit einer verdünnten Lösung von salpetersaurem Silberoxyd (Höllenstein). Die Schrift bräunt sich nach einiger Zeit im Tageslicht.

Unterhaltende Anwendungen des Vorhergehenden.

Tinte, die durch ihren Streusand sichtbar wird. Man pulvere Eisenvitriol, lasse es auf der heißen Herdplatte recht trocken werden, zerreihe es darauf in einem Mörser und vermische es mit dem trockenen Streusand. Als Tinte benutzt man eine ziemlich stark verdünnte Lösung von Tannin, der man, um sie auf dem Papier länger feucht zu halten, etwas Zucker zusetzen kann. Streut man den Sand über die noch nasse, unsichtbare Schrift, so wird sie sofort, in Folge der Verbindung von Eisenoxyd und Gerbsäure, schön schwarz auf hellem Grunde erscheinen.

* Eine Winterlandschaft in eine Sommerlandschaft zu verwandeln. Man male einen geeigneten, wenig schattierten Holzschnitt leicht mit Aquarellfarbe an, so daß das Ganze den Eindruck einer Winterlandschaft macht. Den Baumschlag, das Gras, die Blumen und Wasserfläche lasse man jedoch frei, um sie nach dem Trocknen der Aquarellfarbe mit den oben angegebenen grünen, roten und blauen sympathetischen Tinten auszumalen. Da diese Tinten unsichtbar sind, wird das Aussehen der Schneelandschaft nicht geändert. Hängt man

sie jedoch vor den Ofen, an eine Lampe oder eine sonst geeignete Wärmequelle, so belebt sich die tote Landschaft und schmückt sich mit sommerlichen Farben. Man kann sagen, die Wärme habe den Frühling hervorgezaubert. Die Farben verblasen beim Erkalten wieder, und der Versuch kann wiederholt werden.

Eine Rose, deren Farbe sich mit dem Wetter ändert. Eine künstliche Rose wird mit Chlorkobaltlösung getränkt und in einer Vase an einen Ort gestellt, an dem sie dem Wechsel der Witterung ausgesetzt ist, ohne jedoch vom Regen getroffen zu werden. Es zeigt sich dann, daß die Farbe des Chlorkobalts nicht nur, wie wir oben gesehen haben, von der Wärme, sondern auch von der Feuchtigkeit abhängig ist. Hält sich die Luft eine Zeitlang feucht, so ist die Farbe der Blume ein schmutziges Graurot. Wird das Wetter jedoch warm und trocken, so geht die Farbe in Hellrot oder Blaurot über. Nichts ist aber verkehrter, als die Rose für eine Wetterprophetin zu halten, wofür sie von den Händlern des öfteren ausgegeben wird. Denn sie zeigt an, wie das Wetter ist, nicht wie es wird, und hinkt meistens noch mit ihrer Ansage nicht unbeträchtlich hinter diesem her, so daß man an ihr mit Sicherheit nur feststellen kann, wie das Wetter war. Sehr schön ist es, neben dieser Wetterrose auch noch eine leuchtende Rose zu besitzen. Diese Erscheinung gehört zwar, genau genommen, in das Gebiet der Optik, mag jedoch, da die Gelegenheit sich eben bietet, an dieser Stelle mit wenigen Worten beschrieben sein.

Es gibt einige Stoffe, die die Eigenschaft haben, infolge eines chemischen Prozesses im Dunkeln zu leuchten, eine Erscheinung, die man nach dem Phosphor, der sie ebenfalls zeigt, „Phosphoreszenz“ genannt hat. An faulem Holz, vielleicht auch an faulen Fischen, ist sie unseren Lesern wohl bekannt. Man faßt den Begriff noch etwas weiter und nennt auch solche Körper phosphoreszierend, die, nach vorangegangener Bestrahlung, im Dunkeln ein eigenes Licht ausstrahlen. Der Hauptsache nach sind es die Verbindungen des Schwefels mit dem Calcium, die diese Eigenschaften aufweisen. Es würde jedoch zu weit führen, unsere Leser mit der Herstellung des Schwefelcalciums aus Austeruschalen und Schwefelpulver bekannt zu machen, besonders da man jetzt diese Verbindung unter dem Namen „Valmainische Leuchtfarbe“ in den größeren Drogenhandlungen oder Apotheken bekommen kann. Sie ist ein gelblich weißes, etwas faseriges Pulver, das man vor dem Gebrauch durchsiebt und mit etwas Leimwasser

angerührt auf die Blätter der künstlichen Rose in nicht zu dicker Schicht aufträgt. Hält man die Blume kurze Zeit in helles Tageslicht oder läßt sie besser noch von der Sonne bestrahlen, so leuchtet sie im Dunkeln mit bläulichem, geheimnisvollem Schein. Die Lichtwirkung läßt zwar bald nach, bleibt jedoch dem ausgeruhten Auge eine ganze Nacht hindurch erkennbar.

Beide Rosen, miteinander in einem Glase vereinigt, stellen einen ebenso lehrreichen, wie schönen physikalischen Apparat dar, da sie die Einwirkung der Wärme sowohl als auch des Lichtes auf gewisse chemische Substanzen wunderbar zeigen.

★ Die Zauberachtel. Der niedliche Versuch beruht auf der uns schon bekannten Einwirkung der Schwefelberausdünstungen auf Bleizucker (giftig!). Man schreibt auf eine Anzahl Blätter eine Anzahl Fragen mit Tinte und darunter die Antwort mit verdünnter Bleizuckerlösung. Da diese unsichtbar ist, wird man auf dem Zettel nur die Frage erblicken. Man bittet nun irgend jemand, zu sagen, auf welche Frage er eine Antwort wünsche, und läßt dann das betreffende Zettelchen in eine scheinbar leere Pappschachtel legen, in der sich jedoch eine Spur von Schwefelleber befindet. Die Ausdünstungen genügen, um den Bleizucker zu verändern und schon nach kurzer Zeit eine deutliche Schrift, die Antwort auf die gestellte Frage, hervorzubringen.

Statt der Schachtel kann man auch ein Buch verwenden, zwischen dessen Blätter man den Zettel legt und von dem man eine Seite mit Schwefelleber getränkt hat.

Eine Karte in die andere zu verwandeln. Zu diesem Scherz wird die Verkohlung des Papiers bei Erhitzung unter dem Einfluß der Schwefelsäure benutzt.

Man übermalt das rote Herz einer Coeur=Äß-Karte mit verdünnter Schwefelsäure und setzt einen kleinen Stiel daran, wie ihn die Pique=Karten haben. Die Zeichnung ist unsichtbar, kann aber entweder durch Erhitzung über der Lampe oder auch auf folgende Weise hervorgerufen werden. Um zu zeigen, daß eine Auswechslung der Karte während des Experimentes unmöglich ist, schließt man sie in einen Umschlag ein und siegelt zu. Man richtet es dabei so ein, daß der Siegellack über die Zeichnung kommt, und läßt ihn möglichst lange auf dem Papier brennen. Nach Öffnung des Umschlages ist dann in der That aus dem roten Coeur=Äß ein Pique=Äß geworden.

Bunt leuchtende Flammen. Eine gewöhnliche Spiritusflamme brennt fast lichtlos, da in ihr feste glühende Teilchen oder die glühenden Gase irgend eines verdampfenden Körpers fehlen. Je nach der Natur des in der Flamme zur Verbrennung oder Verdampfung gelangenden Körpers ändert sich ihre Färbung. Es ist erstaunlich, wie wenig Substanz oft dazu gehört. In der Luft ist stets in minimalen Mengen Kochsalz enthalten, es haftet auf allen Gegenständen, an allen Stäubchen. Die Weingeistflamme färbt es gelb. Es genügt, in ihrer Nähe auf den Armel zu schlagen oder ein Buch zuzuklappen, um sie sofort gelb zu färben. Die Gelbfärbung der Glasbläserflamme rührt ebenfalls von dem Natriumgehalt des Glases her.

Um bunte Flammen längere Zeit zu unterhalten, verfährt man stets nach demselben Rezept. Man löst eine der unten angegebenen Substanzen in Wasser auf, tränkt damit den Docht einer Spirituslampe und läßt ihn vor der Benutzung gehörig trocken werden, oder man reibt mit den Salzen einen Wattebausch gut ein, hängt ihn an einem Draht auf, befeuchtet ihn mit Spiritus und steckt ihn an. Wenn man die Watte nicht erst verkohlen läßt, so kann man dasselbe Präparat mehrere Male benutzen. Alle diese Flammenercheinungen eignen sich vorzüglich zur Untersuchung mit dem Spektroskop, da jede von ihnen ein charakteristisches Spektrum zeigt (vgl. S. 258). Die Kochsalzbeleuchtung ist auf Menschengesichtern in diesem Maßstabe von wahrhaft scheußlicher Wirkung, da sie, wie schon früher erwähnt, alles Rot schwärzlich erscheinen läßt und die Haut wie im Zustande der Verwesung zeigt.

Geeignete Salze zum Tränken der Döchte sind:

Salpetersaurer Strontian (rote Flamme).

Kochsalz (Chlornatrium) (gelbe Flamme).

Salpetersaures Kupferoxyd oder Jodkupfer (grüne Flamme).

Pottasche (violette Farbe).

Dunkelgelb erhält man durch eine Auflösung von Eisensalmiak, Dunkelgrün durch eine Auflösung von gleichen Teilen Kupfervitrol und Salmiak in Weingeist.

Blau kann man durch Einreiben des Dochtes mit Kali oder wasserfreiem Alaun erhalten, doch ist die Farbe nicht sehr ausgeprägt. Violett erhält man durch Ammoniak.

* **Bengalische Flammen** nennt man intensiv leuchtende Flammen, denen durch eine oder mehrere der eben genannten Substanzen eine ausgesprochene Färbung gegeben ist. Die Gesamtheit der dazu erforderlichen Chemikalien nennt man den „Satz“. Die bengalischen Flammen sind uns von Feuerwerken her wohl bekannt.

Man kennt zwei Arten des „Satzes“. Die erste Art enthält die Bestandteile locker als Pulver aufgeschüttet und brennt frei auf einer geeigneten Unterlage. Sie eignet sich vornehmlich für kurze, aber sehr kräftige Beleuchtungen. Die andere zeigt den „Satz“ in enge Papierhülsen eingeschlossen, so daß immer nur ein kleiner Teil davon brennt. Diese sogenannten „Lichter“ brennen sparsamer, wirken aber auch nicht so stark.

Von vornherein mag bemerkt sein, daß wirklich effektvolle Flammen nur die roten und grünen und allenfalls noch die weißen sind. Gelb und Blau sind wenig ausgesprochen.

Kotfeuer. Hierfür gibt es sehr viele Rezepte, die gute Resultate liefern, die meisten von ihnen fordern jedoch chlorsaures Kali als Bestandteil und sind wegen der Gefährlichkeit des Stoffes — er explodiert in Gemeinschaft mit den anderen Körpern beim Stoß — weniger zu empfehlen. Ganz gut ist folgende Mischung:

Mehlpulver, d. h. fein zerriebenes Jagdpulver	1 Teil
Schwefelblüte	1 „
Salpetersaurer Strontian	13 Teile

Man kann sich allgemein merken, daß ein Gemenge von 4 Teilen chlorsaurem Kali und 1 Teil Schwefelblüte eine gute Unterlage für alle möglichen Buntfeuer gibt, man hat ihm nur mehr oder weniger von den Salzen hinzuzufügen, die auch die Weingeistflamme färbten. Um ein sattes Purpurrot zu erhalten, genügt es, auf 8 Teile des genannten Gemenges 2 bis 3 Teile fein pulverisierter Schlammkreide hinzuzusetzen. Ein Zusatz von 3 Teilen wasserfreiem, kohlensaurem Natron färbt die Flamme gelb. Zusatz von Mehlpulver beschleunigt die Verbrennung in allen Fällen.

Durch große Lichtstärke zeichnet sich folgender Satz aus:

Chlorsaures Kali	4 Teile
Schwefelblüte	5 „
Schwefelantimon	2 „
Feine Kohle	1 „
Salpetersaurer Strontian	20 „

Grünfeuer sind im allgemeinen nur dann satt in der Farbe und kräftig, wenn sie nicht nur chlorsaures Kali, sondern auch das giftige Kalomel enthalten. Das Kalomel-Rezept lassen wir ganz beiseite und geben nur ein solches für Chloralkali-Zusatz.

Chlorsaures Kali	5 Teile
Schwefelblüte	4 "
Salpetersaurer Baryt	12 "

Vollkommen ungefährlich, aber auch nicht so schön, ist folgender Satz:

Chlorsaurer Baryt	3 Teile
Milchzucker	1 Teil

Für das Abbrennen der Buntfeuer ist folgendes zu merken. Die Sätze verbrennen unter Bildung einer weißlich-grauen Schlacke, die bald das Feuer zudeckt oder es doch in der Leuchtkraft wesentlich herabmindert. Es ist daher unzweckmäßig, den Satz in Tassen, Blumentöpfen usw., kurz in tiefen Gefäßen abzubrennen, besonders, wenn die Beleuchtung längere Zeit währen soll. Man legt dann am besten mehrere trockene Ziegelsteine nebeneinander und schüttet das Pulver in einem breiten, zusammenhängenden Streifen auf, den man an der einen Seite entzündet.

Die Anfertigung von bengalischen „Richtern“ besprechen wir nicht, sie sind in den Drogenhandlungen erhältlich.

*** Das Pulvermännchen.** Einen recht netten Sprühregen kann man auf folgende Weise erhalten. Gewöhnliches Jagdpulver wird in einer Untertasse mit so viel Wasser angerührt, daß eine breiige Masse entsteht. Aus diesem Brei formt man dann, in der Gestalt einer Räucherkerze, einen kleinen Ke gel (von etwa 6 bis 8 cm Höhe), in den man oben ein Stück Schwamm steckt. Nach etwa 10 bis 12 Stunden ist das „Pulvermännchen“ so weit trocken, daß man das Experiment im Freien machen kann. Man setzt das Pulvermännchen auf einen Ziegelstein, entzündet die Lunte und entfernt sich der Sicherheit wegen um einige Meter. Es dauert eine gute Weile, bis die Lunte bis zum Pulver herabgebrannt ist, und beim Warten erscheint die Zeit doppelt lang. Man werde aber nicht ungeduldig und sehe nicht nach, ob die Lunte noch brennt, denn gerade in diesem Augenblick könnte das Feuerwerk losgehen, das in einer prachtvollen, oft 2 bis 3 m hohen, Funken-

garbe besteht. Die Pulverkörner liegen nämlich so fest aufeinander und enthalten noch so viel Feuchtigkeit, daß sie nicht im Augenblick verpuffen, sondern in der beschriebenen Weise versprühen.

Künstliche Nebel aus Salmiak. Schon früher — gelegentlich der Versuche über die Verfärbung von Lackmüstinktur — haben unsere Leser etwas von Säuren und Basen gehört und dabei auch erfahren, daß sie sich, in ihrer Wirkung auf dritte Körper, gegenseitig störend in den Weg treten. Allemal, wenn eine Säure (Schwefel-, Salz-, Salpetersäure usw.) mit einer Basis (Ammoniak, Kali, Natron usw.) zusammenkommt, so bildet sich ein neuer Körper — ein sogenanntes Salz. Man kann den Vorgang der Salzbildung vortrefflich durch folgendes Experiment darstellen.

Zwei Flaschen (Fig. 171) werden miteinander in der angeedeuteten Weise durch Glasröhren und Gummischläuche verbunden. Durch Blasen kann man die Luft von der einen Flasche

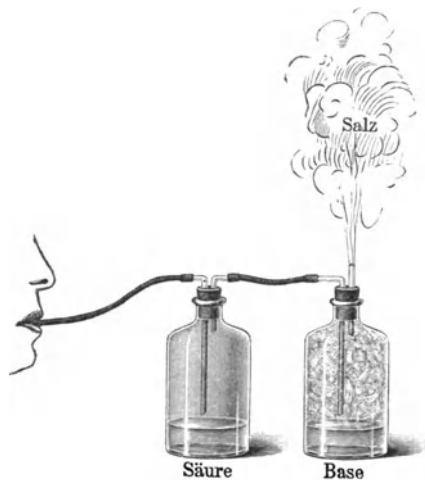


Fig. 171. Salmiaknebel.

nach der anderen hinüber und durch ein kleines, aufrecht stehendes Glasröhrchen austreiben. Der Boden der einen Flasche wird mit Salzsäure, der der anderen mit Ammoniakflüssigkeit bedeckt, doch dürfen die Flüssigkeiten nicht bis an die Röhren heranreichen. Es kommt überhaupt wenig auf ihre Menge an, und man erhält fast dasselbe Resultat, wenn man die Flaschen nur mit den genannten Chemikalien ausschwenkt.

Da die Flüssigkeiten verdunsten, so füllt sich die eine Flasche mit Säure-, die andere mit Ammoniakdämpfen an, die jedoch dem Auge völlig unsichtbar bleiben. Bläst man dann in die eine Flasche, so tritt Säuredampf zu den Ammoniakdämpfen über, und es entsteht ein dicker

Nebel, der wie ein Dampfstrahl aus dem Abflußrohre entweicht. Er besteht aus Millionen winziger Salmiakkristalle, einem Salz also, das sich aus der Vereinigung von Säure und Basis gebildet hat. Dieses Salz hat weder die Eigenschaften der Säure noch die der Basis, es ist, wie man sagt, neutral und auf seiner Bildung beruht auch die Vernichtung von Säureflecken (insbesondere Schwefelsäureflecken) auf Kleidungsstücken durch Betupfen mit Ammoniakflüssigkeit.

Künstlicher Nebel im Zimmer. Man kann auf die eben beschriebene Art ein ganzes Zimmer mit Nebel anfüllen, wenn man Salzsäure und Ammoniakflüssigkeit in Schalen auf dem Ofen zur Verdunstung bringt. Noch wirksamer ist es, erst eine Zeitlang Salzsäure verdunsten zu lassen und dann die Ammoniakflüssigkeit auf den Boden zu sprengen. Selbstredend wird man sich für diese Versuche nicht gerade das beste Zimmer aussuchen.

Kristallzüchtereien. Ob ein Körper sich im gasförmigen, flüssigen oder festen Zustande befinden soll, darüber entscheidet der Druck, der auf ihm lastet, und die Temperatur. Die Temperatur hat dabei das erste und letzte Wort, sie ist allmächtig, und unsere Leser kennen ja im besonderen recht genau ihren gewaltigen Einfluß auf den verbreitetsten aller Körper, das Wasser. Wie dem Wasser, so ergeht es auch den anderen Körpern, sie treten, ganz nach Gefallen der Temperatur, als fest, flüssig oder gasförmig auf, und von Glück können wir sagen, daß sie nicht ihre Umwandlung alle bei derselben Temperatur vornehmen, denn sonst würden wir je nachdem nur in einer festen, flüssigen oder gasförmigen Welt leben. So jedoch begegnen wir Vertretern aller drei Zustände zu gleicher Zeit.

Es kann wohl kaum einen rätselvolleren Vorgang geben, als die Verwandlung eines flüssigen Körpers in einen festen. Mit sinkender Temperatur beginnen sich ungezählte Milliarden winziger Kräfte zu regen. Sie machen sich an den Flüssigkeitsteilchen zu schaffen und plötzlich wird aus diesen etwas Festes. Die Teilchen sind zueinander in innigere Verbindung getreten und können sich nicht mehr beliebig aneinander verschieben, wie diejenigen der Flüssigkeit.

Läßt man der Flüssigkeit durch langsame Abkühlung Zeit zur Umwandlung, so können die Kräfte gleichsam bei der Arbeit beobachtet werden. Man könnte ihre Tätigkeit vielleicht mit derjenigen der Bienen vergleichen, die aus flüssigem Wachs ihre kunstvollen Zellen aufbauen,

wenn sie nicht ungleich komplizierter und vollendeter wäre. So plump entfaltet sie sich doch nicht. An irgend einer Stelle schießt plötzlich ein winziges Nädelchen hervor, dehnt sich und wächst, ein zweites, drittes, viertes kommt hinzu, sie reihen sich aneinander an, oder schließen sich zu Gruppen von mathematischer Symmetrie zusammen, sie schmücken sich vielleicht noch mit federähnlichen Gebilden, so fein und zart, daß nichts ihnen an die Seite gestellt werden kann. Das mit der Lupe bewaffnete Auge wird nicht müde, diesem Vorgange der „Kristallisation“ zuzusehen. Immer neue Kristalle gesellen sich zu den alten, sie erfüllen schließlich allen nur verfügbaren Raum und die Umwandlung des flüssigen in den festen Körper ist vollendet. So etwa geschieht es beim Wasser, und viel anders ist der Vorgang auch nicht, wenn es sich um die Ausscheidung eines festen Körpers aus einer Lösung handelt. Hier ist er sogar besser zu beobachten, da die Kristallisation stets bei Zimmertemperatur vor sich gehen kann. Nur eines wird man sogleich bemerken, und das ist eigentlich das Wunderbarste an der ganzen Sache: Kein Körper kristallisiert wie der andere, jeder hat seine besondere ihm ganz und gar eigentümliche Form, und es ist fast, als ob schon das Flüssigkeitströpfchen durch irgendwelche Besonderheit, die sich unserem Blick völlig entzieht, die Bestimmung in sich trüge, so und nicht anders fest zu werden und zu wachsen. Oder sollte der Kristall erst in dem Augenblicke seiner Geburt einem Gesetze unterworfen werden, das von Körper zu Körper wechselt, für denselben Körper aber unveränderlich ist? Man hat begreiflicherweise allen erdenklichen Scharfsinn aufgeboten, um diese Frage zu lösen und ist einer kristallisierenden Flüssigkeit mit den stärksten Mikroskopen zu Leibe gegangen, man hat sogar die Photographie zu Hilfe gerufen. Bis jetzt ganz ohne Glück. Denn das erste noch so winzige Kriställchen ist da, ehe man sich's versteht, ganz vollendet, tadellos und offenbar schon eine vollkommene Stufe seiner Entwicklung darstellend. Vielleicht wird nie ein menschliches Auge einen Kristall in statu nascondi — im Augenblicke der Erschaffung — erschauen.

Wollen sich unsere Leser mit der Kristallzüchtereie befassen — und wir können es ihnen dringend empfehlen —, so mögen sie zunächst einen ebenso belehrenden wie einfachen Vorversuch machen. Sie lösen in einem Einmacheglas voll badwarmen Wassers, das sie durch Zugießen von kochendem Wasser möglichst eine Zeitlang auf derselben Temperatur halten, etwa eine Handvoll blauer Kupfervitriolkristalle. Sie werden sich voraussichtlich völlig lösen. Man setzt dann in diesem Falle vor-

sichtig noch einige Kristalle hinzu, bis sie liegen bleiben und eine Lösung weiter nicht eintritt. In diesem Zustande ist die Flüssigkeit, wie man sagt, „gesättigt“, aber nur für diese bestimmte Temperatur. Denn erhitzt man die Lösung, so verschwinden auch noch die übriggebliebenen Kristalle, kühlt man sie ab, so gesellen sich zu ihnen aus der Lösung neue hinzu. Daraus geht denn auch hervor, daß eine Lösung unter den Sättigungspunkt abgekühlt werden muß, um Kristalle abzugeben. Je nach der Höhe der Sättigungstemperatur und dem Maß der Abkühlung ist der Charakter der Kristallabscheidung ein recht verschiedener. Drei Hauptfälle sind hierbei zu unterscheiden:

1. Die Lösung setzt auch nach völliger Abkühlung auf die Zimmertemperatur keine Kristalle ab. Es waren so wenig Kristalle in ihr aufgelöst, daß sie auch nach der Abkühlung noch ungesättigt ist.
2. Es bilden sich langsam, schön ausgewachsene Kristalle einzeln oder in Gruppen. Die Lösung ist bei Zimmertemperatur gesättigt, aber nicht übermäßig, so daß der Vorgang der Ausscheidung ein ruhiger ist.
3. Schon während des Erkaltens zeigen sich Kristalle und schießen zu ungeordneten Haufen zusammen. Die Lösung war bei hoher Temperatur gesättigt und ist daher gezwungen, ihren Gehalt zu hastig abzugeben.

Man hat es daher in der Hand, das Wachsen der Kristalle zu beeinflussen und wird jedenfalls anders verfahren, wenn man überhaupt nur Kristallisation erzielen will, als wenn es sich darum handelt, schöne Einzelkristalle oder Gruppen zu erhalten. In letzterem Falle wird man stets so die besten Resultate erhalten, wie wir es, um ein Beispiel herauszuwählen, an dem Maun beschreiben wollen. Die Regel gilt aber für alle anderen Körper ebenjogut.

Der Maun (in Stücken oder pulverisiert in allen Drogenhandlungen käuflich) ist, wie kaum ein anderer Körper, zur Kristallisation geeignet und liefert niemals einen Mißerfolg. Man löst ihn in warmem Wasser auf, und zwar in solcher Menge, daß eine gesättigte Lösung entsteht. Aus dieser werden sich am anderen Tage eine große Anzahl nicht übermäßig schöner Kristalle abgeschieden haben. Die über ihnen stehende gebliebene Flüssigkeit — als „Mutterlauge“ bezeichnet — ist dann offenbar für Zimmertemperatur gesättigt und fähig, Kristalle abzugeben, falls sie weiter abgekühlt wird oder verdunstet. Jedenfalls

kann aus ihr die Kristallbildung nicht mehr stürmisch und regellos vor sich gehen.

Man verwendet daher erst die Mutterlauge zur eigentlichen Kristallzucht, gießt sie in ein besonderes, nicht zu kleines Glasgefäß ab und kocht sie noch etwas ein, wenn sich größere Kristallgruppen bilden sollen, oder überläßt sie nur der Verdunstung an einem mäßig warmen, staubfreien Orte, wenn es sich um Einzelzucht handelt. Nach einigen Tagen werden sich einige Kristalle am Boden des Gefäßes zeigen und bald eine solche Größe erreicht haben, daß man deutlich ihren scharfkantigen, wunderbar exakten Bau bemerken kann. Den schönsten von ihnen wählt man aus und bringt ihn, während die anderen ruhig weiter wachsen und sich bald in Gruppen zusammenschließen, zur Einzelzucht in neue Mutterlauge. Dort wendet man ihn täglich auf eine andere Seite und hat bald die Freude, einen sehr großen, vollkommen regelmäßigen Kristall zu erhalten. Das Gefäß mit der Mutterlauge darf während der Kristallisation unter keinen Umständen erschüttert werden.

Der Chromalaun kristallisiert in demselben System, doch sind seine Kristalle prachtvoll violett gefärbt. Die große Verwandtschaft der Körper erlaubt auch, den Chromalaunkristall in gewöhnlicher Alaunmutterlauge weiter zu züchten, wo er sich mit einer farblosen Schicht umgibt. Man kann so einen violetten von einem wasserklaren Kristall eingeschlossen erhalten.

Nächst den Alaunen eignen sich noch das klee saure Ammoniak, Soda, Salpeter, doppeltchromsaures Kali und Kupferbitriol zu Kristallisationsversuchen, doch gibt keiner der genannten Stoffe die Kristalle so schön und leicht her, wie der Alaun.

Interessant ist, daß auch der Kristall, wie der sich aus der Luft niederschlagende Wassertropfen, eines Gegenstandes bedarf, um sich festzuhalten. Rauhe Körper befördern die Ausscheidung ungemein, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man gleichzeitig einen Wollfaden und einen Glasstab in die Mutterlauge legt. Die Kristalle werden sich vorzugsweise am Faden absetzen.

Körbchen und andere Gegenstände aus Alaunkristallen.

Jrgendwelchen Gegenständen aus Draht kann man durch Einhängen in eine Alaunlösung einen reizenden Schmuck von Kristallen geben. Sollte ihre Oberfläche an sich noch nicht rauh genug sein, so umwickelt

man die Drähte mit roten oder blauen Wollfäden, deren Farbe dann später durch den Kristallbesatz hindurchschimmert. Es ist erstaunlich, wie regelmäßig sich die Kristalle abscheiden. Hängt man den Gegenstand des Abends in eine heiß gesättigte Lösung, so kann man am nächsten Morgen schon einen genügend starken Überzug erwarten, doch fallen die Kristalle um so schöner aus, je langsamer der Prozeß vor sich geht. Der Verfasser hat die besten Resultate erzielt, wenn er der abgegossenen und nur wenig erwärmten Mutterlauge noch etwas Alaun zusetzte und sie dann mit dem zu verzierenden Gegenstande in einem irdenen Gefäß einige Tage lang unberührt stehen ließ. Selbstverständlich kann man auch hier zunächst einen Überzug von Chromalaun geben. Die so mit Kristallen überfäeten Gegenstände bieten einen allerliebsten Anblick, und es ist nur zu bedauern, daß Staub und Feuchtigkeit ihnen bald den funkelnden Glanz nehmen.

*** Leuchtende Kristallisation.** Einige Körper haben die Eigenschaft, bei ihrer Kristallisation zu leuchten, doch eignen sie sich wegen ihres zum Teil giftigen Verhaltens, mit Ausnahme des schwefelsauren Kalis, nicht zu Versuchen für uns.

Die Chemikalien zu dem Experiment, Pottasche und schwefelsaures Kali, müssen durchaus rein sein. Man löst von beiden eine reichliche Menge in Wasser auf, filtriert die Pottaschelösung und setzt von ihr der Kalilösung unter Umrühren so lange vorsichtig etwas hinzu, bis kein Aufbrausen mehr stattfindet. Diese Mischung wird wiederum filtriert und auf dem Herde so lange eingekocht, bis ein in sie getauchter Glasstab nach dem Erkalten Kristalle zeigt. Darauf läßt man die Lösung in einer offenen Schale möglichst langsam erkalten und beobachtet dann beim Auskristallisieren ein lebhaftes blitzähnliches Leuchten, das jedoch nur im Dunkeln dem gut ausgeruhten Auge sichtbar ist.

Die Erklärung des Phänomens bereitet Schwierigkeiten. Sehr wahrscheinlich handelt es sich um elektrische Entladung bei der Reibung der Kristalle untereinander. Einmal kristallisiertes schwefelsaures Kali leuchtet nach der Auflösung nicht wieder.

Einen Bleistift an der Asche eines verbrannten Zwirnsfadens aufzuhängen. Von einem Garnröllchen reißt man ein fußlanges Stück Zwirn ab und hängt damit einen leichten Notizbleistift oder sonst einen passenden Gegenstand gleichen Gewichtes an dem Kron-

leuchter auf. Darauf bittet man eine der anwesenden Personen, den Faden mit einem Streichholz zu entzünden, doch so, daß der Gegenstand an der Asche hängen bleibt. Es käme nur auf ruhige Überlegung und eine sichere Hand an. Nachdem jeder erst an der Möglichkeit der Ausführung überhaupt gezweifelt hat, wird sich doch der eine oder andere an das Experiment heranwagen. Aber mit negativem Erfolg. Denn sobald die Flamme den Faden berührt, fällt der Gegenstand herab. Erst nachdem noch einige sich mit dem Experiment abgequält haben, stellt man es selbst an. Und wirklich, der Faden verbrennt zwar lich'erloß, aber der Gegenstand bleibt frei an der Asche hängen. Allgemeines Erstaunen. Und doch ist die Sache so überaus einfach. Der eigene Faden war vor dem Versuch mit starker Salzlauge durchtränkt worden und hatte sich infolgedessen nach dem Trocknen mit einer Kruste von winzigen Salzkrystallen bedeckt. Dieser Salzpantzer bewahrte die Asche vor dem Zerfall und war im Verein mit ihr stark genug, den Bleistift zu tragen. Um keinerlei Mißtrauen zu erregen, kann man von demselben Garnröllchen für andere so lange verbrauchen, bis man an die vorher imprägnierte Stelle des Fadens kommt. Man fühlt sie deutlich zwischen den Fingern.

Die Pharaoschlange. Schon jeder hat einmal einen Milch-, Leim- oder Saucetropfen auf der heißen Herdplatte sich erheben und



Fig. 172. Die Pharaoschlange.

fast über Gebühr aufblasen sehen. Ganz besonders auffällig ist diese Erscheinung beim Borax, der mit Wasser zu einem dicken Brei angerührt wird. Offenbar sind es Gase und Dämpfe, die, durch Verdunstung gebildete, elastische Häute emporheben. Geradezu erstaunlich, ja im

ersten Augenblick fast unbegreiflich, nimmt sich ein ganz ähnlicher Vorgang bei folgendem Versuch aus. Dies Experiment gehört zu den einfachsten und amüsantesten, die man anstellen kann, und mag deshalb den Beschluß unseres „Physikalischen Spielbuches“ bilden.

Die Asche einer großen Zigarre wird auf einem Teller zu einem Keil aufgehäuft und mit drei oder vier der bekannten und fast in jedem Haushalt vorhandenen Emser Pastillen beplastert (Fig. 172). Darauf durchtränkt man die Asche gründlich mit Spiritus und zündet sie an. Sie wirkt wie ein Docht, und der Spiritus brennt unter Umständen zwei bis drei Minuten. Die Spannung der Zuschauer steigt auf das Höchste, aber es scheint, als sollte nichts mehr geschehen, denn die Flamme ist dem Verlöschen nahe. Da beginnt plötzlich ein Schauspiel, so unerwartet und ungeheuerlich und dabei auch so lächerlich, daß alles Ausharren reichlich entschädigt ist. Eine abenteuerliche Schlange, massig und wüßt, arbeitet sich aus dem Aschehaufen heraus, dreht und windet sich drohend empor und fällt schließlich auf den Tisch herab, wo sie weiter kriecht. Oft zeigt sich auch eine zweite und dritte Schlange. Sie stehen in gar keinem Verhältnis zu dem Aschehaufen, der nur wenig abnimmt und aus dem sie doch herkommen, wenn anders sie nicht aus dem Erdboden heraufkriechen, wie es ganz den Anschein hat.

Das Rätsel erklärt sich sofort, wenn man die Schlange vorsichtig aufnimmt. Sie sieht nur drohend und schwer aus, ist in Wahrheit aber das luftigste, feinste, aufgeblasenste Schaumgebilde, das man sich denken kann. Die in ihr enthaltene Asche ist sehr gering und wird notdürftig durch den Zuckerschleim der Emser Pastillen zusammengehalten. Nur das sich reichlich aus den Pastillen entwickelnde Kohlenjäuregas bläht den Schlangenleib auf und hebt ihn empor.

Namen- und Sachregister.

- W**ähe rotierender Körper 42.
 — der Erde 43.
 Weirhaut des Auges 206.
 Weformmodation des Auges 209.
 Wekkumulatoren 386.
 Weußliche Täufchungen 124.
 Weanfriftalle 438.
 Weanamorphofen 247.
 Aneroidbarometer 57.
 Weo-Rato 298.
 Weziehungskraft 33.
 Wepftel 64.
 WeArlandes 50.
 Weife, fefte 440.
 Weatmosphäre 46.
 Weuge 205.
 —, künstliches 208.
 Weuslader, elektrifcher 327.
 Weballaft der Luftballons 51.
 Wearometer 56.
 Weafe 435.
 Weatterie, elektrifche 328, 372.
 Weaufchredner 126.
 Weengalifche Flammen 433.
 Weftandteile des Lichtes 252.
 Welecharbeiten 10.
 Weleibaum 385.
 Weleitgaleiter 335.
 Weleigaufnahmen 212.
 Weleigröhren 341.
 Weleigtafel 338.
 Weelumen, fchwebende 235, 243.
 Weutegel, künstliche 95.
 Webrechung des Lichtes 248—259.
 Webrechungsefeje 248.
 Webuchftaben, leuchtende 342.
 Webumerang 69.
 Webunfenbrenner 16.
 Webunfenelement 375.
 Webunte Flammen 432.
 — Schatten 188, 292.
 WeCamera obfcure 200.
 WeCharles 50.
 WeCharlière 44, 50.
 Wehemie 409 u. f.
 Wehemifche Erhizung 168.
 — Harmonifa 142.
 WeChladni 149.
 WeCunaeus 325.
 WeDampfer 101.
 WeDampfmafchine, billige 100.
 WeDescartes (Renatus Cartefius) 93.
 WeDichtigfeit der Luft 46.
 WeDoppelgefel 30.
 WeDrache 60.
 WeDrähte 375.
 WeDreiflang 137.
 WeDynamomafchine 407.
 WeEcho 117.
 WeEinfallslot 122, 227.
 WeEisblumen 212.
 WeElektrifche Weziehung 295.
 WeElektrifche Brettfehaukel 314.
 WeElektrifcher Weruck 317.
 WeElektrifche Welemente 372.
 WeElektrifches Weflugrad 317.
 WeElektrifche Wefunken 318.
 WeElektrifches WeGlockenfpjel 313.
 WeElektrifcher Weheiligenfchein 319.
 WeElektrifche Wefolatoren 300.
 — WeKlingel 400.
 — WeKnallgasfanone 344.
 WeElektrifcher Wekugeltanz 311.
 WeElektrifche Weleiter 300.
 — WeNichtblüfchel 318.
 — Wefchwingungen 348.
 — WeSpannung 317, 388.
 — WeSpizenenladung 318.
 — WeWellen 349.
 WeElektrifcher WeWind 316.
 — WeZuftand 294.
 WeElektrifiziermafchine 309.
 WeElektrizität, zwei Arten 302.
 —, wepfitive und negative 305.
 — durch WeMagnetismus 405.
 WeElektrochemifche WeVerfuche 382.
 WeElektromagnet 382.
 WeElektromagnetifche Wekanone 398.
 WeElektromagnetifcher WeKlopf-tijch 395.
 — Wefchmetterfling 398.
 WeElektromotor 402.
 WeElektrophon 306.
 WeElektroftop 296, 303.
 WeElemente, galvaniſche 375.

- Erde, Stellung zur Sonne 44.
 Erhaltung der Energie (Geletz) 166.
 Ertraktstrom 401.
- F**
 Fahrrad 42.
 Faraday 367.
 Farben 259—275.
 Farbenänderungen, chemische 421 u. f.
 Farben der Körper 261.
 Farben im polarisierten Licht 270.
 Farbkreisel 259.
 Farbenspiele im Fernrohr 268.
 Farbensäure 292.
 Fata Morgana 266.
 Feste Nische 440.
 Feuerballon 49.
 Flammen, bengalische 433.
 —, bunte 432.
 —, schallempfindliche 156.
 Flammenharmonika 142.
 Fläschenelement 375.
 Flüstergalerie 125.
 Flugmaschinen 73.
 Flugschraube 68.
 Fontaine lumineuse 263.
 Franklin 65, 333.
 Fraterna caritas 86.
 Funkenröhre 341.
 Funkenspirale 343.
 Funken Telegraphie 346.
- G**
 Galvani 371.
 Galvanischer Strom 370 u. f., 373.
 Galvanoplastik 382.
 Geisterphotographien 214.
 Geisterreigen 190.
 Geräusch 133.
 Gewicht 33.
 —, spezifisches 103.
 — der Luft 46.
 Gewitter 333.
 Gläser, abgestimmte 148.
 Glasarbeiten 14.
 Glaselektrizität 302.
- Glaskörper des Auges 206.
 Glimmerfiguren 273.
 Glockenspiel, elektrisches 313.
 Gondel des Luftschiffes 51.
 Grundton 136.
- H**
 Harmonika, chemische 142.
 — aus Pappfalteralen 147.
 Harzelektrizität 302.
 Heber 83.
 Heiligenstein, elektrischer 319.
 Heronsball 88.
 Heronsbrunnen 89.
 Herz, Heinrich 349.
 Hohlspiegel für Licht 237.
 Holundermännchen 298, 312.
 Holundermark 298.
 Holundermarkkugeln 296.
 Holzarbeiten 5.
 Holzharmonika 141.
 Hornhaut des Auges 205.
 Hydraulisches Mikrophon 154.
 Hydraulischer Widder 96.
- I**
 Influenzmaschine 329, 338.
 Intermittierender Brunnen 82.
 Iris des Auges 205.
 Jodierchemel 319.
- J**
 Jahreszeiten 43, 187.
- K**
 Kältemischungen 174.
 Kaleidoskop 232.
 Kanone, elektromagnetische 398.
 Kartesianscher Taucher 92.
 Kartesius 93.
 Kette, galvanische 372.
 Kinematograph 286.
 Kirchturmgeläut, künstliches 120.
 Kitten 17.
 Klangfiguren 149.
- Klavier 138.
 Kleister 4.
 Kleistsche Flasche 322.
 Klingel, elektrische 400.
 Klopffisch, elektro-magnetischer 395.
 Knallgas 412.
 Knallgasanone 344.
 Knallgas Telegraphie 378.
 Körperwärme 171.
 Kohlen säure 419.
 Kollobiumballon 55, 305.
 Kompaß 353.
 Konduktor 310.
 Kraftlinien, magnetische 366.
 Kreis 40.
 —, akustischer 130.
 Kristallisation 436.
 —, leuchtende 440.
 Kugelspiegel 245.
 Kugeltanz 311.
- L**
 Lana, Franzisko 48.
 Laterna magica 215.
 Laternenbilder, bunte 220.
 Laube, magnetische 369.
 Laubsägearbeiten 5.
 Leclanchés-Element 375.
 Leidener Batterien 324, 328.
 —, Flaschen 322.
 Leim 6.
 Leiter und Nichtleiter 300.
 Lenkballon 58.
 Licht, Beugung 268.
 —, Brechung 248.
 —, Polarisation 270.
 —, Zurückwerfung 226.
 —, totale Zurückwerfung 264.
 Lichtenberg'sche Figuren 329.
 Lichtlehre 180 u. f.
 Lillienthal, Otto 73.
 Linse des Auges 206.
 Linjenbilder 200.
 Lochbilder 191.
 Löten 11.
 Luftballon 48, 107.

Telegraphie 378, 389.
Telephon, Fadentelephon
119.
Terz 136.
Thermometer aus Metall
160.
—, Luftpthermometer 162.
Tinten, sympathetische
427.
Tonbildung 133.
Tonverhältnisse 136.
Trägheit der Körper 19.
Trockenelement 375.
Tyndall 119, 159.

Verfilberung von Glas
243.
Verzerrte Bilder 214, 245,
247.

Vegetarische Spiegel 231.
Volta 371.

Wärme, verborgene
172.
Wärmeerzeugung durch
Elektrizität 408.
— ohne Feuer 164.
Wärmelehre 160 u. f.
Wärmequellen 164 u. f.
Wärmeschlange 163.
Wage, einfache 33.
Wasserstoffgas 409.
Wasserstrahl, tönender
153.
Wasserzerlegung, gal-
vanische 376.
Werkstatt 2.
Werkzeuge 18.

Wind, elektrischer 316.
Wünschelrute 397.
Wunderperspektiv 233.

Zentrifugalkraft 35.
Zeppelin 58.
Zerrspiegel 245.
Zerstreuung des Lichtes
268.
Zimmerfontäne 89, 95.
Zurückwerfung des Lichtes
227.
— des Schalles 121 u. f.
—, totale 264.
Zusammendrückbarkeit der
Luft 88.
— des Wassers 94.
Zustand, elektrischer 294.
Zylinder Spiegel 246.