

ELEMENTAR-
PHYSIK
MIT
CHEMIE

ELEMENTAR-PHYSIK MIT CHEMIE

VOLK UND WISSEN

VERLAGSGESELLSCHAFT M. B. H. / BERLIN-LEIPZIG

1945

Inhaltsverzeichnis

Tafel der Maßeinheiten

A. Längeneinheit	1
B. Flächeneinheit	1
C. Raumeinheit	2
D. Gewichtseinheit	2

Grundeigenschaften des Stoffes

§ 1. Raumerfüllung. Volumenmessung	3
§ 2. Teilbarkeit	6
§ 3. Gewicht	7
§ 4. Spezifisches Gewicht	9

Von der Bewegung der Körper

§ 5. Die ganze Welt in Bewegung	12
§ 6. Zeitmessung	12

Die drei einfachsten Bewegungsformen

§ 7. Die gleichförmige Bewegung	15
§ 8. Das Beharrungsgesetz	16
§ 9. Wie erkennt man das Wirken einer Kraft?	17
§ 10. Beschleunigte Bewegung	18
§ 11. Verzögerte Bewegung	20

Zusammensetzung von Bewegungen

§ 12. Vom Parallelogramm der Wege	21
§ 13. Die Wurflinie	22
§ 14. Die Kreisbewegung	23

Gleichgewichtslagen

§ 15. Gleichgewicht entgegen gesetzter Kräfte	25
§ 16. Satz vom Kräfteparallelogramm	26

§ 17. Zwei parallelen Kräften soll standgehalten werden	27
§ 18. Schwerpunkt	28

Vom Befördern der Körper

§ 19. Arbeit. Reibungswiderstand	31
§ 20. Abänderung der Arbeit. (Goldene Regel)	33

Die einfachen Maschinen

§ 21. Hochziehen einer Last mittels Rollen	34
§ 22. Der Hebel	36
§ 23. Hebelwaagen	40
§ 24. Das Wellrad	40
§ 25. Hub auf der schiefen Ebene	41
§ 26. Die Schraube	43

Verhalten der Flüssigkeiten

§ 27. Ausbreitung des Druckes	44
§ 28. Der Bodendruck	46
§ 29. Druck nach oben	47
§ 30. Druck gegen eine schiefe Fläche	48
§ 31. Der Seitendruck	48
§ 32. Kommunizierende (= verbundene) Gefäße	50
§ 33. Das Archimedische Prinzip vom Auftrieb	52
§ 34. Verwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung des spez. Gewichtes	53
§ 35. Das Schwimmen	54
§ 36. Benetzung. Kapillarscheinung	55

Verhalten der Gase

- § 37. Vom Gasdruck auf die Gefäßwand 56
 § 38. Der Atmosphärendruck 57
 § 39. Arten der Barometer 59
 § 40. Verwendung des Barometers 60
 § 41. Das Mariottesche Gesetz 61
 § 42. Die Wasserpumpen 63
 § 43. Heronsball und Feuerspritze (Verwendung von Druckluft) 64
 § 44. Die zwei Heber 65
 § 45. Die Hahnluftpumpe 66
 § 46. Luftballon 68

Lehre von der Wärme (Kalorik)

- § 47. Woher kommt die Wärme 68
 § 48. Messung des Wärmegrades 70
 § 49. Ausdehnung fester Körper 71
 § 50. Ausdehnung von Flüssigkeiten 73
 § 51. Ausdehnung der Gase. Gesetz von Gay-Lussac 75
 § 52. Kalorie und ihr Arbeitswert 77
 § 53. Ausbreitung der Wärme 78
 § 54. Das Schmelzen 80
 § 55. Sieden und Verdunsten 80
 § 56. Die Dampfmaschine 82

Lehre vom Schall (Akustik)

- § 57. Ausbreitung 85
 § 58. Tonhöhe. Sirene 87
 § 59. Intervall. Tonleiter 88
 § 60. Vorrichtungen zur Tonerzeugung 90
 § 61. Kehlkopf und Ohr 93

Lehre vom Licht (Optik)

- § 62. Ausbreitung des Lichtes 94
 § 63. Zurückwerfung am ebenen Spiegel 97
 § 64. Der Hohlspiegel 100
 § 65. Der erhabene Spiegel 104
 § 66. Brechung des Lichtstrahles 105
 § 67. Die planparallele Platte 108
 § 68. Prisma. Farbenzerstreuung 109
 § 69. Lichtbrechung an Linsen 111

- § 70. Bilder bei Sammellinsen 114
 § 71. Bilder bei Zerstreuungslinsen 116
 § 72. Das Auge 117
 § 73. Die optischen Instrumente 118

Magnetismus

- § 74. Natur des Magnets 122
 § 75. Magnetisieren. Influenz 124
 § 76. Kraftlinienbilder 125
 § 77. Erdmagnetismus 126

Reibungselektrizität

- § 78. Der elektrische Zustand 128
 § 79. Elektrizitätsanzeiger 130
 § 80. Leiter und Nichtleiter 131
 § 81. Der „neutrale“ Körper 132
 § 82. Die elektrische Influenz 132
 § 83. Der Elektrophor 134
 § 84. Die Reibungselektriermaschine 135
 § 85. Die Influenzmaschine 135
 § 86. Kondensatoren 137
 § 87. Versuche mit der Elektriermaschine 138
 § 88. Elektrische Ladung der Luft. Blitzableiter 140

Vom elektrischen Dauerstrom

- § 89. Galvanische Elemente 141
 § 90. Chemische Wirkungen 145
 § 91. Licht- und Wärmewirkungen 149
 § 92. Magnetische Wirkung 151
 § 93. Galvanometer (Stromanzeiger) 153
 § 94. Klingel und Telegraph 154
 § 95. Motorische Wirkung 155
 § 96. Der Elektromotor 157
 § 97. Motorische Wirkung von Strom auf Strom 158

Vom Ohmschen Gesetz

- § 98. Leitungswiderstand. Das Ohm 159
 § 99. Das Ohmsche Gesetz von der Stromstärke 161
 § 100. Strom- und Spannungsmesser 162

§ 101. Glühlampenschaltung. Das Watt	162	§ 107. Wechselstrommaschine . .	173
§ 102. Thermoelektrizität	165	§ 108. Transformatoren (Um- former)	175
Induktionselektrizität		§ 109. Rundfunkanlage	176
§ 103. Neue Art der Stromerzeu- gung: durch Induktion	166	Von der Erhaltung der Energie	
§ 104. Der Induktor	168	§ 110. Die Masse als Träger der Energie	178
§ 105. Fernsprechanlage	170	§ 111. Arten der Energie. Gesetz von der Erhaltung der Energie	180
§ 106. Gleichstrom-Dynamo- maschine	172		

Inhaltsverzeichnis zum Anhang: Chemie

§ 1. Wie erkennt man einen Stoff ?	185	Die Halogene	
§ 2. Was geschieht, wenn man zwei verschiedene Stoffe zusammen- bringt ?	186	§ 12. Die Halogene <i>F, Cl, Br, J.</i>	207
§ 3. Zerlegung	187	Weitere wichtige Grundstoffe	
Untersuchung der atm. Luft		§ 13. Der Schwefel	208
§ 4. Die Verbrennungserscheinung	188	§ 14. Der gelbe und rote Phosphor	212
§ 5. Herstellung von reinem Sauer- stoff	190	§ 15. Der Stickstoff	213
Untersuchung des Wassers		§ 16. Der Kohlenstoff	218
§ 6. Zerlegung des Wassers in zwei Gase	194	§ 17. Das Kohlendioxyd	220
§ 7. Herstellung von Wasserstoff.	198	§ 18. Kohlensäure Salze (Kalkbren- nen, Kalklöschen, Mörtel)	222
Untersuchung von Kochsalz		§ 19. Das Heer der Kohlenwasser- stoffe (Leuchtgas, Petroleum, Spiritus)	224
§ 8. Zerlegung von Salzsäure und Kochsalz	199	§ 20. Das Metall Aluminium.	228
§ 7. Herstellung von Chlorgas	201	§ 21. Das Silicium (Quarz und Glas)	229
Chemische Formeln		§ 22. Gewinnung von Eisen	232
§ 10. Atome und Moleküle	203	§ 23. Das Kupfer.	235
§ 11. Die chemische Gleichung. . . .	205	§ 24. Weitere Metalle	236
		§ 25. Wiederholung über Säuren, Basen und Salze	237
		§ 26. Ionen in Lösung. Chemische Energie	238
		Zeittafel	238

Tafel der Maßeinheiten

Der praktische Physiker muß fortgesetzt Messungen machen. Dazu braucht er Maßeinheiten. Die dem Schüler bereits bekannten Einheiten sind im folgenden zusammengestellt.

A. Längeneinheit

1. Einheit der Länge ist das Meter (*m*). Dieses ist der Abstand zweier Striche auf einem in Paris aufbewahrten Maßstab.

Genau genommen sollte das Meter der 10millionste Teil eines Erdquadranten sein. **Erdquadrant** nennt man jeden Viertelkreis der Erde, der von einem Pol bis zum Äquator reicht. [Zeige dies an Abb. 1!]

— Der Erdumfang ist hiernach 40 Millionen Meter.

Geschichtliches. Das Meter wurde 1795 in Frankreich eingeführt, in Deutschland 1872 angenommen.

2. Die Verwandlungszahl unserer Längemaße ist 10, d. h.

$$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}.$$

3. Höhere Längeneinheiten sind das Kilometer und die Meile: $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$; 1 geogr. Meile = 7415 m.



Abb. 1

B. Flächeneinheit

1. Einheit des Flächenmaßes ist das Quadratmeter (m^2), d. i. ein Quadrat von 1 m Seitenlänge.

2. Die Verwandlungszahl der Flächenmaße ist 100. Merke:

$$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2; \quad 1 \text{ dm}^2 = 100 \text{ cm}^2; \quad 1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2.$$

3. Die Fläche eines Rechtecks ist gleich Länge \times Breite.

Ist z. B. eine Tischplatte 90 cm lang und 60 cm breit, so enthält ihre Fläche $90 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} = 5400 \text{ cm}^2$.

4. Die Fläche eines Kreises = Halbmesser \times Halbmesser $\times 3,14$.

Ist z. B. der Halbmesser $r = 5 \text{ cm}$, so ist die Kreisfläche = $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 3,14 = 78,5 \text{ cm}^2$.

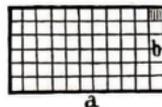


Abb. 2. Rechteck

5. Die Fläche einer unregelmäßigen Figur kann man durch Wägen bestimmen.

Man schneide aus einem Bogen Papier die Figur aus und wäge sie (z. B. = 2,7 g). Darauf schneide man 1 dm^2 aus und wäge auch dieses (z. B. = 0,9 g). Die Fläche der Figur ist dann $2,7 : 0,9 = 3 \text{ dm}^2$ groß.

C. Raumeinheit

1. Einheit des Raummaßes ist das Kubikmeter (m^3). Dieses ist ein Würfel von 1 m Kantenlänge.

2. Die Verwandlungszahl der Raummaße ist 1000. Merke:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3; \quad 1 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ cm}^3; \quad 1 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ mm}^3.$$

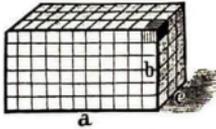


Abb. 3. Quader

3. Der Rauminhalt eines Quaders (Kiste) ist gleich Länge \times Breite \times Höhe.

Ist z. B. eine Kiste 20 cm lang, 12 cm breit, 6 cm hoch, so ist ihr Rauminhalt = $20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} \times 6 \text{ cm} = 1440 \text{ cm}^3$.

4. Der Rauminhalt einer Säule ist gleich Grundfläche \times Höhe.

Hat z. B. ein zylindrischer Wassereimer eine Grundfläche $f = 3 \text{ dm}^2$ und eine Höhe $h = 4 \text{ dm}$, so ist sein Hohlraum = $3 \text{ dm}^2 \times 4 \text{ dm} = 12 \text{ dm}^3$.

5. Den Raum von 1 dm^3 nennt man bei Flüssigkeiten (und Hohlmaßen) 1 Liter (1 l).

D. Gewichtseinheit

1. Zum Wägen der Waren braucht der Kaufmann Gewichtsstücke. Einheit des Gewichtes ist das Gramm. Merke:

|| 1 Gramm (1 g) ist das Gewicht eines cm^3 reinen Wassers im Zustand seiner größten Dichte, also bei 4° C .

2. Höhere Gewichtseinheiten sind Kilogramm und Tonne. Merke:

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}; \quad 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg};$$

$$\frac{1}{1000} \text{ g} \text{ heißt } 1 \text{ Milligramm (mg)}.$$

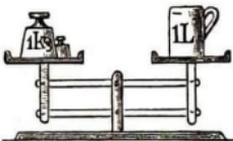


Abb. 4. Tafelwaage

Wäge 1 Liter Wasser! (Ergebnis: Es wiegt 1 kg.) —
 Merke: 1 mm^3 Wasser wiegt 1 Milligramm; 1 cm^3 Wasser wiegt 1 g; 1 dm^3 (Liter) Wasser wiegt 1 kg; 1 m^3 Wasser wiegt 1 t.

Grundeigenschaften des Stoffes

§ 1. Raumerfüllung. Volumenmessung

1. Woran erkennt man einen Körper?

Gehen wir mit geschlossenen Augen umher und stoßen an etwas, so schließen wir, daß ein Körper vorhanden ist. Ergebnis:

Das **Kennzeichen eines Körpers** ist, daß er einen **Raum einnimmt**, d. h. wo schon ein Körper ist, kann nicht noch ein zweiter sein.

Das, woraus ein Körper besteht, nennt man **Stoff** (Gips, Holz), seinen Raum **Volumen**.

2. Die Körper können fest, flüssig oder gasförmig sein. Man sagt, es gibt 3 Aggregatzustände.

a) **Feste Körper** haben starre Gestalt (Ziegelstein).

b) **Flüssige Körper** haben bewegliche Gestalt. Man kann sie von einem Gefäß in ein anderes gießen. Dabei behalten sie ihr Volumen.

1 Liter Wasser bleibt 1 Liter Wasser auch beim Umgießen.

c) **Gase** kann man zumeist nicht sehen. Man kann sie nur in einem verschlossenen Gefäß aufbewahren (denk an einen kleinen Luftballon).

Sie suchen aus dem Gefäß zu entweichen. (Stich ein Loch in den Luftballon!) Dieses Fluchtbestreben der Gase heißt **Expansion**. Sie haben auch **kein bestimmtes Volumen**. (Jeder Radfahrer weiß, daß man Luft zusammenpressen kann.)



Abb. 5. Taucherglocke

3. Lange Zeit hielt man die **Luft für Nichts**. Man kann sie ja nicht sehen. Sie nimmt aber einen Raum ein; dieses zeigt uns der Versuch mit der Taucherglocke (Abb. 5).

Tauche ein **Trinkglas** verkehrt in Wasser! [Ergebnis: Es dringt fast kein Wasser ein; also nimmt die Luft einen Raum für sich in

Anspruch.] — Die **Taucherglocke** (Abb. 5), die zum Arbeiten unter Wasser benutzt wird, wurde von zwei Klempnergehilfen erfunden, die sich 1538 zu Toledo in Spanien vor Kaiser Karl V. unter einer kupfernen Glocke ins Wasser ließen.



Abb. 6
Luftbewegung
beim Fallschirm

Daß die Luft einen **Widerstand** bietet, zeigt sich, wenn wir mit aufgespanntem Schirm gegen den Wind gehen. Verwendet beim Fallschirm (Abb. 6). — Wir werden die Luft wägen (§ 4); sie hat ein nicht unerhebliches **Gewicht**: 1 m³ Luft wiegt rund 1,3 kg. Schätze, wieviel m³ Luft im Schulzimmer sind!

4. Das Volumen von Flüssigkeitsmengen mißt man mit einem nach cm³ geeichten Meßzylinder (Abb. 7).

Eichung. Stelle den Zylinder auf eine Waage und tariere (= gleiche das Übergewicht aus)! Gieß dann 10, 20, 30 . . . Gramm Wasser ein und mache zum jeweiligen Flüssigkeitsspiegel einen Eichstrich. Jedem Gramm Wasser entspricht **1 cm³**.

5. Das Volumen kleiner fester Körper (z. B. eines Apfels, einer Nuß) findet man durch Eintauchen in einen Meßzylinder, der bereits Wasser enthält. (Der Wasserspiegel steigt dann.)

2. Art: Oder man taucht den fraglichen Körper in ein sog. **Ablaufgefäß** (Abb. 8), das vorher bis zum Rande des Ablaufröhrchens bereits mit Wasser gefüllt war. Beim Eintauchen des Körpers fließt soviel Wasser ab, als der Körper groß ist.



Abb. 7
Meßzylinder



Abb. 8
Ablaufgefäß

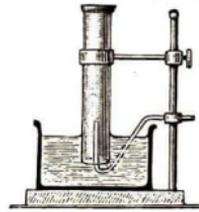


Abb. 9
Gasmessung

6. Das Volumen einer Gasmenge bestimmt man ebenfalls mit dem Meßzylinder, den man aber vorher ganz mit Wasser füllt und ihn dann umgekehrt (d. h. mit der Mündung nach abwärts) in eine Wanne mit Wasser stellt (Abb. 9). In diesen Zylinder läßt man nun von unten her die gewünschte Gasmenge einströmen. Diese Vorrichtung heißt **pneumatische Wanne**.

Prüfe, wieviel Luft du bei einem kräftigen Atemzug ausatmen kannst! (Benutze dabei statt des Meßzylinders eine große Flasche.)

7. Der Sand füllt ersichtlich den äußerlich von ihm eingenommenen Raum nicht ganz aus; es bleiben zwischen den Sandkörnern leere Zwischenräume übrig, die **Poren** (Abb. 10).

Versuch. Fülle ein Literglas mit Sand! Alsdann fülle aus einem Meßzylinder Wasser nach! [Es lassen sich noch 400 cm³ Wasser nachfüllen.] Mithin beträgt der Porenraum des Sandes etwa 400 cm³.

Pettenkofer zeigte, daß auch Bausteine porös sind. (Sie sind für Luft und Leuchtgas durchlässig.)

Zum **Nachweis** verklebt man einen prismatischen Sandstein (Abb. 11) mit Wachs bis auf die Anschlußstellen zweier Rohre, schließt das eine an die Gas-

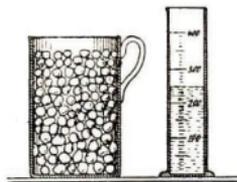


Abb. 10
Ein Liter Sand



Abb. 11
Pettenkofers Versuch



Abb. 12
Berkefeldfilter

leitung an und kann nach einigen Minuten das dem anderen Rohr entströmende Gas entzünden.

Verwertung findet die Porosität bei den **Filtern**, besonders zur Reinigung des Trinkwassers, das zuweilen unreinen Flüssen entnommen werden muß.

Beim **Berkefeldfilter** (Abb. 12) wird das bei *H* einströmende Wasser durch einen Filtrierzylinder *C* aus Kieselgur getrieben.

8. Wichtige Entdeckung des berühmten Geometers Archimedes (von Syrakus, 222 v. Chr.). Taucht man einen Körper in Wasser, so verliert er für jedes eintauchende cm^3 genau 1 g an Gewicht.

1 g Verlust . . 1 cm^3 Volumen

Verliert also in Abb. 13 der Körper 25 g an seinem Gewicht, so ist sein Volumen 25 cm^3 . Abb. 13 zeigt, wie der Schüler mit einer Briefwaage bequem das Volumen kleiner Körper (z. B. eines Schlüssels) bestimmen kann.

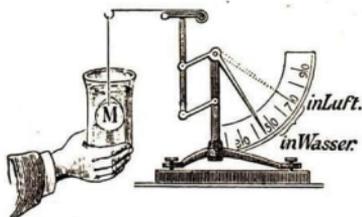


Abb. 13

Schülerübungen

1. Miß die Dicke eines Bleistifts! Du mußt dabei senkrecht auf den Maßstab sehen, sonst machst du einen Fehler, den der Physiker **Parallaxe** heißt. Erkläre dieses an Abb. 14!

2. Miß mit der **Schublehre** (Abb. 15) die drei Dimensionen (Länge, Breite, Höhe) eines kleinen Holzquaders! [Merke: Die Schublehre ist ein Maßstab mit einer festen und einer verschiebbaren Querleiste.]

3. Miß zu Hause an mehreren kreisrunden Gegenständen den Durchmesser; berechne daraus den Halbmesser r und aus diesem die Kreisfläche! Mache darüber einen tabellarischen Bericht!

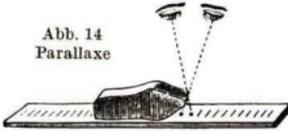


Abb. 14
Parallaxe

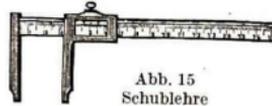


Abb. 15
Schublehre

4. Eine Kaffeetasse wiegt leer 190 g, mit Wasser gefüllt 440 g. Was wiegt das Wasser allein? Wieviel cm^3 Wasser sind es also? Wie groß ist demnach der Hohlraum der Tasse? — Führe zu Hause selbst solche Versuche aus! (Bericht!)

5. Bestimme das Volumen eines **Pyknometerfläschchens** (= Probefläschchen mit angeschliffenem Glasstöpsel)!

§ 2. Teilbarkeit

1. **Der Stoff ist teilbar.** Ohne die Teilbarkeit könnten wir keinen Bissen Brot essen, keinen Bleistift spitzen, keinen Strich schreiben; es gäbe dann kein Handwerk, keine Industrie.

2. **Mehl und Staub zeigen bereits eine weitgehende Zerteilung.** Ihre Teilchen sind oft so klein, daß man sie erst unter einem guten Mikroskop genau sehen kann.

Berlin steht auf einem riesigen Lager von **Kieselgur**, wovon jedes Körnchen eine Unzahl von Diatomeen (= organische Gebilde in Kieselpanzern) enthält, die man erst unter dem Mikroskop wahrnimmt (Abb. 16). — Beachte die **Sonnenstäubchen**, die man durch ihr Glänzen wahrnimmt, wenn ein Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer fällt! — Ein Körnchen **Fuchsin** rötet ein ganzes Liter Wasser. (In jedem Wassertröpfchen muß also etwas Fuchsin gelöst sein.)



Abb. 16

3. **Man nimmt an, daß die Teilbarkeit eine Grenze hat.** Die kleinsten selbständigen Teile eines Stoffes nennt man **Moleküle**. Die Moleküle sind überaus klein.

Nach **Loschmidt** gehen rund 10^{19} Gasmoleküle in 1 cm^3 ! Also rund 1 Million auf die Länge eines mm! Würde dieses Schulzimmer auf die Größe der Erde sich dehnen, so würden den Luftmolekülen erst stecknadelkopfgroße Bewegungsgebiete zukommen.

4. **Zum Zerteilen braucht man eine Kraft.**

Beobachte einen Holzhauer beim Zerteilen eines Klotzes! — Zerbrich einen Holzstab! Zerreiß einen Zwirnsfaden! Ergebnis:

a) Die **Moleküle eines Körpers** halten mit einer gewissen, teils größeren, teils kleineren Kraft zusammen. Diese Kraft nennt man **Kohäsion**.

Kohäsion = Zusammenhalt der Teilchen

Tauche ein Stück Fließpapier in Wasser! [Ergebnis: Beim Herausziehen bleibt Wasser am Fließblatt haften.] Merke:

b) Das **Haften verschiedener Stoffe** bei gegenseitiger Berührung nennt man **Adhäsion**.

Kohäsion und **Adhäsion**

sind also anziehende Kräfte zwischen den Molekülen. Sie wirken nur auf überaus geringe Entfernungen.

§ 3. Gewicht (↓)

1. Was ist Gewicht?

Halte ein Kilogrammstück auf der waagrecht hinausgestreckten Hand! [Ergebnis: Es übt einen Druck aus.] Merke:

|| **Gewicht** ist der Druck (↓), den ein Körper auf eine waagerechte Unterlage ausübt.

2. **Ursache des Gewichts?** Läßt man einen Stein los, so fällt er zur Erde. Um dies zu erklären, sagen die Physiker, die Körper werden von der Erde angezogen (Abb. 17). Die Kraft, die die Körper zur Erde zieht, heißt **Schwerkraft**.

Schwerkraft = Zug zur Erde

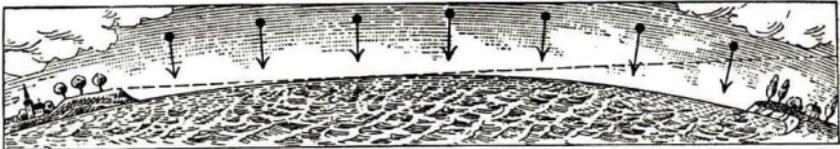


Abb. 17. Wirkung der Schwere. Alle Körper streben zur Erde

Als **Newton** (1670) im elterlichen Garten einen Apfel fallen sah, soll ihm blitzartig der Gedanke an die **allgemeine Gravitation** (Anziehung) gekommen sein, d. h. daß alle Weltkörper einander anziehen; also auch z. B. Erde und Mond, Erde und Sonne. Wie diese Anziehung zustandekommt, weiß man noch nicht.

3. Die **Richtung der Schwerkraft** zeigt das **Lot** an. Dieses ist ein frei hängender Faden, der unten beschwert ist. Seine Richtung heißt auch **vertikal**.

Halte das Lot ins Wasser (Abb. 18)! Man merkt, daß die Wasseroberfläche darauf senkrecht steht. Die Richtung der ruhenden Wasseroberfläche heißt **waagrecht** (oder horizontal).

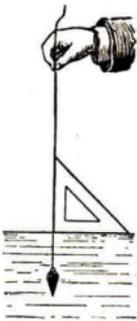


Abb. 18. Lot

Zur Prüfung, ob eine Tischfläche waagrecht ist, dient die **Wasserwaage** (oder Libelle). Diese besteht aus einem mäßig gekrümmten kleinen Rohr, das bis auf eine Luftblase mit Wasser gefüllt ist. (Abb. 19.) — Gebrauch: Stellt man die Vorrichtung auf eine waagerechte Unterlage, so spielt die Luftblase, die immer den höchsten Stand einnehmen will, auf eine ins Glas geritzte Marke ein.

4. Zur Bestimmung des Gewichtes dienen die Waagen. Um kleine Gewichte zu messen, kann man statt der **Krämerwaage** (Abb. 22), die jeder mann kennt, auch die **Federwaage** benutzen (Abb. 20).



Abb. 19. Wasserwaage

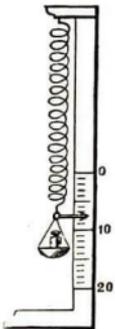
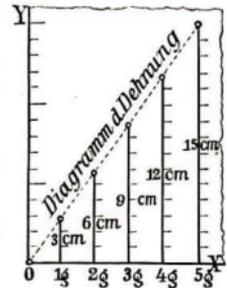
Diese besteht aus einer frei hängenden Spiralfeder, die eine Waagschale trägt. An der Feder ist unten ein Zeiger befestigt, der vor einer Skala spielt. Vorteil: Diese Waage bedarf keines Gewichtssatzes.

Prüfe die Eichung der Skala durch Einlegen von 10, 20, 30 g ... in die Waagschale! Ergebnis:

a) Bei **Entlastung** geht die Federwaage wieder in ihre Nullstellung zurück. Man sagt: sie ist elastisch.

b) Bei **kleinen Belastungen** ist die Dehnung der Feder genau proportional der Belastung, d.h. der 2, 3, 4 ... fachen Belastung entspricht die 2, 3, 4 ... fache Dehnung.

Schülerübung. a) Belaste eine vorgegebene Spiralfeder mit den Gewichten $G = 1, 2, 3, \dots, 20$ g und bestimme jeweils die Dehnung d . Tabelle! Vergleiche die Zahlenreihen für G und für d ! [Ergebnis: Beide steigen an; der Quotient $d : G$ ist eine feste Zahl.] — Erstes Beispiel eines **Naturgesetzes**!

Abb. 20
FederwaageAbb. 21. Diagramm
der Dehnung einer
Feder

b) Zeichne das **Diagramm der Dehnung**! Das Diagramm erhält man, indem man auf einer Waagrechten der Reihe nach die Belastungen anzeichnet und bei jeder Belastung eine Senkrechte (= Ordinate) proportional der Dehnung anträgt. Erkläre Abb. 21!

c) War die **Belastung zu groß**, so geht die Feder nach der Entlastung nicht mehr ganz in die Nullage zurück. Dann ist eine neue Eichung nötig.

5. Bestimme die Eichungszahl für eine Spiralfeder! Dies ist die Last für 1 cm Dehnung. (Genannt **Starre** der Feder.)

Schülerübung. Belaste deine Feder mit 100 g! Gib sie nun 5 cm Dehnung, so ist die Last für 1 cm Dehnung $100 \text{ g} : 5 = 20 \text{ g}$. — **Frage:** Wenn nun ein an die Feder gehängtes Marmorstück 5,6 cm Dehnung gibt, wie schwer ist dieses? [Antwort: Gewicht = $5,6 \times 20 \text{ g} = 112 \text{ g}$.]

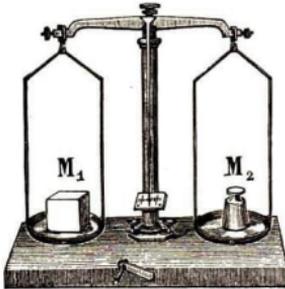


Abb. 22
Gleicharmige Waage

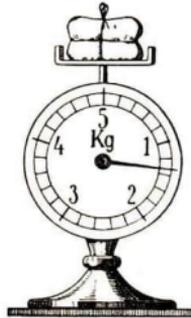


Abb. 23. Küchenwaage

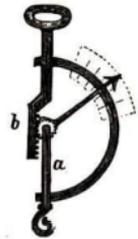


Abb. 24
Einfacher
Kraftmesser

6. Die **Kraftmesser (oder Dynamometer)**, mit denen man große Gewichte rasch abmessen kann, sind starke Federn, deren geringe Dehnung durch ein Zahnradchen auf einen Zeiger übertragen wird. Erkläre die Einrichtung an Hand von Abb. 24!

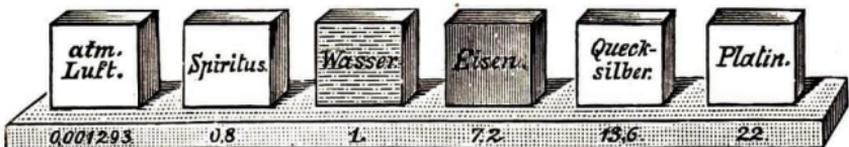
Mit solchen Kraftmessern kann man nicht nur Gewichte, sondern auch alle Arten von Zug und Druck messen. (Ziehe damit eine Schulbank weg! Kraftmessung in Turnsälen.) — Bei der **Küchenschnellwaage** (Abb. 23) sitzt der Stiel der Waagschale auf einer Doppelfeder, die bei ihrer Dehnung ein Zahnradchen mit einem Zeiger bewegt.

§ 4. Spezifisches Gewicht (Wichte)

Stelle 1 cm³-Würfelchen aus Kreide her und wäge es! Merke:

1. Das **Gewicht von 1 cm³** eines Stoffes in **Gramm** nennt man das **spezifische Gewicht** des Stoffes oder auch seine **Wichte**.

Erkläre demgemäß die folgenden spezifischen Gewichte:



Platin 21,5	Eisen 7,9	Wasser 1,0
Gold 19,3	Aluminium 2,7	Petroleum 0,8
Quecksilber . . . 13,6	Marmor 2,7	Alkohol 0,72
Blei 11,4	Glas 2,5—3,5	atm. Luft 0,001293
Silber 10,5	Mauer u. Sand . . 2,0	Leuchtgas 0,0005
Kupfer 8,9	Holz 0,5—0,9	Wasserstoff . . . 0,000090
Zink 7,1	Schwefelsäure . . 1,8	[bei 0° und 760 mm Bar.]

2. Vergleich mit dem Wasserwürfelchen. Da ein Würfelchen Wasser von 1 cm³ Größe genau 1 Gramm wiegt, so gibt das spezifische Gewicht eines Körpers auch an:

|| wievielmahl mehr ein Körper wiegt als
|| ein volumgleicher Wasserkörper.

Das spez. Gewicht des Kupfers ist 8,9 heißt also entweder: a) 1 cm³ Kupfer wiegt 8,9 g, 1 dm³ Kupfer 8,9 kg, 1 m³ Kupfer 8,9 Tonnen, oder, b) 1 cm³ Kupfer wiegt 8,9mal soviel wie 1 cm³ Wasser.

3. Formel für das spezifische Gewicht. Da man 1 cm³ aus einem Körper nicht gut herstellen kann, so wägt man ein größeres Stück des Körpers und teilt dessen zu großes Gewicht durch das Volumen des Stücks. Daher die Formel:

$$\text{spez. Gewicht} = \frac{\text{Gesamtgewicht}}{\text{Volumen}}$$

Schülerübungen: 1. Bestimme das spez. Gewicht a) eines Holzbrettchens!, b) eines Eisenquaders!, c) eines Marmorstückes!

2. Bestimme das spez. Gewicht von Petroleum mit dem Standzylinder! (Anleitung: Gieße 100 cm³ Petroleum ein; sie wiegen 80 g; also wiegt 1 cm³ Petroleum 80 g : 100 = 0,8 g.)

3. Bestimme das spez. Gewicht von Petroleum mit dem Pyknometerfläschchen (dessen Volumen du in § 1 Aufgabe 5 bestimmt hast)!



Abb. 25

4. Das spez. Gewicht der Luft findet man leicht mit Hilfe einer luftleeren Glühbirne (Abb. 25).

Schülerübung: Man tariert zunächst die leere Glühbirne durch Schrote. Nach Abfeilen der Spitze der Glühlampe (wobei die Splitter auf der Waagschale bleiben müssen) strömt Luft in die Glühbirne ein. Die Gewichtszunahme sei **0,2 g**.

Nun füllt man die Birne mit Wasser [Gewichtszunahme: 155 g; entspricht $V = 155 \text{ cm}^3$]. Daher spez. Gewicht $s = G : V = 0,2 \text{ g} : 155 \text{ cm}^3 = 0,00129 \text{ g/cm}^3$.

Merke:

1 m^3 atmosphärische Luft wiegt rund $1,3 \text{ kg}$.

5. Verwendung der Tabelle der spezifischen Gewichte. Der Techniker benutzt sie: a) um das Gewicht von Balken, Säulen u. dgl. voranzuberechnen, wenn er deren Volumen kennt. Formel: **Gewicht = spez. Gew. \times Vol.**

1. Beispiel: Was wiegt eine Mauer von 10 m Länge, 50 cm Breite, 4 m Höhe? Antwort: Das Volumen = Länge \times Breite \times Höhe = $10 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \text{ m}^3 = 20 \text{ m}^3$. Gemäß Tabelle ist das spez. Gewicht $s = 2$, d. h. 2 Tonnen pro m^3 ; also ist das Gesamtgewicht = Vol. \times spez. Gew. = $20 \times 2 \text{ Tonnen} = 40 \text{ Tonnen} = 40000 \text{ kg}$.

b) um das Volumen von Gußmassen, Sandmengen usw. voranzuberechnen, wenn man deren Gewicht kennt. Formel: **Volumen = Gewicht : spez. Gew.**

2. Beispiel: Welchen Raum nimmt $\frac{1}{2} \text{ kg}$ Gold ein? Antwort: Gesamtgewicht = 500 g; spez. Gewicht $s = 19,3$ (Gramm pro cm^3). Es sind so viele cm^3 als 19,3 in 500 enthalten ist, also Volumen = Gewicht : spez. Gew. = $500 : 19,3 = 25,91 \text{ cm}^3$.

Aufgaben

- Berechne mit Hilfe der Tabelle der spez. Gewichte das **Gewicht**
 - einer marmornen Tischplatte von 80 cm Länge, 50 cm Breite und 2,5 cm Dicke! [Antwort: 27 kg],
 - eines hölzernen Balkens von 8 m Länge und einem Querschnitt von $12 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$! [Antwort: 96 kg].
- Berechne mit Hilfe der Tabelle das **Volumen**
 - eines eisernen Schlüssels, der 118 g wiegt! [Antwort: 15 cm^3],
 - eines Zentnersteines aus Marmor! [Antwort: $18,5 \text{ dm}^3$],
 - von 1 kg Gold, Blei und Aluminium!,
 - eines eisernen Schwungrades, das 158 kg wiegt! [Antwort: 20 dm^3],
 - einer Tonne Sand! [Antwort: $\frac{1}{2} \text{ m}^3$].
- Stelle aus einem Medizinfläschchen eine Wasserwaage her!
- Bestimme die „**Starre**“ eines Gummischnürcchens!

6. Geschichtliches. Aristoteles (der Lehrer Alexanders des Großen, 333 v. Chr.) wog einen Weinschlauch leer und dann stark mit Luft aufgeblasen. So erkannte er als erster das Gewicht der Luft.

Von der Bewegung der Körper

§ 5. Die ganze Welt in Bewegung

1. Die ganze umgebende Körperwelt ist unablässig in Bewegung. Dieses zeigt uns die aufmerksame Beobachtung.

Beobachte die endlos wiederkehrende **Drehung des Sternhimmels** (Abb. 26) in einer Nacht! (Ergebnis: Regelmäßig wie eine gewaltige Uhr.) — Beachte das unaufhörliche Hin und Her der Menschen, Tiere und Fahrzeuge in einer Groß-

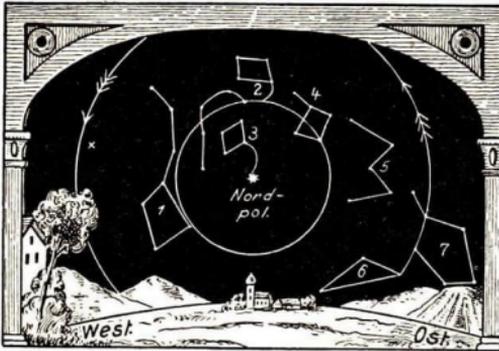


Abb. 26
Blick auf den nördlichen
Sternhimmel

- 1 Großer Bär
- 2 Drache
- 3 Kleiner Bär
- 4 Cepheus
- 5 Kassiopäa
- 6 Auriga
- 7 Perseus

stadt! — Denke an die Bewegung des Luftmeeres bei Sturm, an das Wandern der Wolken, an das Fallen des Regens, an das schier ewige Gewoge des Meeres, an das scheinbar endlose Fließen der Flüsse! — Das Verwittern der Felsen, das Altern der Menschen sind sehr langsame Vorgänge. — Der griechische Denker **Herakleitos** sagte schon (500 v. Chr.):

„Panta rhei“ = „Alles fließt“

2. **Ruhe?** Sieht man einen Körper auf der Erde ruhen (Stein am Wege), so ist dessen Ruhe nur eine scheinbare, da sich ja die Erde mit allem, was sie trägt, in gewaltigem Umschwung Tag für Tag um ihre Achse dreht.

Davon merken wir nichts. Wir verhalten uns dabei wie ein Reisender, der mit geschlossenen Augen in einem lautlos dahingleitenden Luftschiff sitzt.

§ 6. Zeitmessung

1. **Jede Bewegung erfordert Zeit.** Was Zeit ist, weiß niemand. Doch können wir Zeitabschnitte messen. Dazu brauchen wir zunächst eine Zeiteinheit, dann Uhren.

2. Als **Zeiteinheit** gilt der Tag. Dies ist die Zeit für die einmalige Umdrehung des Sternenhimmels, genauer: die Zeit für den Umlauf der Sonne von Mittag zu Mittag.

1 Tag = 24 Stunden; 1 Stunde = 60 min; 1 min = 60 sek

3. Die **Uhren**. Die natürliche Uhr ist der Sternenhimmel (Abb. 26). Da man diesen nicht immer als Uhr benutzen kann, so bauten die Menschen **künstliche Uhren**.

a) In alten Zeiten benutzte man **Sand- und Wasseruhren**. (Eine solche schenkte Harun al Raschid Karl dem Großen.)

b) Die **Pendeluhr** (Abb. 29) wurde erst 1683 vom Holländer **Huygens** gebaut.

Ihr Zeiger sitzt auf einem Zahnrad, das durch ein Uhrgewicht nur Ruck für Ruck zu einer kleinen Drehung veranlaßt wird. Denn das in Schwung versetzte Pendel läßt zwar den Zahn *a* los, legt sich aber alsbald hemmend vor Zahn *b*. Beim Rückschwingen des Pendels wiederholt sich der Vorgang umgekehrt. So sinkt das Uhrgewicht nur ruckweise. Ebenso dreht sich der Uhrzeiger nur Ruck um Ruck.



Abb. 27
Sanduhr

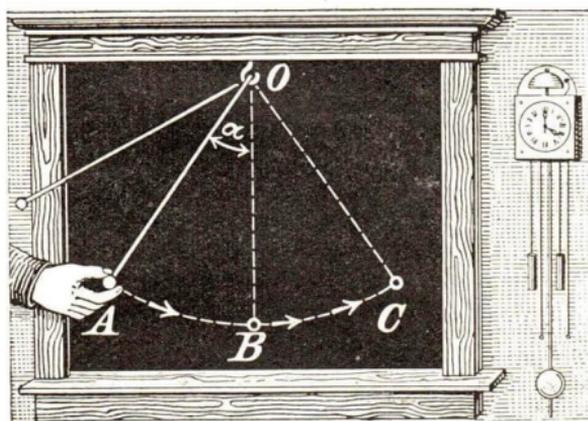


Abb. 28. Pendelschwingung

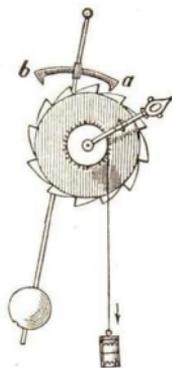


Abb. 29. Pendeluhr

4. Die **Eigenschaften des Pendels** entdeckte schon **Galilei** 1583. Man studiert sie an einem Fadenpendel (Abb. 28). Dieses ist ein schwerer Körper, der an einem Faden schwingt.

Schülerübung I: Laß ein Fadenpendel zunächst mit kleinem **Ausschlag** schwingen und zähle, wie viele Schwingungen es in 1 min macht! — Laß dasselbe

Pendel mit größerem Ausschlag schwingen! [Ergebnis: Seine Schwingungszahl ist dieselbe geblieben.] — Ersetze den **leichten Pendelkörper** (der zuerst vielleicht ein 10-g-Stück war) durch einen schweren (z. B. ein 50-g-Stück) und wiederhole die Versuche! [Ergebnis: Keine Änderung.]



Abb. 30. Galilei beobachtet 1583 als 19jähriger Student die Schwingungen der Kronleuchter im Dome zu Pisa (nach einem Gemälde in Florenz)

a) Das erste Pendelgesetz lautet: Die Schwingungsdauer eines Pendels ist unabhängig vom Ausschlag und unabhängig von der Schwere des Pendelkörpers.

Galilei [* 1564, † 1643], der Begründer der modernen Physik (die nur den Versuch als Grundlage der Naturforschung gelten läßt), fand das obige Gesetz schon

als 19-jähriger Student durch Beobachtung der **schwingenden Kronleuchter** im Dome zu Pisa (Abb. 30). Er erkannte auch blitzartig die Gründe. (Die schweren Kronleuchter kann man sich in leichte zerlegt denken, die alle gleich schnell nebeneinander schwingen.)

Schülerübung II: Kürze dein Fadenpendel! [Ergebnis: Es schwingt schneller!] Kürze es auf $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$ seiner Länge! [Ergebnis: Es schwingt 2, 3, 4... mal so schnell.]

b) Das **zweite Pendelgesetz** lautet: Kürzere Pendel schwingen schneller als lange. Merke:

Ein **1-Sekundenpendel** ist ziemlich genau **1 m** lang

„ $\frac{1}{2}$ „ „ „ „ $\frac{1}{4}$ m „

Frage: Was ist zu tun, wenn eine Pendeluhr zu langsam geht?

Geschichtliche Wiederholung

3000 v. Chr. stellen Chinesen und Babylonier schon eigene Beamte an zur Beobachtung des Sternhimmels.

333 v. Chr. wiegt Aristoteles die Luft in einem Weinschlauch.

222 v. Chr. wiegt Archimedes Körper unter Wasser.

800 n. Chr. gibt es noch Wasseruhren.

1583 n. Chr. Galilei im Dome zu Pisa.

1683 n. Chr. Huygens baut die Pendeluhr.

1670 n. Chr. Newton und der fallende Apfel.

Die drei einfachsten Bewegungsformen

§ 7. Die gleichförmige Bewegung

1. Kennzeichen. Ein Fußgänger, der gleichmäßig dahingeht, macht in gleichen Zeiten gleiche Wege.

2. Geschwindigkeit. Macht er in jeder Sekunde den Weg von 1,7 m, so sagt man, er habe die Geschwindigkeit von **1,7 m/sek** (lies: 1,7 m in der Sekunde).

3. Berechnung. Legt ein in einen Fluß geworfenes Stück Holz einen Weg von 100 m in der Zeit von 80 sek zurück, so ist sein Weg in einer Sekunde = $100 \text{ m} : 80 \text{ sek} = 1,25 \text{ m/sek}$. (Erkläre Abb. 31!) Merke also:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

Tabelle der Geschwindigkeiten					
Fußgänger	1,7 m/sek	Personenzug	25 km/std	Postdampfer	10 Knoten
Radfahrer	= 4–5 m/sek		= 7 m/sek	(= Seemeilen stündl.)	
Rennpferd	~ 12 m/sek	Schnellzug	bis 86 km/std	[1 Seemeile = 1852 m]	
Automobil	bis 65 km/std		= 24 m/sek	Schall in der Luft	330 m/sek
Sturm	20–50 m/sek	Äquatorpunkt	463 m/sek	Licht	300000 km/sek
		Mond	1 km/sek		
		Erde	4 Meilen/sek		

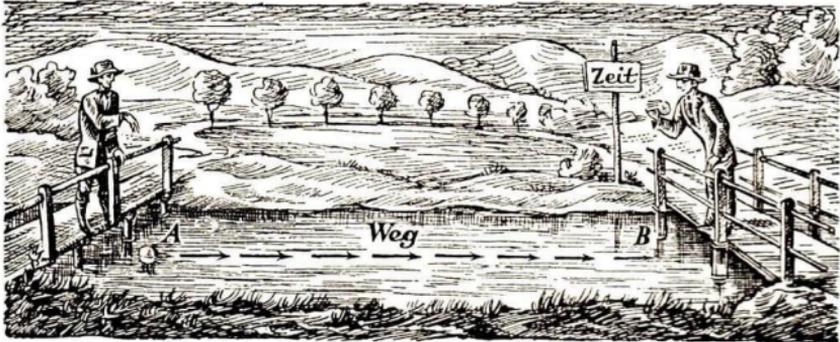


Abb. 31. Messung der Geschwindigkeit mit der Schwimmkugel

Schülerübung. 1. Bestimme mit der Uhr in der Hand die Zeit, die du brauchst, um 100 m Weg zurückzulegen! — 2. Wie lange braucht ein Schnellzug zu 120 km? [Antwort: $1^h 24^{\text{min}}$.]

§ 8. Das Beharrungsgesetz

Ein Radfahrer, der einige Zeit sein Rad stark getreten hat, weiß, daß hernach sein Rad von selber weiterläuft. Würde keine Reibung vorhanden sein, so würde das Rad mit **unverminderter Geschwindigkeit** immerfort geradlinig weiterlaufen. (Hypothese.)

1. Das Beharrungs- oder Trägheitsgesetz von *Galilei* lautet:

|| Jeder Körper behält seinen Bewegungszustand bei, bis eine Kraft ihn stört.

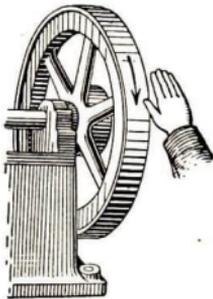
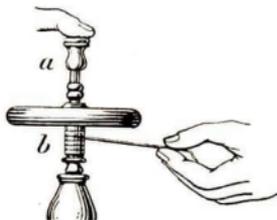
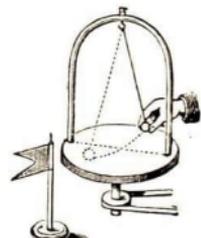
Abb. 32
Schwungrad in Bewegung

Abb. 33. Kreisel

Abb. 34
Beharrung in Bewegung

Ist er in Ruhe, so möchte er in Ruhe bleiben; ist er in Bewegung, so möchte er in Bewegung bleiben; hat er die Geschwindigkeit c , so sucht er in Ewigkeit mit derselben Geschwindigkeit geradlinig fortzulaufen.

Weitere Beispiele: Wird ein bewegter **Wagen plötzlich gebremst**, so stürzen die Insassen vorwärts, da sie ihre Geschwindigkeit ja beibehalten. (Umgekehrt stürzen sie bei plötzlichem **Anziehen des Wagens** nach rückwärts.) — Wie befestigt man einen lose gewordenen **Hammer am Stiel**? — Vorsicht beim **Abspringen** von einem im Lauf befindlichen **Straßenbahnwagen**! — Ein **Schwungrad**, das man einige Zeit angetrieben hat, bleibt nach dem Aufhören des Antriebs nicht plötzlich stehen. — Ein **Kreisel** behält seine Drehachse bei. (Ein Kreisel ist auch die Erde.)

2. Nachweis der Erdrotation. (Abb. 34.) Laß ein Pendel schwingen! (Es beharrt in seiner Ebene.) Drehe eine Scheibe unter ihm. (Das Pendel kümmert sich um diese Drehung nicht.) Für einen auf der Scheibe befindlichen Beobachter (setze ein Kreidestück darauf!) scheint sich aber die Pendelebene zu drehen.

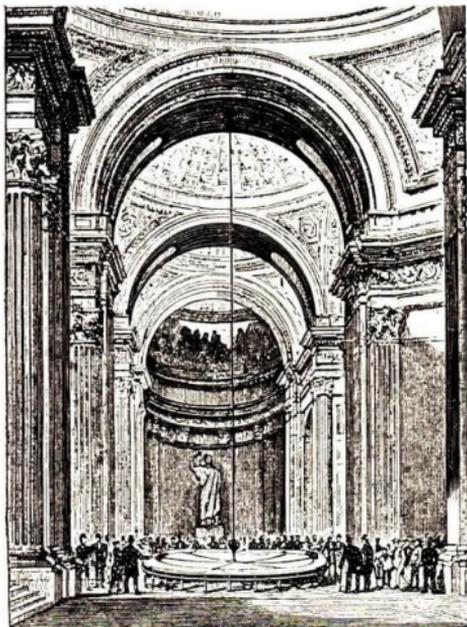


Abb. 35. Foucaults Versuch (1850)

Foucault ließ 1850 im Pantheon zu Paris ein 67 m langes Pendel schwingen. Er sah, daß dessen Schwingungsebene im Laufe eines Tages sich über der Unterlage drehte, und schloß daraus, daß die Erde sich unter dem Pendel langsam drehe.

§ 9. Wie erkennt man das Wirken einer Kraft?

Die Kraft ist unsichtbar. Die Physiker haben nun festgesetzt, daß man auf das Wirken einer Kraft schließen muß, wenn ein Körper seine Geschwindigkeit ändert oder wenn er aus der geradlinigen Bahn abweicht.

Beispiel: Bewegt man ein Wägelchen (Abb. 36) durch eine vorgespannte Feder, so sieht man zwar die Feder, aber nicht die bewegende Kraft. — Hält man die

Spiralfeder in stets gleicher Dehnung, so wirkt eine **konstante Kraft**. [Erfolg: Die Geschwindigkeit des Wägelchens nimmt fortgesetzt zu; man sagt, sie ist **beschleunigt**.]



Abb. 36. Wirkung einer Kraft

§ 10. Beschleunigte Bewegung

1. Woran erkennt man die Beschleunigung?

Beispiel: Macht ein Radfahrer in 1 Sek. den **Weg von 2 m** und in der folgenden Sekunde einen **Weg von 2,3 m**, so sagt man: Er hat seine Fahrt **beschleunigt**. Die Beschleunigung beträgt **0,3 m** in dieser Sekunde.

Die Beschleunigung erkennt man als **Zuwachs des Sekundenweges**.

2. Eine Bewegung ist gleichförmig beschleunigt, wenn die aufeinanderfolgenden **Sekundenwege** stufenweise stets um **denselben Betrag** ansteigen.

Beispiel: Macht der Radfahrer oben in der 1. Sek. den Weg **2 m**, in der zweiten **2,3 m**, in der dritten **2,6 m**, in der vierten **2,9 m** usw., so beträgt die Beschleunigung von jeder Sekunde zur nächsten stets **0,3 m**. [Ergebnis: Die Bewegung ist gleichmäßig beschleunigt.]

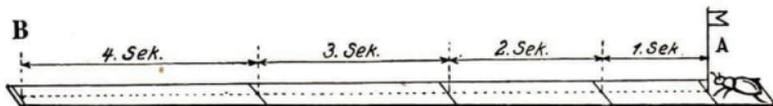


Abb. 37

Schülerübung an Abb. 37: Ein Käfer wandere die Linie **AB** entlang. (Sein Ort nach 1, 2, 3... Sek. ist jeweils angezeichnet.) Miß mit deinem Maßstab die **Sekundenwege**! (Tabelle.) Berechne hieraus (durch Abziehen) die **Beschleunigung** nach der 1., 2., 3... Sek.! Ist die Beschleunigung in allen Fällen dieselbe?

3. Zunahme der Geschwindigkeit. Macht der Radfahrer oben in der ersten Sekunde den **Weg 2 m**, in der zweiten den **Weg 2,3 m**, so ist in der ersten Sekunde seine (**mittlere**) **Geschwindigkeit 2 m**, in der zweiten **2,3 m**, also die **Geschwindigkeitszunahme 0,3 m**. Merke:

Die Beschleunigung gibt zugleich den sekundlichen **Zuwachs an Geschwindigkeit** an.

4. Ein **erstes Beispiel** einer „gleichförmig“ beschleunigten Bewegung in der Natur bietet das **Herabgleiten einer Kugel** auf einem schief gestellten Brett. Bequemer als das Brett ist die schon von **Galilei** benutzte **Fallrinne** (Abb. 38).

Schülerübung: Benütze als Fallrinne einen schräg gestellten Küchentopf und lege ein Blatt Papier hinein. Tauche nun eine Schrotkugel (besser größere Stahlkugel) in Tinte (Pinzette benutzen) und bringe sie etwas seitwärts in die Rinne. Sie rollt hin und her pendelnd bergab und zeichnet auf dem Papier eine Wellenlinie (ähnlich Abb. 39), deren Wellen nach unten hin immer langgestreckter werden. [Jeder Welle entspricht dieselbe Zeit.] Der Schüler kann nun bequem die Beschleunigung von Welle zu Welle

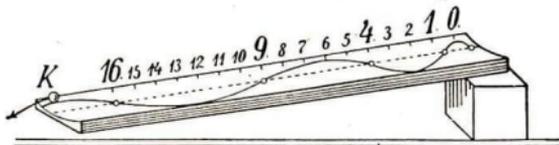


Abb. 38. Fallrinne



Abb. 39

durch Wegmessung feststellen. **Ergebnis:** Wird der Weg im ersten Zeiteilchen gleich 1 genommen (Annahme!), so ist er im zweiten Zeiteilchen 3, im dritten 5 usw., d. h.

a) Die aufeinanderfolgenden **Sekundenwege** verhalten sich wie die ungeraden Zahlen

$$1 \quad 3 \quad 5 \quad 7 \quad 9$$

Die Beschleunigung ist hier **fortgesetzt 2** (d. h. 2 mal so groß wie der Weg in der ersten Sekunde). Also haben wir es hier mit einer „gleichförmig“ beschleunigten Bewegung zu tun.

b) Die **Gesamtwege** in 1, 2, 3 ... Sekunden verhalten sich wie die aufeinanderfolgenden **Quadratzahlen**:

$$1 \quad 4 \quad 9 \quad 16 \quad 25$$

5. Ein **weiteres Beispiel** bietet der **freie Fall** eines Körpers.

Galilei bestimmte bei seinem berühmten Versuch am Schiefen Turm zu Pisa (1610), aus welcher **Höhe** er einen Stein fallen lassen mußte, damit dieser genau 1, 2, 3 ... **Sekunden** zum Fallen braucht. Er fand:

Fallweg in 1 Sek.	5 m = 1×5 m
Fallweg in 2 Sek.	20 m = 4×5 m
Fallweg in 3 Sek.	45 m = 9×5 m

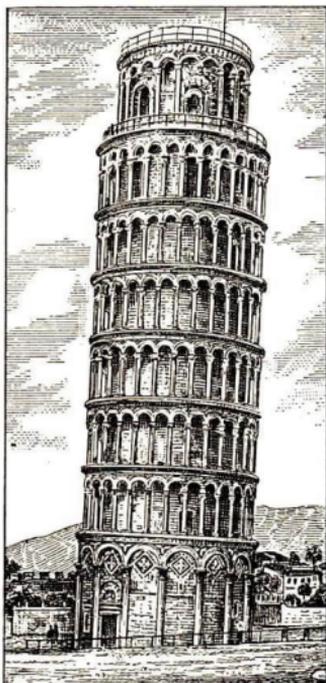


Abb. 40. Schiefer Turm zu Pisa

Daraus folgt:

a) Die Gesamtwege in 1, 2, 3 ... Sekunden verhalten sich wie die Quadratzahlen:

1 4 9 16

b) Die Sekundenwege (die sich durch Subtraktion ergeben) sind der Reihe nach

5 m 15 m 25 m 35 m

Sie zeigen also die „gleichbleibende“ Beschleunigung von **10 m**. Merke also:

Erdbeschleunigung $g = 10 \text{ m}$ in der Sek.

c) Daher nimmt auch die Geschwindigkeit des frei fallenden Körpers von Sek. zu Sek. um **10 m** zu.

Zu Beginn des freien Falles war die Geschwindigkeit Null, nach Verlauf von 1 Sek. ist sie 10 m/sek, nach 2 Sek. ist sie 20 m/sek, nach 3 Sek. ist sie 30 m/sek usw.

Für den freien Fall gelten also folgende 2 Formeln:

Weg nach t sek = $t^2 \cdot 5$ (m)

Geschw. nach t sek = $t \cdot 10$ m/sek

§ 11. Verzögerte Bewegung

1. Wirkt eine Kraft hemmend auf einen bewegten Körper (Bremsen eines Eisenbahnzuges), so nimmt dessen Geschwindigkeit ab. Man sagt, die Bewegung sei verzögert.

Weitere Beispiele: Beim „Eisschießen“ wird eine Platte auf dem Eise gegen ein Ziel geschleudert. Hemmend wirkt die Reibung. Ist diese an allen Stellen der Bahn gleich, so wird die Bewegung gleichmäßig verzögert. — Laß in Abb. 37 den Käfer den Weg rückwärts machen, so daß also seine Wege immer kleiner werden!

2. Ein Beispiel einer „gleichförmig“ verzögerten Bewegung bietet der lotrechte Wurf nach oben (Abb. 42). Dabei nimmt die Erde dem

emporsteigenden Körper von Sekunde zu Sekunde den Betrag von $g = 10 \text{ m/sek}$ an Geschwindigkeit.

Hat der Körper z. B. 40 m **Anfangsgeschwindigkeit**, so kann er nur 4 Sekunden lang steigen; dann kommt er einen Augenblick zur Ruhe, bevor er zurückfällt.

Aufgaben

1. Wie weit fällt ein Stein in $2, 3, 4$ Sekunden? In $3\frac{1}{2}$ Sek.? [Formel: Fallweg = $t^2 \cdot 5 \text{ m.}$] — Gib selbst ein Beispiel!
2. Welche Geschwindigkeit zeigt ein frei fallender Stein nach diesen Zeiten? [Formel?]
3. Man läßt von der Höhe des Pantheons in Paris (Abb. 35) aus 67 m Höhe einen Nagel fallen; hat dieser nach 3 Sekunden den Boden schon erreicht? Nach 4 Sekunden?

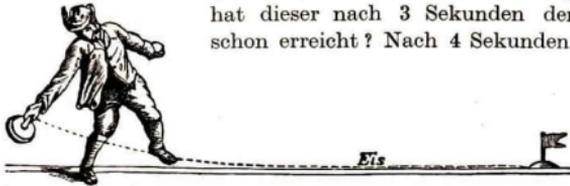


Abb. 41. Bewegung beim Eisschießen

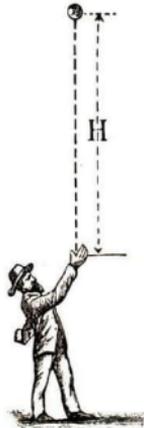


Abb. 42

Zusammensetzung von Bewegungen

§ 12. Vom Parallelogramm der Wege

1. Kann ein Punkt gleichzeitig zwei Bewegungen machen?

Beispiel: Ein Mann bewege sich auf einem Schiffe (Abb. 43) von A nach X (**erste Bewegung**). Gleichzeitig ist das Schiff stromabwärts getrieben worden um die Strecke AA' (**zweite Bewegung**).

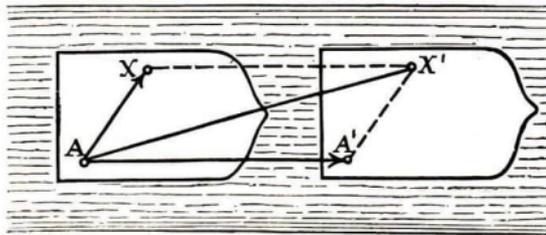


Abb. 43. Parallelogramm der Bewegung

Wäre das Schiff stehengeblieben, so stünde der Mann später in X (AX = erster Weg). Wäre der Mann stehengeblieben, so stünde er später in A' (AA' = zweiter

Weg). Bewegen sich aber Schiff und Mann, so steht der Mann schließlich in X' . — Für einen aus der Vogelperspektive herabblickenden Beobachter erscheint es so, als habe sich der Mann in der **Diagonale** von A nach X' bewegt. Ergebnis:

Soll ein Punkt zwei Bewegungen folgen, so bewegt er sich in der **Diagonale des Parallelogramms**, das man aus beiden Wegen herstellen kann. Man sagt kurz:

Wege setzen sich nach dem **Parallelogramm** zusammen

2. Weitere Beispiele. Gehen quer über einen bewegten Teppich; Lauf eines Bootes, das quer zu einer Strömung gerudert wird.

§ 13. Die Wurflinie

1. Man spricht von **horizontalem Wurf**, wenn ein Körper in waagerechter Richtung fortgeschleudert wird.

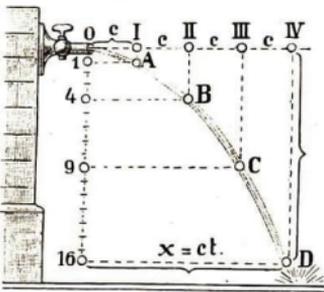


Abb. 44. Waagerechter Wurf

Vorübung: Schließ an die Wasserleitung einen Gummischlauch an und laß bei geringer Öffnung des Wasserhahnes einen Wasserstrahl waagrecht austreten (Abb. 44). Miß in gleichen waagerechten Abständen (I, II, III, IV) die zugehörigen Falltiefen! [Ergebnis: Sie verhalten sich wie die Quadratzahlen 1 : 4 : 9 : 16.] — Merke:

Diese Bewegung ist eine zusammengesetzte, da der fortgeschleuderte Körper 1. gleichmäßig waagrecht weiterlaufen sollte mit der erhaltenen Anfangsgeschwindigkeit c , 2. zugleich fallen sollte. Er tut beides gleichzeitig und beschreibt dabei eine krumme Linie, die man **Parabel** nennt.

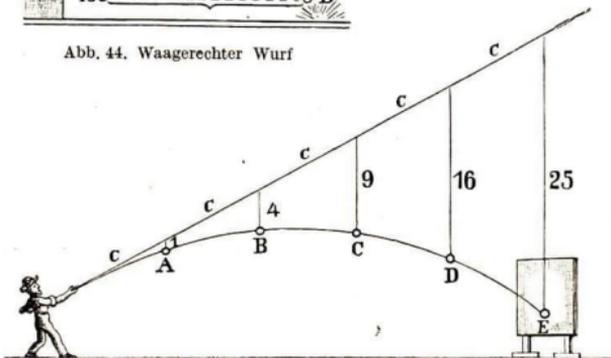


Abb. 45. Konstruktion der Wurflinie

Zeichnung. a) Die Fallwege nach 1, 2, 3 . . . Sek. verhalten sich wie 1:4:9:...
 b) Die waagerechten Wege sind in jeder Sekunde gleich groß. c) Konstruiert

man nun je aus beiden Wegen das Parallelogramm, so findet man, daß sich der geschleuderte Körper nach Verlauf dieser Zeiten in A bzw. B bzw. C usw. befinden muß.

2. Man spricht von schiefem Wurf, wenn der Körper unter einem Winkel α (= Erhebungswinkel) schräg gegen den Horizont fortgeschleudert wird. Die Bewegung ist wieder eine zusammengesetzte, da der Körper 1. in der Anfangsrichtung gleichmäßig mit der Anfangsgeschwindigkeit c weiterlaufen sollte, 2. gleichzeitig fallen sollte.

Zeichnung. Ähnlich wie vorhin (vgl. Abb. 45).

§ 14. Die Kreisbewegung

1. Die einfachste Kreisbewegung ergibt sich, wenn man z. B. einen Körper an einer straff gespannten Schnur, die am Ende (M in Abb. 46) festgehalten wird, rasch im Kreise herumlaufen läßt. (Schleuder.)

Wir verspüren dabei, daß die Hand einen steten Zug aufwenden muß, um den Körper zum Mittelpunkt heranzuziehen. [Name: Zentripetalkraft.] — Reißt die Schnur ab, so springt aber der Körper

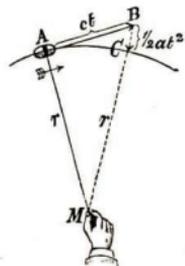


Abb. 46. Schleuder

nicht radial

...

sondern tangential

ab, d. h. er geht — frei geworden — nach dem Gesetz der Trägheit im Sinne seines letzten Wegstückchens weiter.

2. Benennung. Die von der Hand auf den Körper ausgeübte Kraft heißt die Zentripetalkraft (Schwungkraft).

Wer die Schleuder hält, glaubt, es sei so, „als ob“ eine Gegenpartei gegen ihn zöge. Diesen vermuteten Zug nach auswärts hieß man früher Zentrifugal- oder Fliehkraft.

Beim Umlauf sucht sich der Körper vom Mittelpunkt zu entfernen

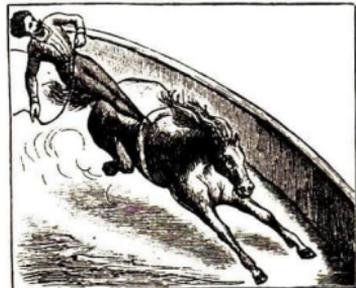


Abb. 47. Das Einwärtsneigen

Um dem Zuge der Fliehkraft durch sein Gewicht standzuhalten, muß z. B. ein Schnellläufer, ein Reiter (Abb. 47) sich auf Bahnen scharfer Krümmung stark nach einwärts neigen. Um dieses Einwärtsneigen auch bei Eisenbahn-

zügen zu erreichen, die eine Kurve zu nehmen haben, ist an den Kurvenstellen die äußere Schiene überhöht.

3. Die Wirkungen der Fliehkraft studiert man an der **Schwungmaschine**. Dies ist eine Räderverbindung, durch die man eine Achse in rasche Drehung versetzen kann.

Auf dieser Achse können verschiedene Vorrichtungen aufgesetzt werden, z. B. das Modell zur Veranschaulichung der **Erdabplattung** (Abb. 49), der **Zentrifugal-**

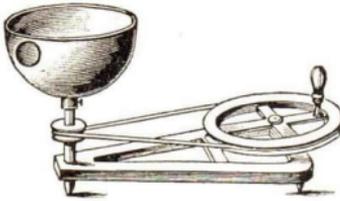


Abb. 48. Schwungmaschine

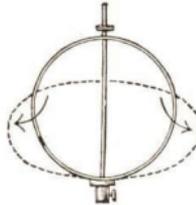


Abb. 49. Abplattung

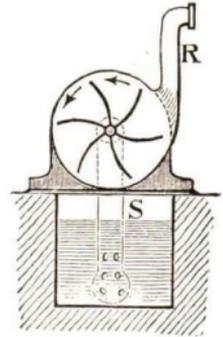


Abb. 50. Zentrifugalpumpe

regulator (der bei den Dampfmaschinen den Dampfstrom selbsttätig regelt), eine **Hohlkugel** mit Wasser und Quecksilber (um zu zeigen, daß spezifisch schwerere Körper stärkere Fliehkraft zeigen als leichtere) usw.

4. Eine wichtige Anwendung findet die Fliehkraft bei der **Zentrifugalpumpe** (Abb. 50).

Vorgang. Durch rasche Umdrehung eines Schaufelrades in einer Kapsel wird Luft zentrifugal hinausgeschleudert und dadurch in der Mitte ein luftleerer Raum geschaffen, in den der äußere Luftdruck Wasser hineintreibt.

Zentrifugen (= Schleudermaschinen) finden Verwendung in den Wäschereien zum Reinigen der Wäsche, in den Molkereien zum Ausschleudern der Butter, dann zum Reinigen des Honigs (Schleuderhonig) usw.

5. Die Planeten umkreisen wie **Schleudern** von gewaltiger Masse die Sonne in riesigen Abständen mit großer Geschwindigkeit (Erde 29 km/sek).

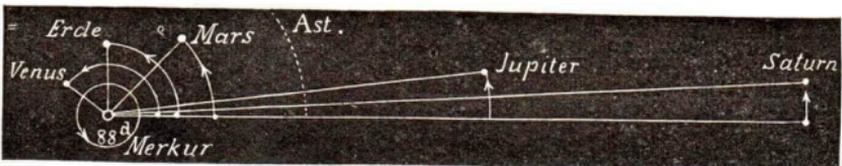


Abb. 51. Wege der Planeten bei einem Merkurumlauf

Dies erkannte zum erstenmal der deutsche Domherr **Kopernikus** aus Thorn, der darüber **1542** eine kleine Schrift veröffentlichte, deren Erscheinen er aber nicht mehr erlebte.

Der geistesgewaltige **Newton** (ein Zeitgenosse Huygens') schloß **1686**, daß die Sonne wie durch ein unsichtbares Band die Planeten an sich zieht, und berechnete als erster die zugehörige Zentripetalkraft.

So begründete **Newton** die Himmelsmechanik, wie 80 Jahre vor ihm **Galilei** die Mechanik der irdischen Bewegungen begründet hat.

Gleichgewichtslagen

§ 15. Gleichgewicht entgegengesetzter Kräfte

1. Eine Kraft hat drei Merkmale: Angriffspunkt, Richtung und Größe. (Erkläre Abb. 52!)

2. **Darstellung.** Zeichnerisch stellt man eine Kraft durch eine gepfeilte Strecke dar.

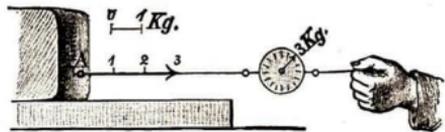
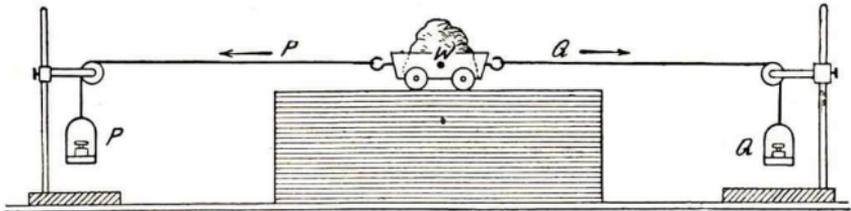


Abb. 52

Diese läßt man in Richtung der Kraft vom Angriffspunkte *A* ausgehen und bemißt ihre Länge nach einem freigewählten **Kräftemaßstab** (z. B. 1 kg = 1 cm).

3. Den **Angriffspunkt** kann man (bei einem starren Körper) in der Kraftrichtung beliebig verschieben.



!Abb. 53. Gleichgewicht von *P* und *Q*

Es ist von derselben Wirkung, ob die Lokomotive vorn am Zug oder in dessen Mitte oder an dessen Ende angesetzt ist.

4. Zwei entgegengesetzt gleiche Kräfte, die auf einen Punkt wirken, heben einander auf. Man sagt, sie halten einander im **Gleichgewicht**. (Denk an das Seilziehen!) Erkläre Abb. 53!

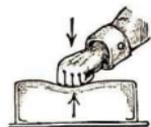


Abb. 54
Gegenwirkung

5. **Erfahrung auf dem Sofa.** Setzt man sich auf ein Sofa, so übt man auf dessen Federn einen Druck **nach unten** aus.

Die Federn üben, zusammengepreßt, einen **Gegendruck nach oben** aus.

Gleichgewicht oder Ruhe tritt erst dann ein, wenn **Druck** gleich **Gegendruck** ist. Merke: Am ruhenden Körper ist

$$\text{Druck} = \text{Gegendruck}$$

§ 16. Satz vom Kräfteparallelogramm

1. Zwei Verfahren, um eine Last Z zu heben. (Abb. 55.) a) Um die Last Z zu heben, brauchte man nur eine einzige, ihr gleiche Kraft R aufzuwenden, die nach aufwärts wirkt ($R = Z$).

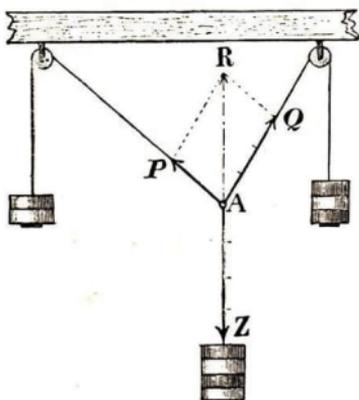


Abb. 55. Drei Kräfte im Gleichgewicht

b) Oder man kann sie durch 2 Kräfte P und Q heben, die einen Winkel bilden (Abb. 55). Der Schüler führe einen solchen Versuch aus!

Der Holländer Deichinspektor *Stevin* (1620) trug vom Angriffspunkt A aus die **Kraftpfeile** für P , Q und R an (diese sind in Abb. 55: $P = 2$, $Q = 3$, $R = 4$) und erkannte zu seiner großen Überraschung, daß die Endpunkte dieser Pfeile mit A die Ecken eines Parallelogramms bilden.

Ergebnis: Zwei Kräfte P und Q , die in einem Punkte angreifen und einen Winkel bilden, können durch eine einzige Kraft (R) ersetzt werden. Die Kräfte P und Q heißen **Seitenkräfte** oder **Komponenten**, die Ersatzkraft R heißt **Mittelkraft** oder **Resultante**. Merke:

Die **Mittelkraft** R findet man, indem man zwischen die **Kraftpfeile** der **Komponenten** P und Q das sog. **Kräfteparallelogramm** einbaut.

Die vom Angriffspunkt A ausgehende **Diagonale** gibt dann nach Richtung und Größe die gesuchte **Mittelkraft** an.

2. **Zerlegung einer Kraft in zwei Kräfte.** Umgekehrt kann man eine vorgegebene **Kraft** R leicht wieder in zwei Kräfte P und Q zerlegen, die in vorgeschriebenen Linien wirken. Der Zeichner hat nur zwischen diese Linien das **Kräfteparallelogramm** richtig einzubauen.

Beispiel: Es soll, wie Abb. 56 zeigt, eine Last $R = 600$ kg von zwei Arbeitern X und Y emporgezogen werden, deren Seile Winkel von 30° mit der Lotlinie bilden. Was hat jeder zu ziehen? **Antwort:** Soll die Last durch einen Arbeiter aufgezogen werden, so hat dieser eine Kraft $R = 600$ kg aufzuwenden. Diese wird

dargestellt durch eine gefeilte Strecke von der Länge 6. Durch Ziehen von Parallelen zu den Seilen findet man das Kräfteparallelogramm. Eine Ausmessung von P und Q ergibt je die Länge 3,5, also hat jeder der Arbeiter X und Y 350 kg zu ziehen. (Mehr als die Hälfte!!)

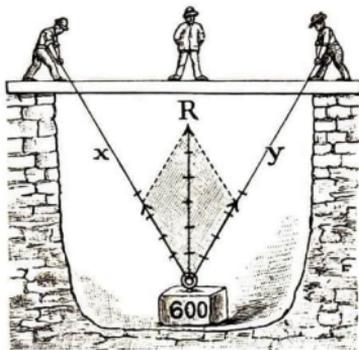


Abb. 56. Zerlegung von R

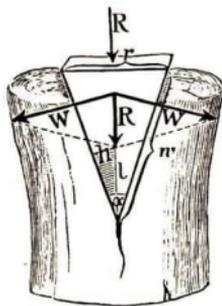


Abb. 57. Der Keil

3. Erkläre die Kraftzerlegung beim Keil! (Abb. 57.) Die Kraft R , die man gegen den Rücken des Keiles ausübt, zerlegt sich in zwei Seitenkräfte W, W senkrecht gegen die Wangen des Keiles. (Je spitzer der Keil, desto größer werden die Drucke W , die das Holz spalten.)

Aufgaben

1. Es sollen zwei Kräfte $P = 3$ kg und $Q = 5$ kg zusammengesetzt werden, die einen Winkel von 30° ($45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$) miteinander bilden. Wie groß ist in jedem Falle die Mittelkraft? (Zeichnung; Messung in der Zeichnung; Antwort.)
2. Eine Last $R = 500$ kg soll an zwei Seilen gehoben werden (Abb. 56), die mit dem Lot je einen Winkel von 30° (45°) bilden. Welche Seitenkräfte sind zum Hub nötig? (Zeichnung; Messung!)

§ 17. Zwei parallelen Kräften soll standgehalten werden

1. Beispiel von parallelen Kräften. Jemand trägt einen Korb Äpfel; jeder Apfel hat ein Gewicht (\downarrow). Beim Tragen muß man **einen** Zug (\uparrow) anwenden, der so groß ist wie das Gewicht des Korbes und aller Äpfel zusammen. (Prüfung mit einem Kraftmesser.)

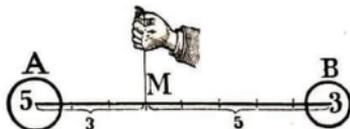


Abb. 58

Weiteres Beispiel: Man soll eine Stange heben (Abb. 58), an deren Enden sich zwei schwere Kugeln von 3 bzw. 5 kg Gewicht befinden. Man braucht eine

Kraft (\uparrow) gleich dem Gewicht der Stange plus $3 + 5 = 8$ kg. Dabei greift die Resultante näher an der schwereren Kugel an.

2. Wo liegt der Angriffspunkt? Dies lehrt folgender Versuch (Abb. 59).

Schülerübung: Befestige einen runden Kork auf einem Brettchen und lege deinen Prismenmaßstab darauf. Im Abstand 3 cm von M belaste den Maßstab links mit einem 5-g-Stück, rechts im Abstand 5 cm mit 3 g! [Ergebnis: Gleichgewicht!, d. h. die Mittelkraft von P und Q geht durch M ! Merke also:

Man erhält den Angriffspunkt der Mittelkraft, indem man den Abstand der Komponenten im umgekehrten-Verhältnis der letzteren teilt.

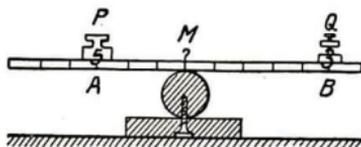
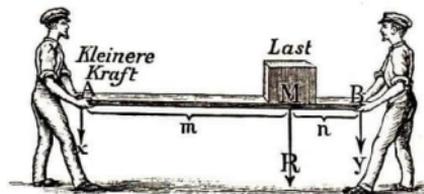


Abb. 59

Abb. 60. Zerlegung von R

In Abb. 58 muß man also den Abstand AB in $(5 + 3) = 8$ gleiche Zeile zerlegen. Der Last 3 gehören dann 5, der Last 5 gehören 3 Teile zu. (Die Stange sei gewichtslos gedacht.)

3. **Anwendung.** Haben 2 Personen eine Last R auf einem Brett zu heben (Abb. 60), so hat derjenige den größeren Kraftteil auszuüben, dem die Last näher liegt, der andere den Rest.

Ist in Abb. 60 $m = 3$, $n = 1$, so treffen auf den rechten Arbeiter $\frac{3}{4}$, auf den linken $\frac{1}{4}$ der Last.

Liegt die Last in der Mitte des Brettes, so hat jeder Arbeiter die Hälfte zu tragen.

Aufgaben

1. Wenn in Abb. 60 das leere Brett 8 kg wiegt, was hat jeder Arbeiter dann zu tragen a) bei unbelastetem Brett?, b) wenn noch eine Last von 40 kg so darauf liegt, daß $m = 3$, $n = 1$ ist?

2. Berechne dieselbe Aufgabe für ein selbstgewähltes Zahlenbeispiel!

§ 18. Schwerpunkt

Vorübung: Unterstütze dein Buch mit dem Zeigefinger so, daß es darauf frei schwebt (Abb. 61). — **Überlegung:** Jedes Teilchen des Buches hat ein Gewicht. (Denke an den Korb Äpfel in § 17.) Diese kleinen Gewichte sind parallele Kräfte. a) Ihre **Mittelkraft** ist gleich dem Gesamtgewicht des Körpers. b) Sie greift in einem gewissen Punkt an, den man durch Versuch feststellen kann. Diesen Angriffspunkt des Gesamtgewichts nennt man **Schwerpunkt**. Merke also:

1. Unter **Schwerpunkt** eines Körpers versteht man den **Punkt**, in dem man sich das **ganze Gewicht** des Körpers **vereinigt** denken kann.

|| Unterstützt man den Körper im Schwerpunkt, so ist der Körper in jeder Lage im Gleichgewicht.

Es ist so, als ob der Schwerpunkt der einzig schwere Punkt des ganzen Körpers wäre.

2. **Aufhängung in einem anderen Punkt.** Hängt man einen Körper in einem anderen Punkt auf (Abb. 62), so dreht er sich so lange, bis



Abb. 61. Schwerpunkt

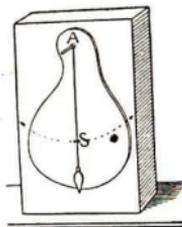
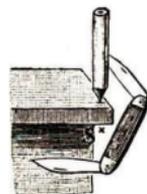


Abb. 62

Abb. 63
Der Schwerpunkt S
liegt in der Luft

sein Schwerpunkt lotrecht unter dem Aufhängepunkt liegt. Zeichnet man diese Linie an, so hat man eine durch den Schwerpunkt gehende Linie, d. h. eine **Schwerlinie**.

Durch Aufhängung in einem zweiten (dritten) Punkt kann man eine zweite (dritte) Schwerlinie feststellen. Wo diese Schwerlinien sich schneiden, ist der Schwerpunkt des Körpers.

Schülerübung: Schneide aus Papier eine birnförmige Figur aus, bohre bei A ein Loch hinein und stecke sie dort mit einer Stecknadel an einem Holzklötz (Abb. 62) oder an der Tür fest! Laß die Figur schwingen! Hänge ein Lot davor (Faden mit g-Stück belastet) und ziehe mit Bleistift die Lotlinie nach! — Hänge an einem anderen (dritten usw.) Punkt auf und ziehe die Schwerlinie! [Ergebnis: Alle schneiden sich in demselben Punkt.]

3. Der Schwerpunkt ist nur ein gedachter Punkt, der häufig gar nicht mit einem Massenpunkt zusammenfällt.

Beispiele: Hohlkugel, Ring; auch bei dem bekannten Kunststück, einen Bleistift durch Anfügen eines Taschenmessers auf der Spitze zum Stehen zu bringen, liegt der Schwerpunkt in der Luft (Abb. 63).

4. Die drei Arten des Gleichgewichts (Abb. 64). a) Ist ein Körper genau im Schwerpunkt aufgehängt, so ist sein Gleichgewicht indifferent, d. h. er bleibt in jeder Lage stehen. (Drehe ein Wagenrad um seine Achse!)

b) Ist er über dem Schwerpunkt aufgehängt, so ist sein Gleichgewicht stabil, d. h. er kehrt nach jedem Anstoß wieder in seine frühere Ruhelage zurück (Kronleuchter).

c) Ist er unterhalb des Schwerpunktes unterstützt, so ist sein Gleichgewicht labil, d. h. beim geringsten Anstoß fällt der Körper um. (Balanciere eine Stange auf der Spitze!)

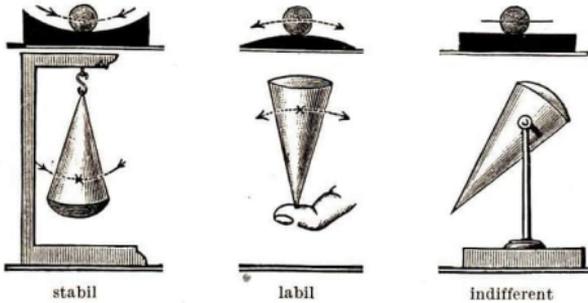


Abb. 64. Die drei Gleichgewichtslagen

Allgemeines Kennzeichen. Das Gleichgewicht ist **stabil**, wenn der Schwerpunkt bei jeder Lagenveränderung steigen müßte. (Kugel in einer Schüssel, Wackeln einer Flasche.) — Das Gleichgewicht ist **labil**, wenn der Schwerpunkt bei jeder Lagenänderung fallen müßte. (Kugel auf einer Kugel.) — Das Gleichgewicht ist **indifferent**, wenn der Schwerpunkt bei jeder Lagenänderung weder steigt noch fällt. (Walze auf waagerechtem Tisch.)

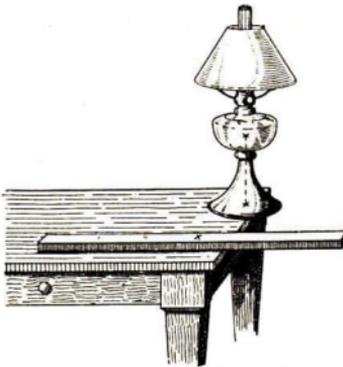


Abb. 65. Fällt die Lampe um?

Die Kugeln der Akrobaten sind hohl und zum Teil mit Sand gefüllt. Das verlegt den Schwerpunkt der Kugeln nach unten und vermindert ihre Beweglichkeit stark.

5. Umfallen eines Körpers. Soll ein Körper nicht umfallen, so muß sein Schwerpunkt noch unterstützt sein, d. h.

Das Lot vom Schwerpunkt muß noch **innerhalb** der Stützfläche auftreffen (Abb. 65).

Fällt das Lot außerhalb, so kippt der Körper um.

Beispiele: Ein Mensch fällt um, wenn er sich zu weit zurückneigt; ein hochbeladener Wagen kippt um, wenn er mit einem seitlichen Räderpaar einen zu steilen Hang streift; der Schiefe Turm zu Pisa steht noch.

Vom Befördern der Körper

§ 19. Arbeit. Reibungswiderstand

1. **Begriff der Arbeit.** Zieht ein Pferd einen Pflug über einen Acker, so leistet es Arbeit. Arbeit ist daher Aufwand einer **Kraft** längs eines Weges.

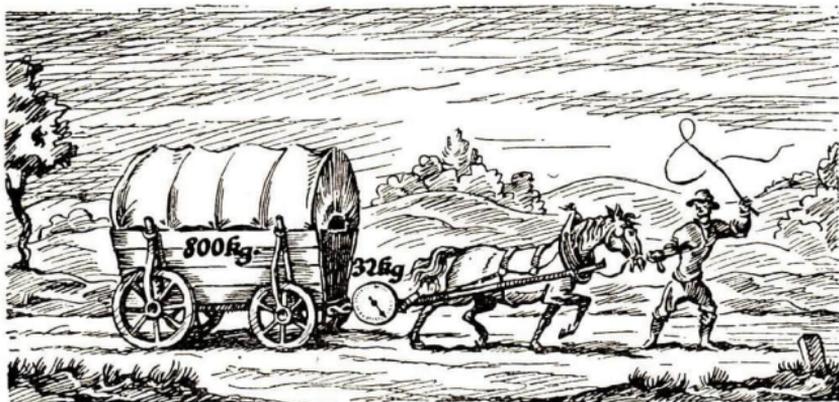


Abb. 66. Verwendung der Kraftmesser

2. Die Einheit der Arbeit leistet man also, wenn man die Kraft 1 kg längs 1 m Weg aufwendet. Diese Arbeit heißt **1 Meterkilogramm (mkg)**.

Hebe 1 kg 1 m hoch!

3. **Berechnung der Arbeit.** Jeder Dienstmann weiß, daß die Arbeit sowohl mit der Länge des Weges als auch mit der aufzuwendenden Kraft wächst. Die Arbeit erhält man also, indem man Kraft und Weg miteinander multipliziert.

$$\text{Arbeit} = \text{Kraft} \times \text{Weg}$$

Z. B.: 1. Ein 70 kg schwerer Mann besteigt einen 90 m hohen Turm. Arbeit = 70 kg · 90 m = 6300 mkg. — 2. Ein Pferd zieht einen Wagen 1 km weit (Abb. 66). Ein zwischen Pferd und Wagen eingeschaltetes Dynamometer zeigt auf 32 kg Zug. Arbeit = 32 kg · 1000 m = 32000 mkg.



Abb. 67

4. Bei waagerechter Beförderung hat man erfahrungsgemäß weniger Kraft aufzuwenden als die Last wiegt.

In Abb. 66 wiegt die Last 800 kg, die aufzuwendende Kraft ist nur 32 kg. Da 1% von 800 kg nur 8 kg sind, so ist die aufzuwendende Kraft hier 4% von der Last.

Je rauher die Unterlage ist, desto mehr Kraft muß man zu ihrer Beförderung aufwenden. Man sagt kurz:

Bei waagerechter Beförderung hat man nur den **Reibungswiderstand** zu überwinden.

Dieser ist nur ein Bruchteil des Druckes (\downarrow), den der Körper gegen seine Unterlage ausübt. Dieser Bruch (μ) wird **Reibungszahl** genannt.

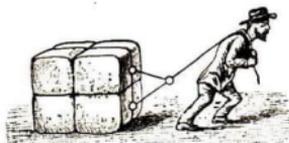


Abb. 68. Gleitende Reibung

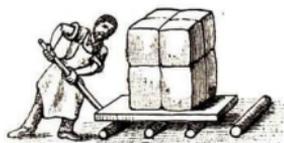


Abb. 69. Wälzende Reibung

Die Reibungszahl ist um so kleiner, je glatter die Unterlage ist. Man unterscheidet die **gleitende** Reibung (Abb. 68) und die **wälzende** Reibung (Abb. 69).

Für das Gleiten von Metall auf Metall ist $\mu = 0,15 \left(= \frac{15}{100} \right) = 15\%$

für das Walzen von Metall auf Metall ist $\mu = 0,02 \left(= \frac{2}{100} \right) = 2\%$.

Beispiel: Welche Arbeit leistet ein **Pferd**, das einen 1300 kg schweren, mit 20 Personen zu je 75 kg besetzten Wagen 1 km weit zieht? ($\mu = 0,02$.) Antwort: Druck auf die Schienen $D = (1300 + 20 \cdot 75)$ kg = 2800 kg, Reibung $R = 0,02 \cdot 2800$ kg = 56 kg; Arbeit = $56 \cdot 1000$ mkg.

Schülerübung: Versuche 1 kg-Stück mit Hilfe eines waagrecht gespannten Fadens auf dem Tisch fortzuziehen! Benutze Rolle und Gewichte nach Anleitung des Lehrers! Bestimme die Reibungszahl!

5. Die in 1 Sekunde geleistete Arbeit heißt **Leistung** oder **Effekt**. Merke: Die Arbeit von 75 mkg in einer Sekunde heißt eine **Pferdestärke** (PS).

$1 \text{ Pferdestärke (PS)} = 75 \text{ mkg/sek}$

Beispiel: Das Pferd in Abb. 66 ziehe den Wagen in 18 Minuten (das sind $18 \cdot 60 = 1080$ Sekunden) 1 km weit. Dann ist seine sekundlich geleistete Arbeit = Kraft \times Weg: $1080 = 32 \text{ kg} \times 1000 \text{ m} : 1080 = 30 \text{ mkg/sek} = \frac{30}{75}$ PS. (Merke: Ein Pferd leistet meist keine ganze PS.)

6. Wirkt die bewegende Kraft schief gegen die Bahn (Abb. 70), so zerlegt man sie in eine Bewegungskomponente (parallel zur Bahn) und in eine Druckkomponente (senkrecht zur Bahn). Bei Leistung der Arbeit kommt nur die erstere in Betracht.

Aufgaben

1. Ein 5 m^3 großer Marmorblock soll mit einem Kran 20 cm hoch gehoben werden. Arbeit? [Antwort: 2700 mkg.] — 2. Ein Tagelöhner schaufelt 1 m^3 Sand in $\frac{1}{4}$ Stunde auf einen Wagen von 80 cm Höhe. Arbeit? Leistung? [Antwort: 1600 mkg; rund 2 mkg/sek.] —
3. Eine Bergwerkspumpe fördert in $\frac{1}{4}$ Stunde 27 m^3 Wasser aus 20 m Tiefe. Leistung? [Antwort: 8 PS.] —
4. Ein Wagen von 1875 kg Gewicht wird bei 1% Reibung von einem Pferd in 10 Minuten 1,2 km weit gezogen. Leistung? [Antwort: $\frac{1}{2}$ PS.]

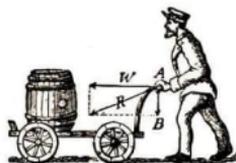


Abb. 70

§ 20. Abänderung der Arbeit. Goldene Regel

1. Erfahrung beim Hochziehen einer Last. Hat z. B. ein Müller 100 Zentnersäcke Mehl auf eine gewisse Höhe h emporzuziehen, so kann er diese Arbeit auf verschiedene Weise leisten.

Er kann jeden Sack einzeln hochziehen, dann muß er den Weg 100mal machen. Zieht er jeweils 2 Säcke empor, so braucht er den Weg nur 50mal zu machen. Zieht er jeweils 10 Säcke zugleich empor, so braucht er den Weg nur 10mal zu machen; zieht er, aber alle, 100 Säcke auf einmal hoch, so braucht er den Weg nur einmal zu machen.

Daher das wichtige Ergebnis:

Je kleiner die Kraft ist, die man aufwenden will, desto länger ist der Weg der Kraft. Der Techniker sagt kurz:



Abb. 71. Hochziehen einer Last

Was an **Kraft** gewonnen wird, wird an **Weg** verloren

Der Physiker sagt besser: An **Arbeit** (d. h. **Kraft** \times **Weg**) wird nichts gewonnen.

2. Diese Regel des *Galilei* heißt die goldene Regel der Mechanik, da sie sich bei allen Maschinen bewährt und zu einer leichten Kraftberechnung führt.

Die Maschinen sind Vorrichtungen, um eine Arbeit in ein anderes Faktorenpaar (Kraft \times Weg) zu zerlegen. Sie ersparen uns an Arbeit nicht das geringste. Merke:

Maschinen sind Arbeitstransformatoren, keine Arbeitssparer

Analogie: Beim Geldwechseln bleibt der Geldbetrag auch derselbe. Je geringwertiger die Einzelmünze, desto größer die notwendige Anzahl der Münzen, um einen bestimmten Betrag zu wechseln.

Die einfachen Maschinen

§ 21. Hochziehen einer Last mittels Rollen

1. **Nachteil des Leitbalkens.** Im Altertum benutzte man zum Hochziehen einer Last einen Leitbalken, über den man das Zugseil führte (Abb. 72).

Nachteil. Ein Versuch mit einem Kraftmesser zeigt, daß man wegen der großen Reibung des Seiles am Leitbalken **mehr an Kraft** (P) aufwenden muß, als die Last (Q) wiegt.

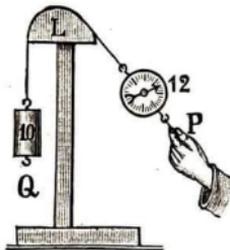


Abb. 72

Änderung der Seilspannung

Man hat nur den einen Vorteil dabei, daß man, statt aufwärts ziehen zu müssen, abwärts ziehen kann. — Besser als der Leitbalken wirkt die Rolle, die sehr wenig Reibung hat.

2. **Die Rolle** ist eine kreisförmige, um ihre Achse leicht drehbare **Scheibe**, die am Rand eine Schnurlaufrinne aufweist. Die Achse ruht in einem gabelförmigen Gestell, das in einem Haken endet.

Man nennt die Rolle **fest**, wenn sie bei der Drehung an ihrem Orte bleibt, dagegen **lose**, wenn sie bei der Bewegung emporsteigt oder sinkt.

a) Bei der **festen Rolle** (Abb. 73) ist die aufzuwendende Kraft P (abgesehen von der geringen Reibung der Rolle) genau gleich der Last Q , also:

$$P = Q$$

Vorteil. Die feste Rolle erspart an Kraft nichts, aber auch an Weg nichts. Sie gestattet aber die Zugrichtung zu ändern. — Der **Techniker** sagt: Die Seilspannung ist zu beiden Seiten der Rolle dieselbe.

b) Bei der **losen Rolle** (Abb. 74) hängt die Last Q an zwei Seilstücken, die parallel nach oben führen. Auf jedes trifft die Hälfte der Last, die

eine Hälfte läßt man von der Aufhängung *B* tragen, die andere trifft auf den Arbeiter. Also:

$$P = \frac{Q}{2}$$

Vorteil: Die lose Rolle halbiert die Last (zur Last gehört natürlich auch das Rollengewicht).

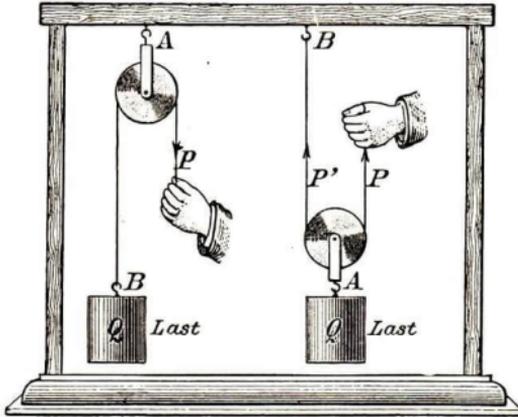


Abb. 73
Feste Rolle

Abb. 74
Lose Rolle

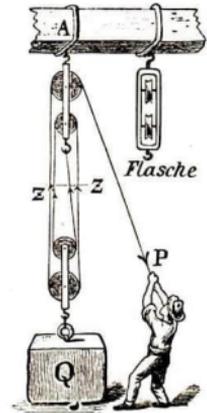


Abb. 75
Gewöhnlicher Flaschenzug

Dafür ist aber nun der Weg der Kraft doppelt so lang als der Weg der Last. [Laß die Last um 10 cm steigen; die Hand des Arbeiters *P* geht dann um 20 cm in die Höhe.]

3. Der gewöhnliche Flaschenzug ist eine Verbindung von zwei Flaschen, einer losen und einer festen (Abb. 75).

Jede der Flaschen ist ein Gestell mit zwei, drei oder mehr Rollen. In der obenstehenden Abbildung hat jede Flasche zwei Rollen. Die Last *Q* hängt also an vier Seilstücken. Denken wir diese durchgeschnitten, so würde die Last herunterfallen. Um dies zu hindern, wären vier Fäuste nötig. Auf jede Faust trifft also $\frac{1}{4}$ der Last *Q*. Der Arbeiter *P* hat also, da feste Rollen ja an der Seilspannung nichts ändern, nur die Kraft $\frac{1}{4} Q$ aufzuwenden:

$$P = \frac{Q}{4}$$

4. Kein Arbeitsgewinn!

Soll die Last *Q* um 1 m gehoben werden, so könnte das geschehen, indem man jedes der 4 Seilstücke, an denen die Last *Q* hängt, um 1 m kürzt (d. h. je 1 m

herausschneidet). Das Flaschenzugseil ist also um 4 m zu kürzen, wenn die Last um 1 m steigen soll. Der Arbeiter hat also zwar nur $\frac{1}{4}$ der Kraft aufzuwenden, dafür aber einen 4mal längeren Weg mit seiner Faust zurückzulegen.

5. Geschichtliches über das Rad. Der Urmensch stellte ein Rad wohl zuerst so her, daß er aus einem Baumstamm eine Scheibe schnitt und durch die Scheibenmitte eine Achse steckte. Band er zwei lange Stangen an die Radachse (Abb. 76), so hatte er eine Tragbahre, wobei der eine Träger erspart wurde (Abb. 60). So entstand der einräderrige Schubkarren. Je näher die Last L am Rad liegt, desto weniger Hubkraft Q trifft auf den Arbeiter.

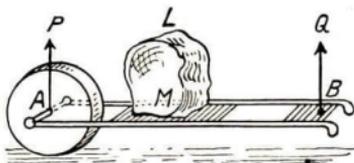


Abb. 76. Entstehung des Schubkarrens

Aufgaben

1. Zeichne einen Flaschenzug mit 2×2 Rollen! a) Welche Kraft ist nötig, um damit eine Last von 1 Zentner zu heben? b) Wieviel Seil muß der Arbeiter abwickeln, um die Last um 1 m zu heben?
2. Löse dieselben Fragen für einen Flaschenzug mit 2×3 Rollen!

§ 22. Der Hebel

Zur Zeit des Pyramidenbaus (3000 v. Chr.), wo ganz gewaltige Steinquader auf geradezu schwindelnde Höhen (150 m!) gehoben werden mußten, benutzte man zum Hub schon den Hebel (Abb. 77).

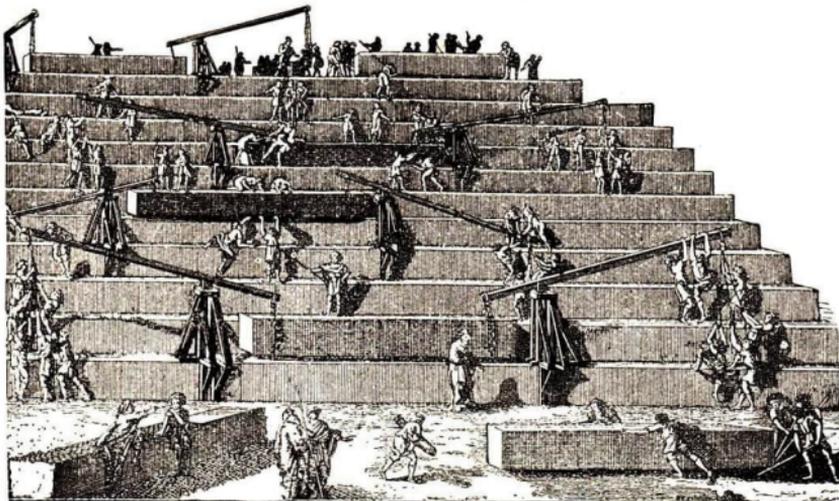


Abb. 77. Der Hebel beim Pyramidenbau

Welch unerhörte Summe von Arbeit in einer solchen Pyramide **aufgespeichert** ist, macht sich nur der klar, der die Arbeit berechnet, die zu ihrem Aufbau erforderlich war. Ein einziger Quader von 10 m^3 Größe auf 150 m Höhe befördert, erforderte eine Arbeit von rund $10 \cdot 1000 \cdot 2 \text{ kg} \times 150 \text{ m} = 3 \text{ Mill. mkg}$. Und wieviel Tausende und aber Tausende solcher Quader waren nötig! Dazu kommt ihre Bearbeitung und ihr Transport aus ferngelegenen Steinbrüchen mit schwachen Menschenhänden. Da waren **Hebel** und **Walzen** (Abb. 77) sehr nötig.

1. Der Hebel dient zum Heben einer Last um einen geringen Betrag. Er ist meist eine unbiegsame **Stange**, die um einen **Stützpunkt** drehbar ist (Abb. 78).

Am Hebel wirken im einfachsten Falle zwei **Kräfte**: Kraft und Last, (Erkläre dies an Abb. 78!)

Die Last läßt man am kurzen Hebelarm wirken, die Kraft des Arbeiters am langen. Merke:

|| **Hebelarm** ist der **Abstand einer Kraft** vom **Drehpunkt** des Hebels.

Schülerübung: Miß in Abb. 78 u. 79 die beiden Hebelarme!

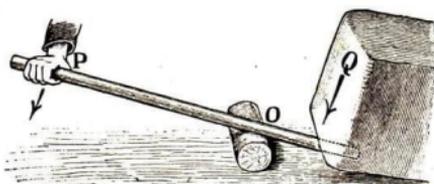


Abb. 78. Die Brechstange

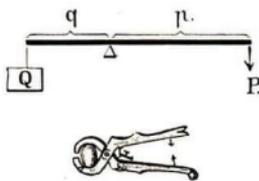


Abb. 79. Zweiseitige Hebel

2. Die drei Arten der Hebel. a) Der gewöhnlichste Hebel ist der zweiseitige. Bei diesem liegt der Drehpunkt zwischen Kraft und Last. (Vgl. Abb. 78 und Abb. 79.)

Beispiele: Krämerwaage, Brechstange, Zange, Schere.

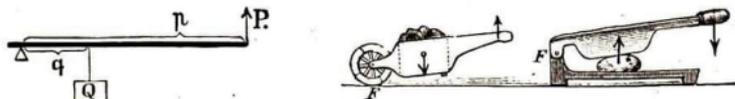


Abb. 80. Einseitige Hebel

b) Beim einseitigen Hebel (Schubkarren) greifen Kraft und Last auf derselben Seite des Drehpunktes an:

Die Last nach abwärts (\downarrow)

Die Kraft nach aufwärts (\uparrow)

oder umgekehrt. (Brotschneidemaschine Abb. 80.)

Weitere Beispiele: Hebe ein belastetes Brett AB am einen Ende A ein wenig auf. (Wo ist der Drehpunkt? Wo die Last, wo die Kraft?) Falltür, Deckel, Nußknacker, Pumpenschwengel.

c) **Winkelhebel;** das sind solche, bei welchen die Hebelstange geknickt ist (Winkelheisen am Glockenzug) oder bei denen die Kräfte schräg gegen den Waagebalken angreifen.

3. Wann herrscht Gleichgewicht am Hebel?

Kraft ..	12	6	4
am Arm	1	2	3

Schülerübung am Hebelmodell Abb. 82 oder 59. Hänge die Last 6 am Hebelarm 2 auf! Wie kann ihr Gleichgewicht gehalten werden? Stelle eine Tabelle her! Bilde die Produkte aus Kraft \times Hebelarm!



Abb. 81. Es kommt auf den Hebelarm an

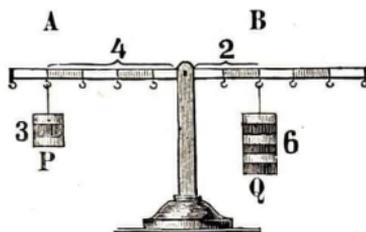


Abb. 82. Nachweis des Hebelgesetzes

Ergebnis: a) Gleichgewicht am Hebel herrscht, wenn:

$$\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm}$$

Der Physiker nennt das Produkt aus „Kraft mal Hebelarm“ kurz **Drehmoment**; daher kann man das Hebelgesetz auch wie folgt aussprechen: Gleichgewicht am Hebel herrscht, wenn das **Drehmoment** der Kraft gleich ist dem **Drehmoment** der Last.

Ergebnis: b) **Je größer der Hebelarm ist, desto kleiner braucht die Kraft zu sein.**

Daher sagte schon **Archimedes** (222 v. Chr.), der Entdecker des Hebelgesetzes: „Gebt mir einen festen Punkt und eine genügend lange Hebelstange, so hebe ich die Erde aus ihren Angeln!“ — Ein kleiner Knabe kann auf der Balkenschaukel auch einem großen Knaben das Gleichgewicht halten. Miß in Abb. 81 das Verhältnis der Hebelarme $OA : OB$ und gib dein Urteil über das Gewicht der Knaben ab! — Mache es ebenso in Abb. 78 und 79!

c) **Greifen mehrere Kräfte an der Hebelstange an**, so bestimme man für jede einzelne Kraft ihr Drehmoment. Es herrscht dann Gleichgewicht,

wenn die Drehmomente im einen Drehsinne zusammen so viel ergeben wie die Drehmomente im andern Sinne.

Beispiel: Warum ist der in Abb. 83 abgebildete Hebel im Gleichgewichtszustande? Antwort:

Drehmomente links	Drehmomente rechts
von $x = 1 \cdot 5 = 5$	von $z = 3 \cdot 1 = 3$
von $y = 2 \cdot 2 = 4$	von $w = 3 \cdot 2 = 6$
zus. . . . = 9	zus. . . . = 9

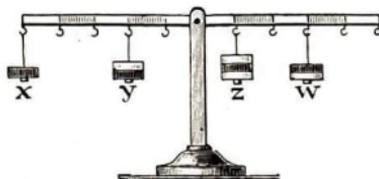


Abb. 83. Gleichgewicht mehrerer Kräfte

Weil beiderseits die **Summen** gleich sind.

Aufgabe: Der Schüler suche selbst solche Beispiele zu erfinden!

4. Am Arbeitsbetrag wird nichts gewonnen. Betrachte hierzu Abb. 82! Hebt sich die Last Q um 1 cm , so sinkt die Kraft P (die am doppelt so langen Hebelarm angreift) schon um 2 cm . (Ergebnis: $\text{Kraft} \times \text{Kraftweg} = \text{Last} \times \text{Lastweg}$.)

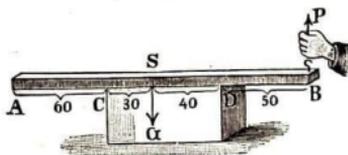


Abb. 84. Eine Stange zu heben

Aufgaben

1. An einem zweiarmigen Hebel hängen links 20 g am Arm 60 cm , 50 g am Arm 30 cm und 300 g am Arm 15 cm , rechts 200 g am Arm 20 cm und 80 g am Arm 30 cm . Herrscht Gleichgewicht? Auf welcher Seite ist das Drehmoment zu klein? Wie könnte man mit einem 50-g -Stück Gleichgewicht herstellen?

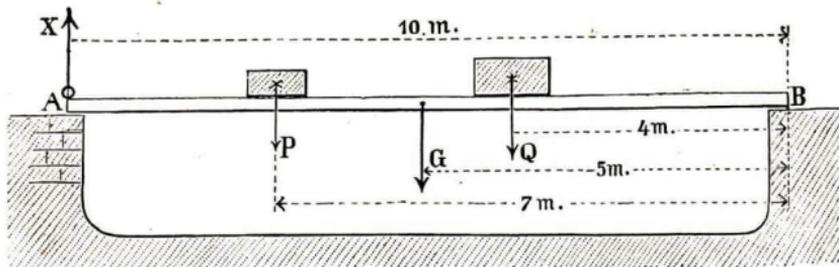


Abb. 85. Den Auflagerdruck in A zu bestimmen

2. Durch welches Gewichtsstück könnte man im vorigen Fall Gleichgewicht herstellen, wenn es am Hebelarm 8 cm aufgesetzt werden soll?

3. Eine Stange AB von 8 kg Gewicht liegt, wie Abb. 84 zeigt, auf einer Kiste CD . Welche Kraft ist nötig, um die Stange bei B zu heben? [Antwort: Die Stange dreht sich dabei um C , ist also ein einarmiger Hebel, folglich muß sein $P \cdot 120 = 8 \cdot 30$; $P = 2\text{ (kg)}$.]

4. In Abb. 85 sei AB ein Träger von 10 m Länge und 200 kg Gewicht, 3 m von A entfernt liegt darauf die Last $P = 120$ kg; 4 m von B entfernt die Last $Q = 280$ kg. Man bestimme, welche Kraft x nötig ist, um den Balken bei A aufzuheben. [Lösung: $x \cdot 10 = P \cdot 7 + Q \cdot 5 + G \cdot 4$.]

§ 23. Hebelwaagen

1. Die römische Schnellwaage ist ein ungleicharmiger Hebel. Am kurzen Arm hängt die Waagschale, am langen ist ein verschiebbares Laufgewicht angebracht (Abb. 86).

Frage: Wie wird man wohl die am langen Arm befindliche Skala herstellen?

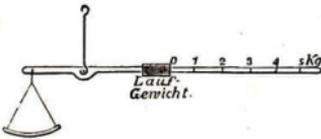


Abb. 86. Römische Schnellwaage

2. Die deutsche Schnellwaage (oder Briefwaage) ist ein Winkelhebel mit Waagschale und Lastklotz (Abb. 87).

3. Die Dezimalwaage ist im wesentlichen ein zweiseitiger Hebel, dessen Arme AO und OB im Verhältnis $1 : 10$ stehen.

Man braucht daher zum Abwägen einer Last x nur $\frac{1}{10}$ soviel an Gewichtsstücken wie bei einer gewöhnlichen Waage. Eine sinnreiche Vorrichtung gestattet, die Last L , die eigentlich am kurzen Hebelarm bei B hängen sollte, beliebig auf eine Brücke B_1B_2 zu stellen.

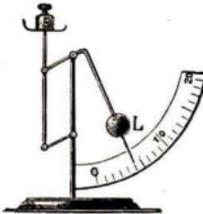


Abb. 87. Briefwaage

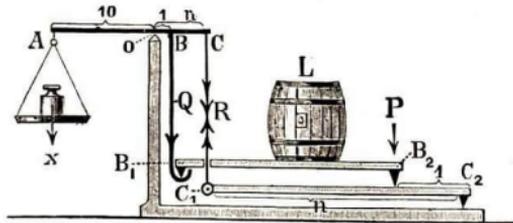


Abb. 88. Dezimalbrückenwaage

Die Last L zerlegt sich dabei in zwei parallele Kräfte P und Q . (Zeige dieses in Abb. 88!) Es ist dann $P + Q = L$. — Am Hebel AOB herrscht Gleichgewicht, wenn $x \cdot 10 = Q \cdot 1 + R \cdot n$ ist. Nun ist wegen des unteren einarmigen Hebels $R \cdot n = P$ (zeige dies an Abb. 88!), also wird $x \cdot 10 = Q + P = L$, wie es sein muß.

§ 24. Das Wellrad

1. Das Wellrad (Abb. 89) besteht aus einem Wellbalken, der um seine Längsachse drehbar ist. Um ihn drehen zu können, ist daran eine Kurbel (Hebelstange) befestigt.

Soll der Wellbalken maschinell betrieben werden, so wird die Kurbel durch ein Rad ersetzt. (Rad an der Welle.)

Über den Wellbalken läuft das Seil, an dem die zu hebende Last hängt. Der Arbeiter greift an der Kurbel an.

2. Das Wellrad ist ein Hebel. Die Last Q hat als Hebelarm den kleinen Wellbalkenradius r , der Arbeiter P als Hebelarm den langen Kurbelradius R . Gleichgewicht herrscht, wenn $\text{Kraft} \times \text{Kraftarm} = \text{Last} \times \text{Lastarm}$ ist, d. h. wenn

$$\text{Kraft} \times R = \text{Last} \times r$$

Beispiel: Ist der Radius R 10mal so groß wie der Radius r , so braucht die Kraft P nur $\frac{1}{10}$ der Last Q zu sein. Beim Well-

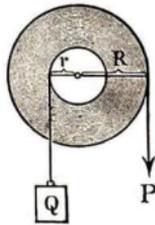


Abb. 90. Wellrad

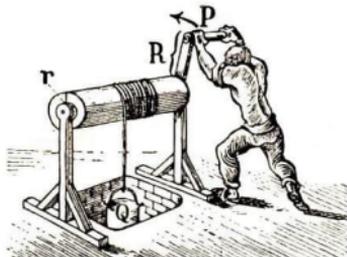


Abb. 89. Erdwinde

rad kommt es also nur auf das Verhältnis R/r der Radien an. — Merke:

Das Verhältnis R/r ist der **Multiplikator** des Wellrades. Ist dieser 10, so kann man mit einer Kraft die 10fache Last heben.

Wie groß ist der Multiplikator in Abb. 89 und 90?

3. Die Krane (Abb. 91) bestehen aus mehreren gezähnten Wellrädern, wovon jedes den Umfang des nächsten mit den Zähnen seiner kleinen Welle antreibt.

In Abb. 91 greifen 3 Wellräder ineinander; das unterste hat den Multiplikator 5, das nächste 4, das oberste 3. (Miß dieses nach!) Also ist der **Gesamtmultiplikator** $5 \cdot 4 \cdot 3 = 60$. — Da nun die lose Rolle R in Abb. 91 die Last Q halbiert, so braucht der Arbeiter (bei P) zum Lasthub nur die Kraft $P = \frac{1}{120} Q$. — Dafür ist der Weg länger. [Soll die Last Q um 1 m steigen, so muß die Hand des Arbeiters bei P schon einen Riesenweg von 120 m machen.]

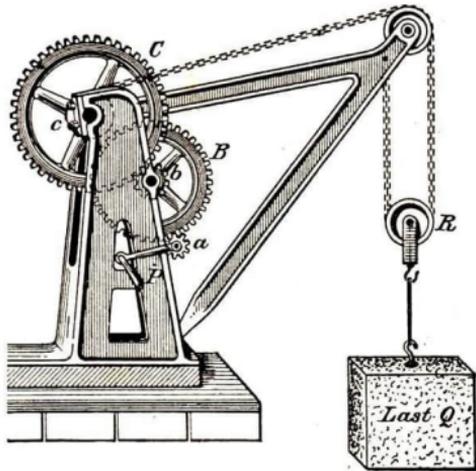


Abb. 91

§ 25. Hub auf der schiefen Ebene

1. Die Schrotleiter. Sollen Arbeiter ein schweres Faß auf einen Wagen bringen, so legen sie schräg an diesen ein Brett. Je länger dieses ist,

desto leichter bringen sie die Last darauf empor. Der Physiker nennt ein solches schräggestelltes Brett eine schiefe Ebene.

2. An einer **schiefen Ebene** unterscheidet der Techniker die Länge (= Länge des Brettes) und die Höhe (= Erhebung des Endpunktes). Das Verhältnis der Höhe zur Länge heißt Steigung der schiefen Ebene.

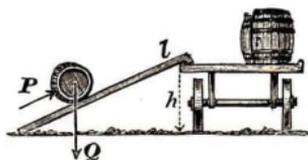


Abb. 92. Schiefer Hub

$$\text{Steigung} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Länge}}$$

Schülerübung: Stelle dein Lineal schräg und bestimme dessen Steigung! — Gib ihm die Steigung $\frac{3}{20}$! — Geleisesteigung 1:500 heißt?

3. **Voraussage auf Grund der goldenen Regel der Mechanik.** Bei direktem Hub der Last Q auf den Wagen wäre der Lastweg gleich der Wagenhöhe h . Ist nun die Länge l des Brettes 2, 3, 4... 10mal so groß wie diese Höhe, so braucht der Arbeiter wegen seines längeren Weges auf dem Brett nur $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... $\frac{1}{10}$ an Kraft zum Hub. (Brett reibungslos gedacht.) ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... $\frac{1}{10}$ sind gleich der Steigung.)

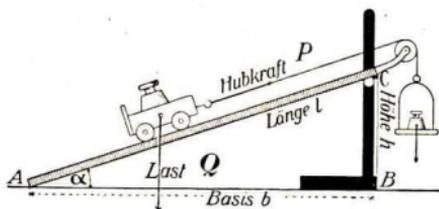


Abb. 93. Schiefe Ebene

Merke: Die Kraft P ist nur ein Bruchteil der Last Q ; der Bruchteil ist gleich der Steigung; d. h.

$$\frac{P}{Q} = \frac{\text{Höhe}}{\text{Länge}}$$

Schülerübung: Prüfe für verschiedene Fälle: Kraft $P \times$ Kraftweg l und Last $Q \times$ Höhe h . [Ergebnis: Die Produkte stimmen überein.]

Der **Kraftmultiplikator** ist hier die Steigung h/l .

Aufgaben

1. Berechne rasch die Hubkraft P , wenn

Last =	800 kg	340 kg	222 kg	5000 kg	12000
Steigung =	1:100	5:17	12:37	3:10	1:300

2. Eine Schrotleiter (320 cm lang) wird an einem Wagen (80 cm hoch) gelehnt. Welche Kraft ist nötig, ein 144 kg schweres Faß darauf emporzubefördern? [Antwort: $H = 36$ kg.] — 3. Stelle dein Reißbrett schräg; bestimme dessen Steigung und gib an, mit welcher Kraft ein daraufgelegter Bleistift von 12 g Gewicht bergab getrieben wird!

§ 26. Die Schraube

1. Mit einer **Schraubenpresse** (Abb. 94) kann man bekanntlich einen großen Druck ausüben. Sie besteht aus einer Schraube, an der oben eine Kurbel R mit ein paar Wuchtkugeln angebracht ist. — Bei jeder Umdrehung senkt sich die Schraube um eine Ganghöhe h . Eine Schraube heißt **Millimeterschraube**, wenn ihre Ganghöhe 1 mm ist.

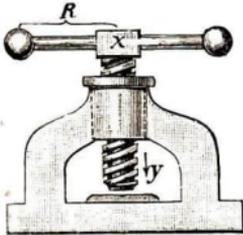


Abb. 94. Schraubenpresse

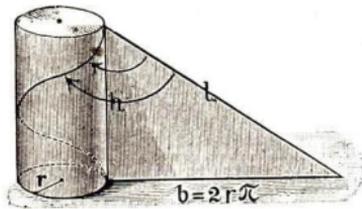


Abb. 95. Schraubenslinie

Der Schraubendorn ist ein Zylinder, um den spiralg eine scharfkantige oder rechteckige Erhöhung wendeltreppenartig herumführt. Das Bild einer Schraubenslinie ergibt sich, wenn man ein aus Papier geschnittenes rechtwinkliges Dreieck um einen Zylinder herumlegt (Abb. 95).

2. **Voraussage auf Grund der goldenen Regel der Mechanik.** Bei einer Umdrehung an der Kurbel (von der Länge R) macht die Hand des Arbeiters den langen Weg $2 \cdot 3,14 \cdot R$. Dabei senkt sich das Schraubenende, das den Druck ausübt, nur um den recht geringen Weg h der Ganghöhe. Im umgekehrten Verhältnis dieser beiden Wege, müssen nun Kraft P und Lastdruck Q stehen. D. h.

$$\frac{P}{Q} = \frac{\text{(kleine) Ganghöhe } h}{\text{(großer) Kurbelweg } 2 \cdot 3,14 \cdot R}$$

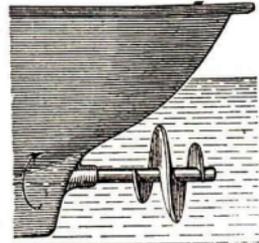


Abb. 96. Schiffsschraube

Beispiel: Ist $R = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$, so ist der Kurbelweg $2 \cdot 3,14 \cdot 300 = 1884 \text{ mm}$. Haben wir nun eine 2-mm-Schraube, so ist der Kraftmultiplikator $1884 : 2 = 942!$ d. h. ? — Diese Kraftvermehrung wird verwendet bei der Münz- und Helmpresse, beim Schraubenschlüssel usw.

3. **Die Schiffsschraube** (Abb. 96) wird durch die Schiffsmaschine in rasche Umdrehung versetzt. Dadurch bohrt sich die Schraube, die mit großen Flügeln ausgerüstet ist, im **Wasser** vorwärts, ähnlich wie ein Korkzieher in einem Pfropfen.

Verhalten der Flüssigkeiten

§ 27. Ausbreitung des Druckes

1. Eine Flüssigkeit hat vier Grundeigenschaften:

a) Die Flüssigkeitsteilchen sind leicht verschiebbar. (Bewege die Hand im Wasser hin und her!)

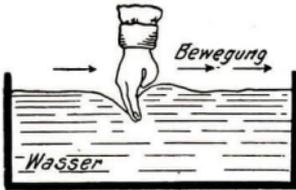


Abb. 97. Beweglichkeit

b) Die Flüssigkeit zeigt im Ruhezustand oben einen ebenen Flüssigkeitsspiegel.

Wäre die Oberfläche schief, so würden die Teilchen wie längs einer schiefen Ebene herunterlaufen.

Bei kleinen Gefäßen erscheint die Oberfläche der Flüssigkeit eben. Bei Seen und Meeren aber merkt man, daß die Flüssigkeitsoberfläche eigentlich der Erdform angepaßt ist. Die Flüssigkeitsoberfläche wird deswegen auch Niveauläche genannt (Fläche gleicher Höhenlage).

c) Die Flüssigkeit scheint unzusammenpreßbar.

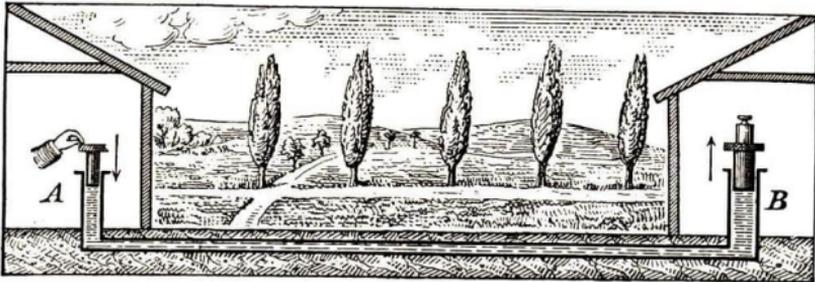


Abb. 98. Fortpflanzung eines Druckes von A nach B durch Wasser

Diese Eigenschaft könnte man benutzen, um mittels einer Rohrleitung **Kraft** von einem Orte A nach einem beliebig weit entfernten Ort zu **übertragen**. Erkläre dieses an Abb. 98! Wird nicht benutzt, da man Kraft billiger und bequemer auf elektrischem Weg überträgt.



Abb. 99
Spritzkolben

d) Wie der Spritzkolben (Abb. 99) lehrt, pflanzt eine Flüssigkeit einen auf sie ausgeübten Druck nach allen Richtungen hin fort. (Allseitige Druckausbreitung.)

Der Spritzkolben zeigt unten eine Kugel mit vielen feinen Öffnungen. Füllt man die Spritze mit Wasser und drückt dann den Kolben hinunter, so springt das Wasser aus allen Öffnungen gleich stark heraus.

2. Das Gesetz der Druckfortpflanzung lautet: Übt man bei einer allseits abgeschlossenen Flüssigkeitsmenge

auf 1 cm² den Druck P kg

aus, so übt die gepreßte Flüssigkeit ihrerseits auf jedes cm² der Wandung denselben Druck P aus (Spannungszustand).

Auf die größere Fläche f cm² ist daher der Druck $f \cdot P$ (Druckvermehrung). Der Nachweis der Druckvermehrung erfolgt mit dem Recknagelschen Apparat (Abb. 100).

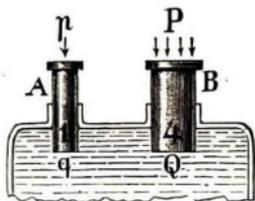


Abb. 100

Der Recknagelsche Apparat ist ein starkwandiges, mit Wasser oder Öl (unter Vermeidung von Luftblasen) angefülltes Gefäß, in dessen oberer Wandung sind zwei leicht bewegliche Stempel A und B von 1 cm² und 4 cm² Querfläche befinden. Belastet man den kleineren (A) versuchsweise mit 80 g, so zeigt sich, daß der größere (B) mit 4 · 80 g zu belasten ist, um Gleichgewicht herzustellen.

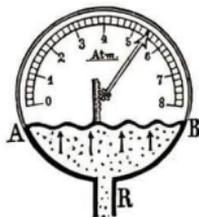
Frage: Welcher Stempel macht den größeren Weg? (Goldene Regel der Mechanik.)

3. Der Druck von 1 kg auf 1 cm² heißt 1 Atmosphäre:

$$1 \text{ at} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

Ein Dampfkessel steht unter einem Druck von 12 at heißt, der in ihm enthaltene Dampf drückt auf jedes cm² der Kesselwandung mit einem Druck von 12 kg. Ist die Kesseloberfläche 6 m² groß, so ist der ganze auf ihr lastende Dampfdruck $6 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 12 = 720000$ kg.

4. Druckmesser. Den Druck in Wasser- oder Dampfkesseln mißt man bequem mit einem **Federmanometer**.

Abb. 101
Federmanometer

Das Federmanometer (Abb. 101) ist eine Metalldose, die innen durch ein Wellblech in zwei Teile zerlegt ist. Auf dem Wellblech sitzt eine kleine Zahnstange, die durch ein Zahnradchen einen Zeiger bewegt. — Wirkung: Bei Vergrößerung des Wasser- oder Dampfdruckes, der von unten her auf das Wellblech wirkt, bewegt sich der Zeiger entsprechend vor einer nach at geteilten Skala.

5. Die hydraulische Presse verwertet die Druckvermehrung, die durch Flüssigkeiten dargeboten wird. Sie besteht im wesentlichen aus 2 **Zylindern**, einem engen und einem weiten, die beide durch ein **Querrohr** zu einem Gefäße verbunden sind. Dieses Gefäß wird vor dem Gebrauch (unter Vermeidung von Luftblasen!) mit Wasser oder Öl angefüllt und jeder Zylinder durch einen beweglichen Stempel verschlossen.

Einrichtung: Am Boden des kleinen Zylinders ist ein **Saugventil v** angebracht, durch das beim Emporziehen des kleinen Stempels Wasser aus einem Behälter angesaugt wird. Das **Druckventil w** verhindert dabei das Zurückfließen des Wassers aus dem großen Zylinder. **u** ist ein **Sicherheitsventil**, das sich bei zu großem Druck öffnet.

Beispiel. Ist die kleine Stempelfläche q in der großen Stempelfläche Q 300mal enthalten, so ist P 300mal so groß wie p . Soll der Druck $P = 1200$ kg sein, so braucht der Druck p nur 4 kg zu betragen.

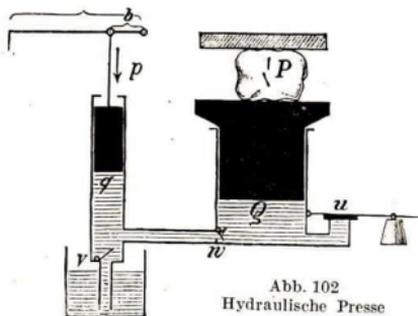


Abb. 102
Hydraulische Presse

Den Druck p auf den kleinen Stempel übt man mit Hilfe eines einarmigen Hebels aus, um neuerdings Kraft zu sparen. — Ist z. B. der kleine Hebelarm b im großen Hebelarm a etwa 4mal enthalten, so braucht der Arbeiter bei K nur den 4. Teil von p aufzuwenden, also nur 1 kg! Dies ist ein sehr mäßiger Kraftaufwand im Vergleich zu dem riesigen Druck von 1200 kg, den man damit erzielt.

Bei der hydraulischen Presse sind also **zwei Kraftvermehrungen** festzustellen: 1. durch den Hebel (Multiplikator $a : b$) und 2. durch die Flüssigkeit (Multiplikator $Q : q$).

Anwendungen: Zum Zusammenpressen von Stoffen (Heu, Baumwolle, Papier usw.); zum Biegen von Schiffspanzerplatten; zum Prüfen von Dampfkesseln; zum Auspressen von Öl usw.

Aufgaben

1. An einer hydraulischen Presse ist $a = 50$ cm, $b = 5$ cm; $q = 1$ cm², $Q = 80$ cm². a) Wie groß ist der Kraftmultiplikator? b) Welche Kraft K muß der Arbeiter ausüben, um einen Ballen Baumwolle mit einer Kraft von 1200 kg zusammenzupressen?

2. Fertige ein selbstgewähltes Beispiel (wie 1) an!

3. In der Technik läßt man zuweilen die ganze Pumpvorrichtung (linker Teil der Abb. 102) weg und schließt das Querrohr an die Wasserleitung an. Wenn diese 4 at Druck zeigt, welchen Druck P kann man damit erzeugen, wenn die Kolbenfläche $Q = 200$ cm² groß ist? [Antwort: 800 kg.]

§ 28. Der Bodendruck (↓)

Vorübung: Öffne den Wasserhahn (Abb. 103) und versuche das Abflußrohr mit dem Daumen zu verschließen! [Ergebnis: Das Wasser übt (durch sein Gewicht) einen Druck aus.] Merke:

1. **Bodendruck** ist der Druck, den eine Flüssigkeit durch ihre Schwere auf 1 cm² ihres Bodens ausübt.

Steht die Flüssigkeit h cm hoch über dem Boden (Abb. 104), so lastet auf 1 cm^2 des Bodens eine Flüssigkeitssäule von h cm Höhe, von denen jedes s Gramm wiegt ($s = \text{spez. Gew. der Flüssigkeit}$). Also ist der

$$\text{Bodendruck} = h \cdot s \text{ (Gramm für } 1 \text{ cm}^2\text{)}$$



Abb. 103. Wasserdruck

2. Dieser Bodendruck ist unabhängig von der Form des Gefäßes und (bei gleicher Bodenfläche) nur von der Höhe der Flüssigkeit abhängig. (Gesetz von **Pascal** 1643.)

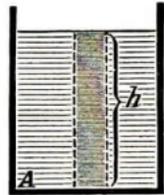


Abb. 104

Nachweis mit dem Pascalschen Apparat Abb. 105.

Dieser gestattet drei verschieden geformte Gefäße A , B , C von gleicher Bodenfläche f in ein Stativ einzuschrauben und eine Platte T als Boden durch einen Hebel daran zu pressen. — Man muß in alle drei bis zur gleichen Höhe Wasser eingießen, um dem Gegengewicht G Gleichgewicht zu halten.

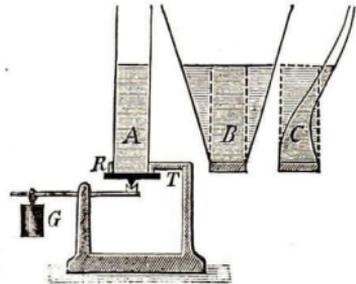


Abb. 105. Pascalscher Apparat

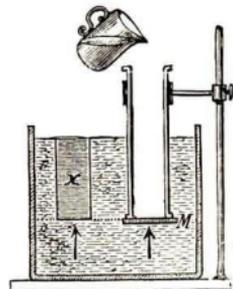
Aufgabe: Ein Wasserhahn von 1 cm^2 Querschnitt wird geöffnet. Wenn nun das Wasser in der Leitung 32 m hoch steht, welche Kraft müßte man ausüben, wenn man mit dem Daumen das Wasser am Abfluß hindern wollte? [Antwort: $h \cdot s = 3,2 \text{ kg}$.]

§ 29. Druck nach oben (↑)

1. Die Flüssigkeit übt auch von unten nach oben hin einen Druck auf eine Fläche aus.

Zum Nachweis (Abb. 106) führt man ein weites Glasrohr in die Flüssigkeit ein, an dessen unteres offenes Ende man als Verschuß ein äußerst dünnes Glasplättchen M hält. Läßt man letzteres los, so fällt es doch nicht ab, da es durch den von unten her (↑) wirkenden Wasserdruck aufwärts gepreßt wird.

Um den Druck zu messen, gießt man in das Rohr gefärbtes Wasser. Dadurch wird M belastet; es fällt aber erst dann ab, wenn das Wasser so hoch steht wie außen. Ergebnis:

Abb. 106
Druck nach oben

2. Dieser Druck ist so groß wie der Bodendruck in gleicher Höhe, nur ist er nach aufwärts (\uparrow) statt nach abwärts (\downarrow) gerichtet.

§ 30. Druck gegen eine schiefe Fläche (∇)

1. Die Flüssigkeit übt auch auf jede schiefgestellte Fläche in ihrem Innern einen Druck aus, der sich nicht ändert, wenn man die Fläche dreht. Der Nachweis erfolgt mit der Hartlschen Druckdose. (Abb. 107.)

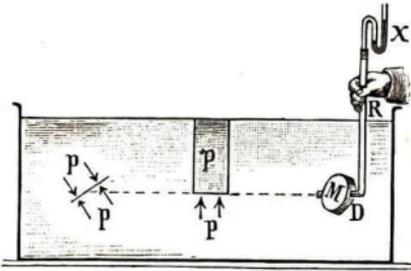


Abb. 107

keitsdruck gegen M zur Geltung. Luft wird von M nach R getrieben, infolgedessen steigt x . b) Taucht

man tiefer ein, so steigt x noch höher. c) Führt man die Dose in derselben Höhe hin und her oder dreht man die Dose beliebig in derselben Höhenlage, so ändert sich der Stand der Sperrflüssigkeit nicht. d) Stelle sie waagrecht! Ergebnis:



Abb. 108. Taucher

Dieser schiefe Druck ist so groß wie der Bodendruck in gleicher Tiefe.

2. Anwendung. Ein Taucher, der 10, 20, 30 ... m tief unter dem Meeresspiegel arbeitet, steht unter einem Druck (= einer allseitigen Pressung) von 1, 2, 3 ... Atmosphären.

Grund: Eine Wassersäule von 10 m Höhe über 1 cm^2 Grundfläche enthält 1000 cm^3 Wasser, wiegt also 1 kg für jedes cm^2 gedrückter Fläche (= 1 at).

Anmerkung: Am Boden des 4000 m tiefen Weltmeeres beträgt der Druck auf einen dort unten befindlichen Körper bereits 400 kg pro cm^2 ! Dies bedeutet eine kolossale Pressung. Daraus wird klar, daß Fische nur bis zu einer gewissen Tiefe leben können und daß größere Meeres-tiefen anders gebaute Lebewesen aufweisen müssen.

§ 31. Der Seitendruck (\rightarrow)

1. Seitendruck nennt man den Druck, den eine Flüssigkeit auf ein seitliches Stück der Gefäßwand ausübt. Er wird mit zunehmender Tiefe größer.

Dieses zeigt sich sehr deutlich, wenn wir in verschiedenen Tiefen Wasserstrahlen aus einem Gefäß austreten lassen. Mit zunehmender Tiefe wird die Spritzweite größer (Abb. 109).

2. Jeder Seitendruck sucht die Wandfläche, die er angreift, zu bewegen. In einem gewöhnlichen Gefäß steht aber jedem Seitendruck x wider die eine Wand ein gleich großer Seitendruck y wider die andere gegenüber. So heben sich beide in ihrer bewegendenden Wirkung auf und das Gefäß bleibt in Ruhe.

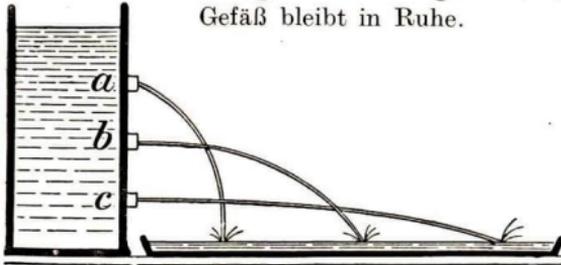


Abb. 109. Verschiedenheit des Seitendrucks



Abb. 110

Befindet sich aber etwa vor y eine Öffnung, so drückt y nicht mehr auf das Gefäß, wohl aber noch x . In diesem Falle wird x wirksam und bewegt das Gefäß. Da diese Bewegung entgegengesetzt zu jener des bei y austretenden Wasserstrahles ist, nennt man den wirksamen Seitendruck x auch Reaktionsdruck (Rückdruck).

Nachweis: Wie Abb. 110 andeutet, schließt man ein längeres, unten rechtwinklig abgebrochenes Glasrohr mittels eines Gummischlauches (s) an das Wasserleitungsrohr W an. Sobald man Wasser ausströmen läßt, treibt der nun wirksam werdende Seitendruck x das Rohr aufwärts.

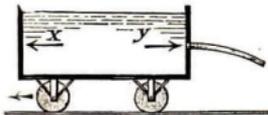


Abb. 111

x = wirksamer Seitendruck

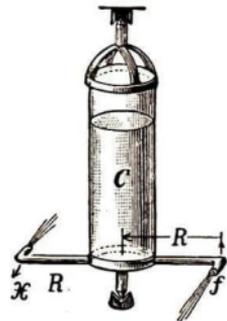


Abb. 112

Segnersches Rad

3. Auf dem wirksamen Seitendruck beruht das Segnersche Wasserrad (Abb. 112). (Segner 1750.)

Einrichtung: Es besteht aus einem Hohlzylinder, der um eine vertikale Achse drehbar ist. Er ist unten mit strahlenförmig auslaufenden Abflußröhren versehen, deren Mündungen alle im selben Drehsinn umgebogen sind.

Vorgang: Sobald Wasser abfließt, wird der Seitendruck, der den Mündungen gegenüber angreift, wirksam und dreht das Wasserrad entgegengesetzt dem ausfließenden Wasserstrahl.

4. Die Turbinen sind Wasserräder mit vertikaler Achse.

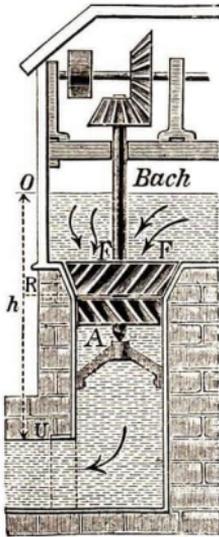


Abb. 113. Turbine

Das Wasser wird in einen Raum F geléitet, in dem feststehende Schaufeln, die Leitschaufeln, radkranzförmig angeordnet sind. Es bekommt dadurch eine solche Richtung, daß es schräg gegen die Schaufeln des eigentlichen Turbinenrades A stößt, das dadurch in Drehung versetzt wird. Durch ein auf seiner Achse angebrachtes konisches Zahnrad läßt sich dessen Bewegung dann auf weitere Wellen übertragen und nutzbar machen (Abb. 113).

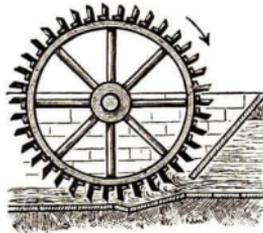


Abb. 114

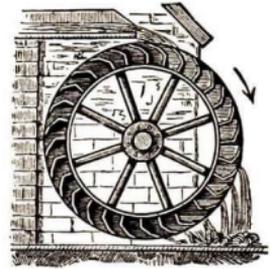


Abb. 115

5. Weitere Wasserräder sind das überschlächtige und das unterschlächtige Wasserrad (Abb. 115 u. 114).

§ 32. Kommunizierende (= verbundene) Gefäße

1. Zwei Gefäße, die unten durch ein Rohr miteinander verbunden sind, heißen kommunizierende oder verbundene Gefäße (Abb. 116). Fülle sie mit einer Flüssigkeit an!

|| Ergebnis: Die Flüssigkeit steht in den verbundenen Gefäßen gleich hoch.

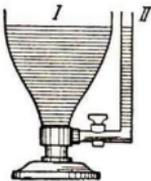


Abb. 116

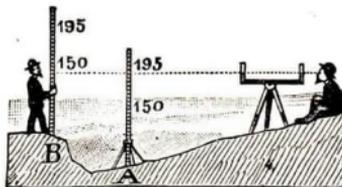


Abb. 117. Nivellieren mit der Kanalwaage

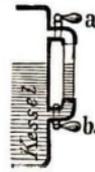


Abb. 118

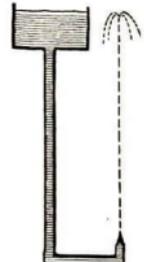


Abb. 119a

Technische Verwendung findet diese einfache Erscheinung a) beim Wasserstandsglas (Abb. 118), das zur Feststellung des Wasserstandes

in Dampfkesseln dient, b) bei der Kanalwaage, c) beim Bau von Wassertürmen und Springbrunnen.

Die **Kanalwaage** (Abb. 117) besteht aus zwei senkrechten, halb hoch mit Wasser gefüllten Glasrohrstutzen, die unter durch ein (bis 2m) langes Querrohr verbunden sind. Gebrauch: Blickt (= visiert) man über beide Flüssigkeitsspiegel hinweg, so ist die Blickrichtung waagrecht. Dadurch kann man kleine Höhenunterschiede im Gelände messen. (Frage: Um wieviel cm liegt in Abb. 117 die Stelle *A* tiefer als *B*?)

Wassertürme. Um das Wasser in die höchsten Stockwerke der Häuser eines Ortes zu treiben, pumpt man das Wasser zunächst auf einen Wasserturm, der diese Häuser um einige Meter überragt. Erst von diesem Turm führt man die Wasserleitung in die Häuser. (Abb. 119b.)

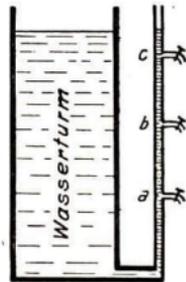


Abb. 119b

Bei jedem **Springbrunnen** (Abb. 119a) sollte das Wasser theoretisch bis zum Niveau des Wassers im Wasserbehälter aufsteigen. Die Reibung in der Rohrleitung, die in der Luft und der Rückschlag der fallenden Teilchen vermindern aber die erwartete Steighöhe beträchtlich.

Artesische (= natürliche) Springbrunnen treten zuweilen auf, wenn man den Erdboden anbohrt (Abb. 120).



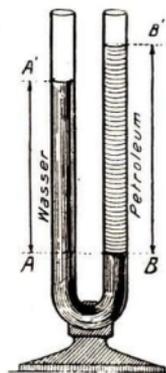
Abb. 120. Artesischer Brunnen

Sie treten auf, wenn man eine Wasserader anbohrt, die zwischen zwei für Wasser undurchlässigen Bodenschichten liegt und von einem höher gelegenen Wasserlager (Fluß, See) gespeist wird. — Erkläre ähnlich die **Quellen!**

2. Zweierlei Flüssigkeiten. Gießt man in den einen Schenkel kommunizierender Röhren **Wasser**, daraufhin in den zweiten das spez. leichtere **Petroleum**, so stehen die Spiegel beider Flüssigkeiten nicht gleich hoch: Die spezifisch leichtere Flüssigkeit steht höher.

Beweis: Wir denken uns durch die Berührungsstelle der beiden Flüssigkeiten eine Horizontale *AB* gelegt; dann wirkt zunächst der unter *AB* liegende Teil wie eine Waage, welche pro cm^2 in dem einen Schenkel Bodendruck $h_1 \cdot s_1$, im andern pro cm^2 den Bodendruck $h_2 \cdot s_2$ auszuhalten hat. — Im Ruhezustand müssen beide Drucke gleich sein, d. h. $h_1 \cdot s_1 = h_2 \cdot s_2$ oder

$$\underbrace{h_1 : h_2}_{\text{Druckhöhen}} = \underbrace{s_2 : s_1}_{\text{spez. Gewichte}}$$

Abb. 121
Zwei Flüssigkeiten

d. h. die **Druckhöhen** (gerechnet von der Berührungsstelle) verhalten sich **umgekehrt** wie die spez. Gewichte.

§ 33. Das Archimedische Prinzip vom Aufbau

1. Erfahrung. Taucht man eine leere Flasche in Wasser unter und läßt sie dann los, so schnellt sie sofort wieder in die Höhe. Wir schließen daraus:



Abb. 122

Die Flasche erfährt beim Eintauchen in Wasser einen **Auftrieb** (= Druck nach oben \uparrow).

2. Archimedes (222 v. Chr.) studierte zuerst die **Frage**, wie groß dieser Auftrieb zahlenmäßig ist. Uns lehrt es eine kleine Schülerübung (Abb. 123).

Schülerübung: Hänge (am besten) an eine Schnellwaage ein bereits nach cm^3 geeichtes Zink- oder Eisenstäbchen und lies sein Gewicht ab! — Tauche es 1 cm^3 , 2 cm^3 , $3 \text{ cm}^3 \dots$ in Wasser! [Ergebnis: Es verliert genau 1 g , 2 g , $3 \text{ g} \dots$ an Gewicht.] — Tauche es 1 cm^3 , 2 cm^3 , $3 \text{ cm}^3 \dots$ tief in Petroleum! [Ergebnis: Es verliert $1 \times 0,8 \text{ g}$, $2 \times 0,8 \text{ g}$, $3 \times 0,8 \text{ g} \dots$ an Gewicht.] — Der Auftrieb eines Körpers ist also groß, wenn er tief eintaucht; klein, wenn er wenig eintaucht.

Damit bestätigt sich der Archimedische Satz:

Ein Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel an Gewicht wie die Flüssigkeit wiegt, die er verdrängt

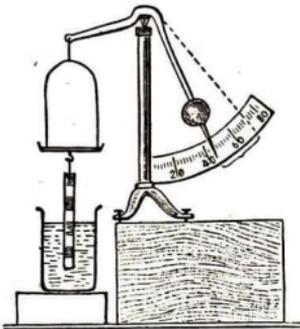


Abb. 123

Nachweis mit einem Vollzylinder A, der genau in einen **Hohlzylinder B** paßt (Abb. 124). Man bringe beide zusammen auf die Schale einer Waage und stelle das Gleichgewicht her. Dieses wird gestört, sobald man **A** in eine Flüssigkeit tauchen läßt; es wird wiederhergestellt, sobald man **B** mit derselben Flüssigkeit füllt.

3. Geschichtliches. *Archimedes*, der berühmte Mathematiker, soll aus Zufall beim Baden zu seinem Gesetz gekommen sein.

Er sollte im Auftrag seines Veters, des Königs **Hiero**, dessen Krone untersuchen, ob sie ganz aus Gold sei. Darüber nachdenkend, nahm er sein gewohntes Bad. Doch sobald er an den **Auftrieb** erinnert wurde, den das Wasser dem Badenden gibt, soll er aufgesprungen sein und sein berühmtes *εὕρηκα* (ich hab's gefunden) gerufen haben. (**Lösung.** Die **Krone** und **gleichviel Gold** müßten als raumgleich gleichen Auftrieb erfahren.) Wäre die

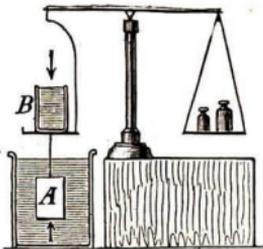


Abb. 124

Krone aus Silber, so nähme sie fast den doppelten Raum ein.

§ 34. Verwendung des Archimedischen Prinzips zur Bestimmung des spez. Gewichtes

1. Bestimme das Gewicht des gleich großen Wasserkörpers!

Überlegung. Wird ein voll unter Wasser getauchter Körper z. B. um 18 g leichter, so hat der Körper 18 g Wasser verdrängt. Das verdrängte Wasser stellt aber einen Wasserkörper vor von der genauen Größe und Gestalt des eingetauchten Körpers (Abb. 125a). Ergebnis:



Abb. 125 a

Das Gewicht des gleich großen Wasserkörpers ist gegeben durch den Auftrieb (= Gewichtsverlust) eines Körpers im Wasser.

2. Das spezifische Gewicht ist die Zahl, die angibt, wie oft mal so schwer ein Körper ist wie ein gleich großer Wasserkörper, daher die Formel:

$$\text{Spez. Gewicht} = \frac{\text{Gewicht des Körpers}}{\text{Gewichtsverlust i./W.}}$$

1. Beispiel für feste Körper, z. B. ein Stück Eisen.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Gewichtsverlust des } E \text{ in Wasser } 5 \text{ g } \downarrow \\ \text{Gewicht des } E \dots\dots\dots 36 \text{ g } \uparrow \end{array} \right\} \text{Spez. Gew. } s = \frac{36 \downarrow}{5 \uparrow} = 7,2.$$

2. Beispiel für flüssige Körper. Man bestimmt den Gewichtsverlust eines Probekörpers (z. B. eines Glasstückes) einmal in der fraglichen Flüssigkeit = A_1 ,

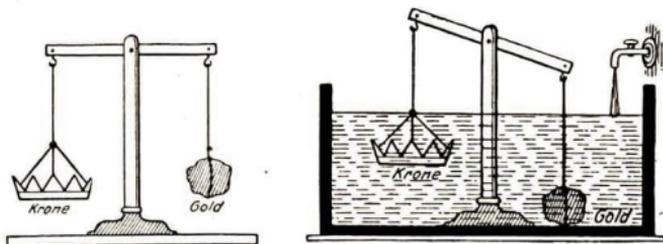


Abb. 125 b. Archimedes' Versuch mit der Krone des Hiero

das andere Mal in Wasser = A_2 . (A_1 stellt das Gewicht vor, das der Probekörper hätte, wenn er aus der betr. Flüssigkeit wäre, A_2 jenes, wenn er aus Wasser wäre.) $A_1 : A_2$ ist dann das spez. Gewicht der Flüssigkeit. Zum Beispiel:

$$\begin{array}{l} \text{Gewichtsverlust des Probekörpers in Petroleum } A_1 = 40 \text{ g} \\ \text{Gewichtsverlust des Probekörpers in Wasser } A_2 = 50 \text{ g} \\ \hline \text{spez. Gewicht des Petroleums } s = \frac{40}{50} = 0,8. \end{array}$$

§ 35. Das Schwimmen (↓↑)

1. Beispiel vom schwimmenden Balken (Abb. 126). Sieht man einen Balken im Wasser schwimmen, so muß man schließen, daß der **Auftrieb** (↑), der ihn trägt, so groß ist wie sein **Gewicht** (↓), das ihn nach abwärts zieht. (Schwebezustand.)

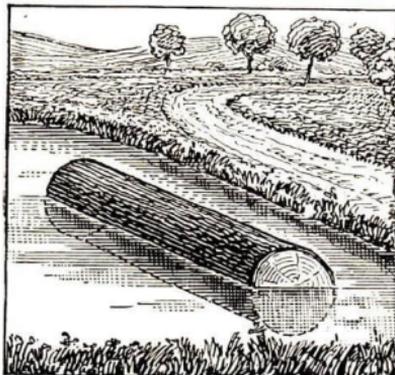


Abb. 126. Beim Schwimmen achte auf die verdrängte Wassermenge

Taucht man ihn tiefer ein, so wird seine Wasserverdrängung und damit sein Auftrieb größer. Daher steigt er beim Loslassen wieder empor bis zur alten Wasserverdrängung. Gleichgewicht herrscht nur, wenn

$$\text{Gewicht (↓)} = \text{Auftrieb (↑)}$$

2. Körper, die spezifisch leichter sind als eine Flüssigkeit, schwimmen auf dieser immer und tauchen um so weniger tief ein, je leichter sie sind.

Holz und Kork schwimmen auf Wasser. — Eisen schwimmt auf Quecksilber; Gold ginge darin unter.

3. Körper, die spezifisch schwerer sind als eine Flüssigkeit, schwimmen auf letzterer nur, wenn sie hohl sind, d. h. wenn sie (technisch ausgedrückt) genügend große Wasserverdrängung haben.

Schwimmen der eisengepanzerten Schiffe. — Schwimmgürtel. — Rettungssäcke mit Gas gefüllt. — Verkorkte leere Flaschen.

4. Eintauchtiefe. Schwimmkörper sinken in einer Flüssigkeit nur so weit ein, bis die verdrängte Flüssigkeit so viel wiegt wie sie selbst. (Schwebezustand.)

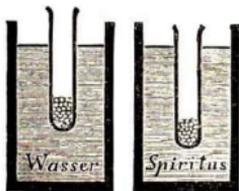


Abb. 127

Wiegt das mit Schroteln belastete Gläschen in Abb. 127 z. B. 20 g, so taucht es in Wasser so tief ein, bis es genau 20 g Wasser verdrängt (dies sind 20 cm³ Wasser). — In Spiritus sinkt es so tief ein, bis es 20 g Spiritus verdrängt (dies sind 25 cm³ Spiritus; denn 25 · 0,8 = 20 g).

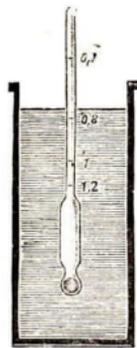


Abb. 128
Aräometer

5. Das Aräometer (oder Senkglas) dient zum raschen Bestimmen des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten (Abb. 128). Es ist dies ein zylindrisch geformter Schwimmer aus Glas, der unten mit etwas Quecksilber belastet ist, damit er lotrecht in den Flüssigkeiten schwimmt.

Im Hals des Senkglases ist eine nach spezifischen Gewichten geeichte Skala angebracht.

Gebrauch. Sinkt das Senkglas in einer Flüssigkeit bis zur Marke 0,79 ein, so hat die untersuchte Flüssigkeit das spez. Gewicht 0,79. — Merke: Die großen spez. Gewichte stehen unten! [Warum?]

§ 36. Benetzung (\rightleftarrows). Kapillarercheinung

1. Benetzung. Taucht man Fließpapier in Wasser, so wird es benetzt, d. h. es bleiben Flüssigkeitsteilchen daran haften. Wir schließen daraus, daß zwischen Fließpapier und Wasser bei der Berührung eine anziehende Kraft auftritt. Diese heißt **Adhäsion** oder Anhangskraft.

Versuche mit Adhäsionsplatten: Legt man zwei mit Wasser benetzte Glasscheiben aufeinander, so haften sie aneinander (Abb. 129).

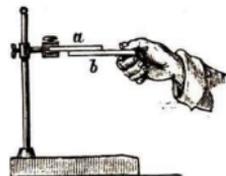


Abb. 129

|| Ergebnis: Das **Benetzen** ist eine Adhäsionserscheinung.

2. Nichtbenetzung. Adhäsion kann auch dann vorhanden sein, wenn sich die Körper nicht benetzen, z. B. Eisen und Quecksilber.

Überlegung: Kohäsion hält zunächst die Teilchen der Gruppe *A* unter sich zusammen, ebenso die Teilchen der Gruppe *B* (Abb. 130). Ist nun an der Berührungsstelle die **Adhäsion gering**, so wird beim Auseinanderzerren der Körper *A* und *B* keiner zerreißen, sondern die Trennung glatt an der Berührungsstelle erfolgen.

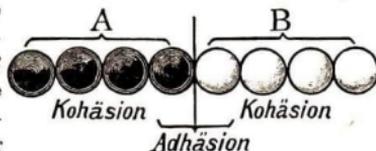


Abb. 130

Ist dagegen die **Adhäsion größer** als die Kohäsion der Teilchen *B*, so tritt eine Zerreißung von *B* ein und ein Teil von *B* bleibt an *A* haften. Hierauf beruht das Schreiben, Zeichnen, Malen, Leimen, Kitten, Vergolden, Versilbern u. a.

3. Die Haarröhrchen-Erscheinung. a) Taucht man ein enges (sog. Haar-) Röhrchen in eine **benetzende Flüssigkeit** ein, z. B. in Wasser, so sieht man letzteres darin bis zu einer gewissen Höhe über den äußeren Flüssigkeitsspiegel aufsteigen.

|| Je **enger** das Röhrchen ist, desto höher das Emporsteigen. Diese Erscheinung nennt man **Haarröhrchenanziehung** oder **Kapillarattraktion** (Abb. 131).

Sie **rührt her** von der überwiegenden Adhäsion des Glases gegen die Flüssigkeit, aber auch von der sog. Oberflächenspannung des Flüssigkeitshäutchens.

Darauf beruht das Aufsteigen des Öls im Lampendocht, des Wassers in einem Leinwandstreifen, der Tinte im Fließpapier, des Kaffees im Zuckerstückchen, der Tunke im Brot.

b) Nicht benetzende Flüssigkeiten stehen dagegen in engen Röhren weniger hoch als in weiten; diese Erscheinung nennt man Kapillardepression. (Abb. 132 zeigt das Verhalten des Quecksilbers in engen Glasröhren.)



Abb. 131
Wasser

4. Betrachte die Oberflächenform (= den Meniskus) einer Flüssigkeit in einem engen Rohr! (Ergebnis: halbkugelig.)

Bei benetzenden Flüssigkeiten ist der Meniskus halbkugelig vertieft (Abb. 131), bei nicht benetzenden halbkugelig erhaben (Abb. 132). — Gieße Wasser in ein weites Gefäß und beobachte die Flüssigkeit an der Gefäßwand! [Ergebnis: Anstieg am Glas; Grund: Adhäsion!]



Abb. 132
Quecksilber

— Betrachte Quecksilber in einer Flasche. [Ergebnis: Es weicht am Randet was zurück. Grund: Die Quecksilberteilchen haben nur geringe Adhäsion zum Glas und möchten sich vermöge der Kohäsion zu einer Kugel zusammenziehen.]

Verhalten der Gase

§ 37. Vom Gasdruck auf die Gefäßwand

1. Was lehrt uns die Windbüchse?

Eine Windbüchse kann man sich leicht aus einem Glasröhrchen herstellen, wenn man dazu einen passenden Stempel aus Holz fertigt. Eine Kartoffelscheibe liefert die Pfröpfe. — **Versuch:** Preßt man durch Verschieben des Stempels die Luft in der Windbüchse zusammen, so steigt die Spannung (d. h. der allseitige Druck) der darin enthaltenen Luft bald so stark, daß der vordere Pfropf schußartig fortfliegt. Ergebnis:



Abb. 133. Windbüchse

a) Ein Gas läßt sich stark **zusammenpressen**.

b) Dadurch kommt es in **stärkere Spannung** und übt auf die Wand einen **größeren Druck** aus.

Den **Druck auf 1 cm²** der Wandung nennt man **Gasdruck**.

Beim Zusammenpressen hat sich das Gewicht der Luft in der Windbüchse nicht geändert, trotzdem stieg der Gasdruck. Es ist also das kleine Gasgewicht wohl zu unterscheiden von dem oft gewaltigen Druck, den eine kleine Gasmenge ausüben kann. (Denk an die Explosionen!)

2. Um den Gasdruck zu erklären, denkt man sich die Gasmoleküle in lebhafter Bewegung begriffen (Abb. 134).

Dabei stoßen sie fortwährend gegeneinander und gegen die Gefäßwand und bringen dort den Gasdruck hervor.

Vergleich mit Hagelkörnern, die gegen die Fensterscheiben prasseln. [Kinetische Gastheorie.]

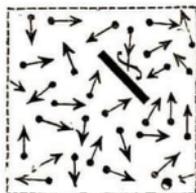


Abb. 134

3. Den Gasdruck mißt man durch die Höhe einer Flüssigkeitssäule, die er empor-treiben kann. Dazu dient das beider-seits offene Manometer, d. h. ein U-förmiges Rohr, das in der Biegung eine Flüssigkeit (Wasser oder Quecksilber) enthält.

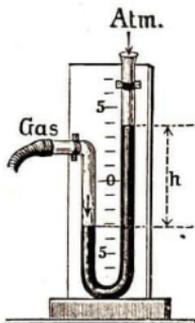


Abb. 135

Versuch: Das Manometer enthalte Wasser. (Letzteres steht zunächst

in beiden Schenkeln gleich hoch.) Schließt man nun die Gasleitung an den kurzen Schenkeln des Manometers an, so treibt das Gas die Flüssigkeit zurück und treibt eine Wassersäule von der Höhe h empor.

Rechnung: Ist $h = 5$ cm, so wiegt die Wassersäule 5 g über 1 cm^2 . Daher drückt auch das Leuchtgas auf der anderen Seite mit der Kraft von 5 g auf 1 cm^2 .

Zum Druck der Flüssigkeitssäule h kommt noch der atmosphärische Luftdruck A dazu. Merke: **Gasdruck $p =$ Druck der Säule $h +$ Luftdruck A .** Diesen Luftdruck A wollen wir nun bestimmen.

§ 38. Der Atmosphärendruck (↓)

1. **Entstehung.** Unsere Erde ist von einem Luftmeer umgeben, dessen Höhe man auf 80 bis 100 km schätzt. Diese Luft ist schwer. (Wägung S. 11.)

1 cm^3 atmosphärischer Luft wiegt 1,3 mg. Eine Luftsäule von 10 m Höhe über 1 cm^2 wiegt also 1,3 g; höhere Luftsäulen entsprechend mehr. Ergebnis:

Unsere atmosphärische Luft übt durch ihr Gewicht einen Druck auf jedes cm^2 des Bodens aus.

Dies ist der **atmosphärische Luftdruck**. Er breitet sich wieder Druck in einer Flüssigkeit nach allen Seiten hin aus.

Auf dem Erdboden lastet in München, das 520 m über dem Meere liegt, eine um 520 m weniger hohe Luftsäule als am Meere. Daher ist in München der Luftdruck geringer als am Meere.

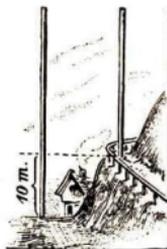


Abb. 136

2. Das Vorhandensein des Luftdrucks zeigt man mit dem umgekehrten wassergefüllten Becherglas oder Meßzylinder (Abb. 137).

Schulversuch: Fülle diesen mit Wasser, lege zum Abschluß ein Blatt Papier darauf und kehre den Zylinder frei um. [Ergebnis: Das Wasser läuft nicht aus.] Man schließt daraus, daß der Wasserdruck ↓ geringer ist als der von unten her wirkende Luftdruck ↑.



Abb. 137

Der Magdeburger Bürgermeister *Otto von Guericke* benutzte zu diesem Versuch immer längere Röhre; erst bei einer Rohrlänge von über 10 m floß das Wasser ab. Dies entspricht dem Druck von rund

$$\underline{1 \text{ kg auf } 1 \text{ cm}^2.}$$

3. Bequemer mißt man den Luftdruck durch den Torricellischen Versuch (Abb. 138).

Torricelli, ein Schüler Galileis, machte diesen Versuch 1643, ein Jahr nach Galileis Tod.

Man füllt zu diesem Zweck eine etwa 80 cm lange und 1 cm weite, einseitig zugeschmolzene Röhre (unter Vermeidung von Luftblasen) mit gereinigtem Quecksilber an, verschließt die freie Mündung mit dem Finger und stülpt dann die Röhre verkehrt so tief in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß, daß Finger und Mündung bedeckt erscheinen.

Nach Entfernung des Fingers sieht man, daß das Quecksilber im Rohr nur wenig sinkt und daß es schließlich 72–76 cm höher steht als im Gefäße.

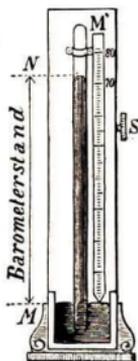
Man schließt daraus, daß außen auf das Quecksilber eine Kraft einwirkt, welche das Quecksilber in der Röhre am Ausfließen hindert. Dies ist nun der Druck der Luft. Unser Versuch lehrt, diesen Druck durch die Höhe der Quecksilbersäule messen.

Die Höhe der Quecksilbersäule nennt man den **Barometerstand**, die Vorrichtung selbst ein **Gefäßbarometer**.

4. Der normale Barometerstand am Meere ist 76 cm, d. h. die Luft drückt dort auf jedes cm^2 so stark wie eine 76 cm hohe Quecksilbersäule. Aus dieser lassen sich 76 cm^3 ausschneiden, wovon jedes $13,6 \text{ g}$ wiegt. Daher ist der

$$\underline{\text{normale Luftdruck} = 76 \cdot 13,6 \text{ g auf } 1 \text{ cm}^2 = 1,033 \text{ kg/cm}^2.}$$

Diesen Druck nennt man kurz „1 Atmosphäre“. Er entspricht dem Druck einer Wassersäule von 10 m Höhe.

Abb. 138.
Gefäßbarometer

5. Der Raum über dem Quecksilber im Rohr ist luftleer; er wird Torricellische Leere oder Vakuum genannt.

Prüfung des Vakuums. Neigt man die Röhre rasch seitwärts, so hört man das Quecksilber oben laut anschlagen. (Ein Luftinhalt würde als Polster wirken und den Schall dämpfen.)

§ 39. Arten der Barometer

1. Die Physiker benutzen statt des Gefäßbarometers, das viel Quecksilber benötigt, meist das **Heberbarometer** (Abb. 139).

Dieses ist eine etwa 1 m hohe, oben zugeschmolzene, unten U-förmig umgebogene Röhre, die mit reinem Quecksilber gefüllt ist.

Das Quecksilber fließt im kurzen Schenkel nicht heraus, da ja hier der Luftdruck (\downarrow) wirkt, der einer ~ 76 cm hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hält. Der Raum über dem Quecksilber im Barometerrohr muß luftleer sein.

Der Abstand zwischen dem unteren und oberen Quecksilberspiegel gibt den **Barometerstand** an.

2. Die Laien benutzen statt der leicht zerbrechlichen Quecksilberbarometer die sog. **Metallbarometer**, die keine Flüssigkeit enthalten.

Das **Aneroidbarometer von Vidi** ist eine luftlere Blechdose (Abb. 140) mit einem elastischen Wellblechdeckel. (*W* in Abb. 141.) — Vorgang: Bei Verstärkung des Luftdrucks wird der Deckel etwas in die Dose hineingepreßt;

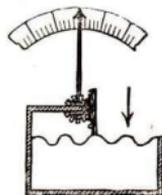


Abb. 140
Aneroid nach Vidi

geht er wieder heraus. — Diese kleine Bewegung wird durch geeignete Zahnrad- oder Hebelübersetzung auf einen Zeiger übertragen, der vor einer nach mm Quecksilberdruck geeichten Skala spielt.



Abb. 141. Metallbarometer

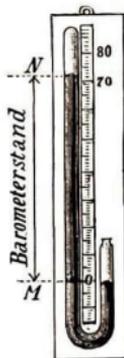


Abb. 139

Da bei diesen Vorrichtungen der Luftdruck gegen eine Federung wirkt, heißen diese Barometer auch **Federbarometer**.

§ 40. Verwendung des Barometers

1. Zur Höhenmessung. Steigt man einen Berg hinan, so sinkt der Barometerstand allmählich. Merke:

Bei je 10 m Erhebung fällt der Luftdruck um ~ 1 mm Quecksilber. (Abb. 136).

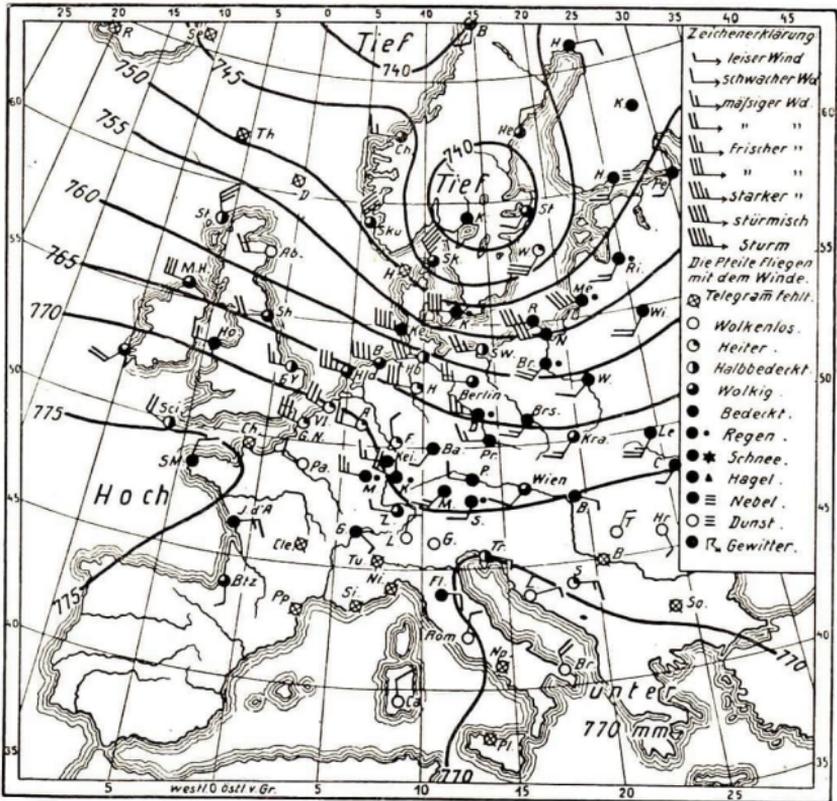


Abb. 142. Wetterkarte vom 19. November 1913

Grund: 10 m Luft über 1 cm^2 wiegen in Erdnähe 1,3 g. Soviel wiegt auch eine 1 mm hohe Quecksilbersäule über 1 cm^2 .

Geschichtliches. Kaum war 1644 das Barometer in Paris bekanntgeworden, als auch schon der jugendliche *Pascal* (der bereits mit 16 Jahren ein Buch über Kegelschnitte schrieb) seinen Schwager *Périer* veranlaßte, mit einem Barometer den 1200 m hohen Puy de Dôme zu besteigen; denn in der Höhe müsse der Luftdruck geringer sein. (Um wieviel mm fiel dabei das Quecksilber?)

2. Als **Wetterglas** zur **Wettervorhersage** (Wetterprognose). Auf den Wetterkarten (Abb. 142), die täglich um 9 Uhr morgens in den Wetterwarten hergestellt werden, sind jeweils alle Orte, die gleichen Barometerstand aufweisen, durch eine Linie verbunden (genannt **Iso-bare** = Gleichdrucklinie).

Zeige in Abb. 142 die **Isobare 765!** Welchen Wind haben die Orte, die darauf liegen? Merke: **Westwind** schlecht; **Ostwind** gut!

Da man nun aus Erfahrung weiß, daß der **Wind** vom Gebiet hohen Luftdrucks gegen das Gebiet tieferen Luftdrucks weht, so kann man auf Grund einer Wetterkarte die kommende Windrichtung und Bewölkung voraussagen.

Fallender Barometerstand bringt uns meist Westwind, der sich über dem nahen Atlantischen Ozean reichlich mit Wasserdampf sättigen kann. Bei steigendem Barometerstand hofft man auf trockenen Ostwind und gutes Wetter.

Geschichtliches. *Guericke* hatte vor seinem Haus ein über 10 m hohes Wasserbarometer, mit dem er 1650 einen Sturm 24 Stunden voraussagen konnte.

§ 41. Das Mariottesche Gesetz

1. Wie steigt der Gasdruck mit der Verdichtung? Der **Techniker** benutzt zur Lösung dieser Frage einen Zylinder (Abb. 143, **Kompressor**), der mit einem Manometer ausgestattet ist und in dem ein dicht anschließender Stempel verschoben werden kann.

Beim Verschieben des Stempels steigt der Gasdruck. Zu jedem Volumen V notiert man den am Manometer abzulesenden Gasdruck p .

Ein Versuch ergibt z. B. folgende Tabelle:

Volumen	$V_1 = 80$	$V_2 = 40$	$V_3 = 20$	—
Druck	$p_1 = 1 \text{ at}$	$p_2 = 2 \text{ at}$	$p_3 = 4 \text{ at}$	—

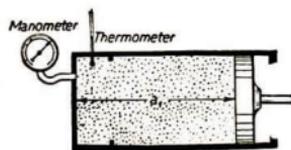


Abb. 143. Kompressor

Bilde $V \times p!$ — Die Gesetzmäßigkeit ist hier leicht festzustellen.

Das von **Mariotte** (1670) zuerst veröffentlichte Gesetz lautet kurz:
Das Produkt aus **Druck mal Volumen** einer Gasmenge ist eine feste Zahl.

$$V \cdot p = \text{konstant}$$

a) **Preßt** man also eine Gasmenge auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... ihres Anfangsvolumens zusammen, so **steigt ihr Druck** auf das 2, 3, 4 ... fache des Anfangsdruckes.

b) Dehnt man sie umgekehrt auf das 2, 3, 4... fache Volumen aus, so sinkt ihr Druck wieder auf $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$... des Anfangsdruckes.

2. Der Physiker, der überaus genau messen muß, benutzt zum Nachweis des Gesetzes das Schlauchmanometer (Abb. 144).

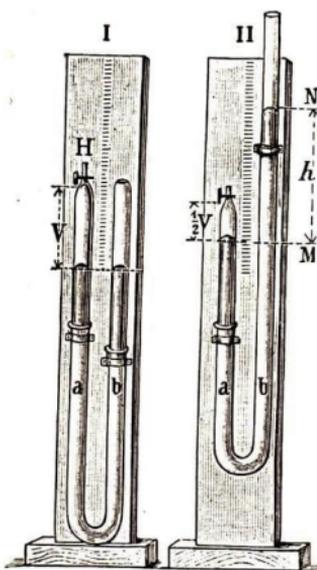


Abb. 144. Schlauchmanometer

I. Man verbindet dabei zwei Glasröhren durch einen Schlauch, gießt Quecksilber ein, das sich zunächst in beiden Schenkeln gleich hoch stellt, und schließt nun mittels eines Hahnes H in der einen Röhre ein Luftvolumen V ab. Dessen Gasdruck p ist gleich dem Barometerstand (Fall I in Abb. 144).

II. Hebt man nun die andere Röhre, so zeigen die Quecksilberspiegel eine Differenz: auf dem zusammengepreßten Gas lastet nunmehr der Druck der Quecksilbersäule MN und der äußere Luftdruck.

$$p = MN + 1 \text{ Atm.}$$

Zu verschiedenen Volumens $V_1, V_2 \dots$ im geschlossenen Rohr liest man jeweils die zugehörigen Gasdrücke $p_1, p_2 \dots$ ab und fertigt dazu eine Tabelle an. Ergebnis:

$$V \cdot p \text{ ist konstant}$$

Anmerkung: Ist $V_1 = \frac{1}{2}V$, so muß $p = 2$ at sein, also MN gleich dem gerade herrschenden Barometerstand.

3. Der Schüler benutze die Meldesche Kapillare (Abb. 145). Dies ist ein 1 m langes, einseitig geschlossenes Rohr, in dem eine Luftmenge V durch einen Quecksilberfaden von bestimmter Länge l abgeschlossen ist.

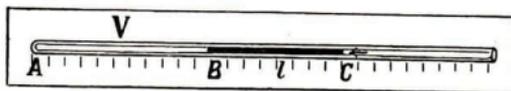


Abb. 145
Meldesche
Kapillare

Schülerübung: a) Lege das Rohr waagrecht auf den Tisch! Lies das Volumen V_1 ab! Welcher Druck wirkt auf die abgeschlossene Luft? [Ergebnis: Der äußere Luftdruck, z. B. 72 cm Hg.] Also ist der Gasdruck p_1 auch 72 cm.

b) Stelle das Rohr lotrecht mit der Spitze A nach unten! Das Volumen V_2 ist kleiner geworden; Gasdruck $p_2 = \text{Barom.} + l$.

c) Stelle das Rohr lotrecht mit der Spitze A nach oben! Das Volumen V_3 ist größer geworden; Gasdruck $p_3 = \text{Barom.} - l$.

d) Nun prüfe $V_1 \cdot p_1, V_2 \cdot p_2, V_3 \cdot p_3$ auf ihre Gleichheit.

4. Zur Messung von hohen Gasdrucken benützt man neben den Federmanometern (Abb. 101) das geschlossene Manometer (Abb. 146). Es ist dieses eine U-förmige Röhre mit einem geschlossenen Schenkel, in dem eine Luftmenge V vermittels einer Sperrflüssigkeit abgeschlossen ist.

Bei steigendem Gasdruck wird die Luft darin zusammengepreßt; die Einteilung der Skala wird nach dem Mariotteschen Gesetz hergestellt.

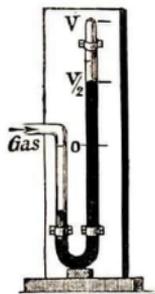


Abb. 146

Aufgaben

1. Erkläre das Diagramm der Zusammenpressung Abb. 147! [Anfangsvolumen = 1 m^3 ; Anfangsdruck $AA' = 1 \text{ at.}$] Wie groß ist der Gasdruck in diesem Fall, wenn die Gasmenge auf $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ [bzw. auf $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$. . .] des Anfangsvolumens zusammengepreßt wird?

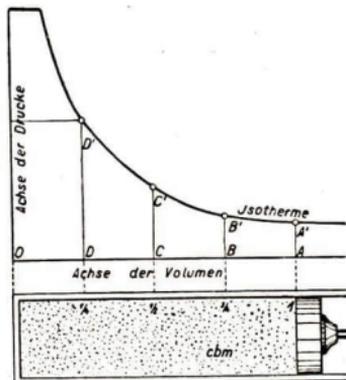


Abb. 147
Diagramm der Kompression

2. In einer Windbüchse sind 80 cm^3 Luft vom Barom. = 75 cm abgeschlossen. Wie groß ist der Gasdruck, wenn das Gas auf 1 cm^3 bzw. auf 20 cm^3 zusammengepreßt würde? (Dreisatz.) Wieviel g beträgt dabei der Druck auf eine Stempel­fläche von 3 cm^2 ? [Antwort: Druck $p_1 = 80 \cdot 75 \text{ cm}$. — Druck $p_2 = 4 \cdot 75 \text{ cm Hg} = 4 \cdot 75 \cdot 13,6 \text{ g/cm}^2 = 4080 \text{ g/cm}^2$. — Also Druck auf $3 \text{ cm}^2 = 4080 \cdot 3 = 12240 \text{ g.}$]

3. Fertige ein selbstgewähltes Beispiel nach Art von Aufgabe 2!

§ 42. Die Wasserpumpen

1. Die Handspritze (Abb. 148) ist ein kurzes, vorn etwas zugespitztes Rohr, in dem ein dicht anschließender Stempel hin und her bewegt werden kann.

Vorgang: Beim Hochziehen ent­steht im Rohr ein luftverdünnter Raum; in diesen wird das Wasser durch den Überdruck der äußeren Luft hinein­getrieben.

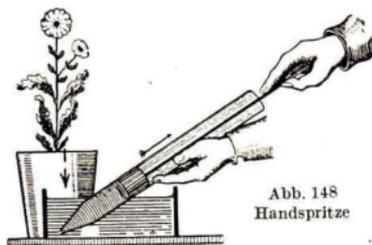


Abb. 148
Handspritze

2. Die Saugpumpe besteht aus einem zylindrischen Rohr, dem Pumpenstiefel, in dem ein durchbohrter Kolben hin und her bewegt werden kann.

Der Pumpenstiefel ist unten, der Kolben oben durch ein Ventil abgeschlossen. Beide Ventile, das Bodenventil x und das Kolbenventil y , öffnen sich nur nach aufwärts.

Vorgang: a) Setzt man die Pumpe mit dem Saugrohr S in die zu hebende Flüssigkeit und zieht den Kolben empor, so verdünnt sich die Luft unter dem Kolben und der **Überdruck der äußeren Luft** treibt die Flüssigkeit — unter Hebung des Ventils x — in den Stiefel.

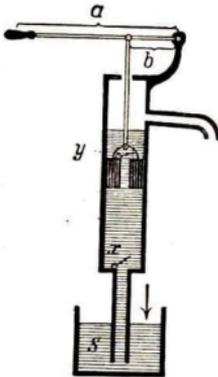


Abb. 149. Saugpumpe

b) Drückt man den Kolben dann abwärts, so schließt sich das Ventil x und die im Stiefel befindliche Flüssigkeit ist gezwungen, unter Öffnung des Ventils y , über den Kolben zu treten.

c) Die übergetretene Menge fließt beim nächsten Hub durch das Abflußrohr ab.

3. Bei der Druckpumpe ist

a) der **Kolben massiv**, b) das Abflußrohr befindet sich un-

terhalb des Kolbens und ist durch ein Druckventil abgeschlossen.

Vorgang: a) Beim Heben des Kolbens treibt der **Überdruck der äußeren Luft** die Flüssigkeit in den Stiefel.

b) Beim Niederdrücken schließt sich das Saugventil x , die Flüssigkeit wandert durch das Abflußrohr, hebt das Druckventil y und wird so in das Steigrohr gepreßt.

c) Beim zweiten Hub schließt sich dagegen das Druckventil y , es öffnet sich das Saugventil x und der Vorgang wiederholt sich von Zug zu Zug.

4. Vergleiche auch die **Zentrifugalpumpe** (Abb. 50). Bei dieser wird Luft nach außen geschleudert, so daß an der Achse ein luftverdünnter Raum entsteht.

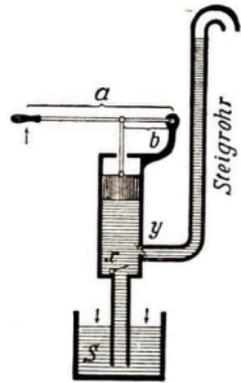


Abb. 150. Druckpumpe

§ 43. Heronsball und Feuerspritze (Verwendung von Druckluft)

1. Der **Heronsball** ist ein Gefäß, aus dem eine Flüssigkeit durch Einblasen von Luft herausgetrieben wird.

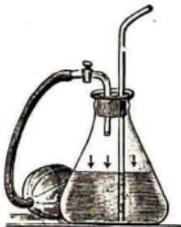


Abb. 151. Heronsball

Erkläre Abb. 151! Wie viele Rohre führen durch den Pfropf der Flasche? [Blasrohr; Steigrohr.] Sind beide Rohre durch Hähne abschließbar, so kann man durch Zublasen die Luft im Gefäß stark verdichten. Man spricht dann von einem Windkessel.

2. Die **Feuerspritze** ist eine Verbindung von zwei Druckpumpen A und B mit einem großen Windkessel W .

Vorgang: Durch die Pumpen kann man Wasser in den Windkessel W pumpen. Dadurch wird die Luft darin zu-

sammengepreßt und vielleicht auf n Atmosphären verdichtet. Öffnet man dann den Hahn des Steigrohres S , so spritzt die Flüssigkeit mit einem Überdruck von $(n-1)$ Atmosphären heraus. Jeder Atmosphäre entspricht eine Steighöhe von 10 m.

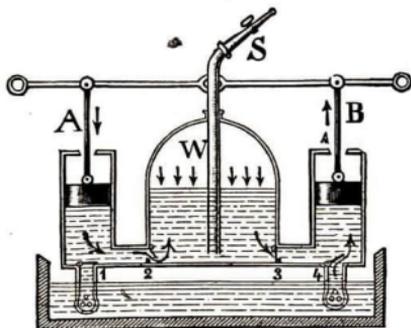


Abb. 152. Feuerspritze

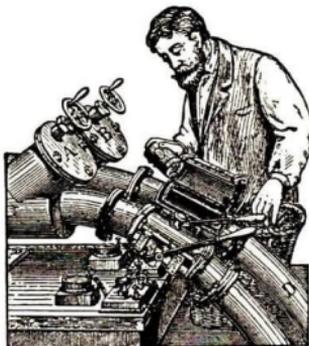


Abb. 153. Rohrpost

3. Druckluft findet auch Verwendung beim Betrieb der pneumatischen oder **Rohrpost** (Abb. 153).

Die Briefschaften kommen in eine zylindrische Büchse C , die in ein Rohr D gelegt wird und dieses wie ein Stempel abschließt. Durch große Luftverdichtungs-
maschinen wird Luft in das Rohr gepreßt. Die Druckluft treibt die Büchse durch das oft viele Kilometer lange Rohr von einem Postamt zum anderen.

Druckluft findet auch Verwendung zum **Anfachen von Feuer**. Dies lehrt der Blasbalg.

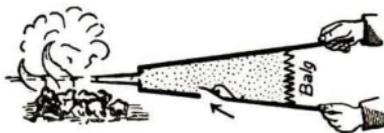


Abb. 154. Blasbalg

Erkläre den Vorgang an Abb. 154!

§ 44. Die zwei Heber

1. Der Stechheber ist ein gerades Glasrohr (in der Mitte sehr oft spindelförmig erweitert), das man oben bequem mit dem Daumen verschließen kann.

Gebrauch: Tauche den offenen Heber in eine Flüssigkeit ein! [Ergebnis: Sie steigt darin bis zum Flüssigkeitsspiegel empor.] Schließ nun den Heber oben mit dem Daumen ab und hebe die eingedrungene Flüssigkeit heraus! [Ergebnis: Sie läuft nicht heraus, da von unten her (\uparrow) der äußere Luftdruck entgegenwirkt.]

2. Der Saugheber ist ein Winkelrohr, das mit dem kürzeren Schenkel in eine Flüssigkeit taucht.



Abb. 155

Vorgang: Saugt man am Ende des längeren Schenkels die Flüssigkeit an, so steigt diese, angetrieben durch den Überdruck der äußeren Luft, zunächst empor, überschreitet die Biegung und beginnt dann **dauernd abzufließen**, sobald sie im langen Schenkel außen das Niveau *A B* unterschritten hat.

Grund: Jeder Schenkel stellt eine Art **Barometerrohr** vor; in beiden Röhren wirkt der Luftdruck von unten nach aufwärts; im kurzen vermindert um die kleine Druckhöhe *h* (vgl. Abb. 156), in der langen um die größere Druckhöhe *H*. Die im Rohr enthaltene Flüssigkeit erleidet also einen **Überdruck** vom kleineren Schenkel gegen den längeren.

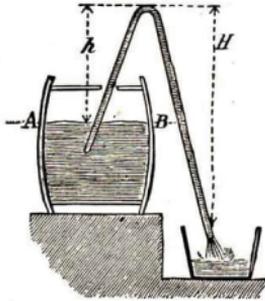


Abb. 156. Saugheber

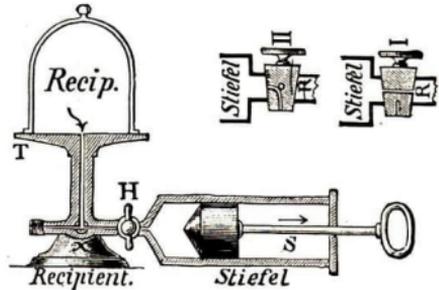


Abb. 157. Die Hahnluftpumpe

§ 45. Die Hahnluftpumpe

1. Die Hahnluftpumpe dient zum **Verdünnen** der Luft in einem Gefäß. Sie besteht aus zwei Teilen:

- a) aus dem **Rezipienten R**, d. h. dem Gefäß, das ausgepumpt werden soll. Dazu dient eine **Glasglocke**, die mit ihrem eingefetteten Rand auf einem durchbohrten Gestelle *T* sitzt;
- b) aus der **Pumpe S**, d. h. einem Metallzylinder (genannt **Stiefel**), in dem ein luftdicht anschließender Kolben hin und her geschoben werden kann.

Zwischen dem Rezipienten und dem Stiefel befindet sich der sog. **Dreiweghahn H**.

Dieser besitzt zwei unabhängige Bohrungen, eine gerade und eine krumme. Die gerade gestattet den Stiefel mit dem Rezipienten zu verbinden (Stellung I); die zweite verbindet bei Umstellung des Hahnes den Stiefel mit der Außenluft (Stellung II).

2. Handhabung. Man stellt zunächst den Hahn so, daß er den Rezipienten *R* mit dem Stiefel *S* verbindet, und **zieht den Stempel in S zurück**. Ergebnis: Die Luft des Rezipienten *R* verbreitet sich (vermöge

ihrer Expansion!) auch auf den Stiefelraum S und erfährt hierdurch eine erste Verdünnung.

Beispiel: Enthält der Rezipient 4 l, der Stiefel 8 l, so verbreiten sich die 4 l Luft des Rezipienten auf $(4 + 8) = 12$ l; die Verdünnungszahl ist also $\delta = 4 : 12 = 1/3$, d. h. jedes cm^3 im Rezipienten enthält nach dem Kolbenzuge nur mehr $1/3$ der ursprünglichen Luftmenge.

Um diese Verdünnung festzuhalten, sperrt man den Rezipienten ab. Dies geschieht, indem man den Hahn H so dreht, daß er den Stiefel mit der Außenluft verbindet.

Nun schiebt man den Stempel in S vor. Ergebnis: Die in S enthaltene Luft entweicht ins Freie, bis auf jene geringe Luftmenge, die im sog.



Abb. 158. Die Gummihaube platzt

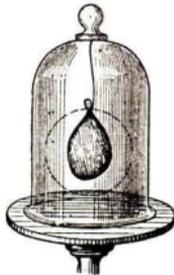


Abb. 159. Die Gummiblase schwillt auf

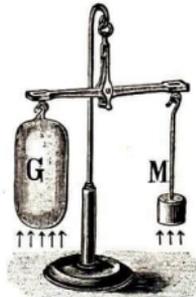


Abb. 160. Dasymeter



Abb. 161

„schädlichen Räume“ zwischen Hahn und Kolben verbleibt. Damit ist der erste Zug vollendet.

Bei jedem neuen Zug wird der im Rezipienten verbliebene Luftrest ruckweise in demselben Verhältnis δ verdünnt.

3. Die Luftpumpenversuche. Man unterscheidet: a) Versuche, um die Gewalt des Luftdrucks zu zeigen:

1. Ein dünnwandiger Schlauch wird beim Auspumpen bandförmig zusammengepreßt. — 2. Eine Gummihaube auf einem Zylinder wird beim Auspumpen des Zylinders vom Luftdruck zersprengt (Abb. 158). — 3. Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln, die man nur schwer trennen kann, wenn man die Luft zwischen ihnen verdünnt. — 4. Quecksilber wird durch Holz getrieben (Quecksilberregen).

b) Versuche, um die Aufblähung von Luftblasen zu zeigen (Abb. 159).

1. Eine mit etwas Luft gefüllte Gummiblase schwillt unter dem Rezipienten beim Evakuieren (= Pumpen) an. — 2. Bier schäumt auf.

c) Andere Versuche:

1. Versuch mit dem **Dasymeter** (Abb. 160). Dies ist eine kleine Waage, die auf der einen Seite einen größeren hohlen Glaskörper *G*, auf der anderen ein kleines Messinggewicht *M* zur Tarierung aufweist. In der Luft erscheinen beide gleich schwer; im Vakuum erweist sich der Glaskörper als schwerer, da er den größeren Auftrieb verliert.

2. Im luftleeren Raum fallen alle Körper gleich schnell. (Versuch mit der **Fallröhre**, Abb. 161.)

4. **Geschichtliches.** Die Hahnluftpumpe wurde vom Magdeburger Bürgermeister **Otto v. Guericke** 1636 erfunden. Seinen berühmten Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln, die von 16 Pferden nicht getrennt werden konnten, führte er **1654** auf dem Reichstag zu Regensburg vor.

Ursprünglich wollte *G.* ein Faß leerpumpen, aber unter Pfeifen und Zischen drang Luft hinein. Ein Kupferkessel, den er daraufhin leerpumpen wollte, wurde durch den ungeheuren Luftdruck zerquetscht.

§ 46. Luftballon

1. **Seifenblasen**, gefüllt mit Leuchtgas, steigen in der Luft empor, weil sie leichter sind als die verdrängte Luft.

2. **Der Luftballon** (erfunden **1783** von den Brüdern *Montgolfier*) ist ein unten offener Hohlkörper aus Ballonstoff, der meist mit Wasserstoffgas gefüllt wird, das bekanntlich 14mal leichter als Luft ist.

Ist der Ballon 1600 m^3 groß, so verdrängt er 1600 m^3 Luft; diese wiege rund $1600 \cdot 1,3 \text{ kg} = 2080 \text{ kg}$. 1600 m^3 Wasserstoff wiegen aber nur $1600 \cdot 90 \text{ g} = 144 \text{ kg}$. Hat nun der Ballon samt Gondel außerdem noch ein Gewicht von 1200 kg , so ist seine Steigkraft $= 2080 - (144 + 1200) = 736 \text{ kg}$. Er kann also gut noch drei bis vier Personen samt Ballastsäcken mit Sand an Bord nehmen.

Lehre von der Wärme (Kalorik)

§ 47. Woher kommt die Wärme?

1. Die wichtigste natürliche Wärmequelle ist die Sonne. (Abb. 162.) Dies merken wir besonders im Hochsommer.

Die **Sonne** ist ein ungeheuer großer feuerflüssiger Ball, umgeben von einer Schicht glühender Dämpfe. Sie liefert ungeheuer viel Wärme. Wie viele Öfen müßte man z. B. im Winter in den Straßen einer einzigen Stadt aufstellen und heizen, um die Stadt so stark zu wärmen, wie es die Sonne im Sommer umsonst tut!

2. Wärme erzielt man künstlich durch Verbrennen geeigneter Stoffe. Die gewöhnlichsten Brennstoffe sind Holz, Kohlen und Leuchtgas. Besonders das Leuchtgas ist ein sehr bequemer Brennstoff, der auch bei physikalischen Versuchen verwendet wird.



Abb. 162. Die aufgehende Sonne (150 Millionen Kilometer entfernt)

Dabei benutzt man den **Bunsenbrenner** (Abb. 163). Zerschraube diesen! [Er besteht aus Sockel, Kamin und Ring.] Durch geeignete Drehung des Ringes kann man dem Kaminrohr Luft zuführen. [Dann brennt die Flamme mit schwach

bläulicher Färbung und ist sehr heiß.] Ist die Luft abgesperrt, so rußt die Flamme und ist hell leuchtend.



Abb. 163
Bunsenbrenner

Die größte Hitze herrscht im Flammenmantel; innen ist die Flamme kalt.

Halte zur Probe ein Hölzchen quer durch die Flamme. [Der Mantel der Flamme brennt 2 Male



Abb. 164. Feuerreiben

hinein, Abb. 163.] — Führe den Kopf eines Zündholzes rasch ins Flammeninnere!

3. Auch durch Reibung entsteht Wärme. Führe eine Stricknadel zwischen Daumen- und Zeigefingerspitze rasch hin und her; sie wird so heiß, daß du dir die Finger daran verbrennen kannst.

Um Feuer zu machen, setzen die Wilden einen Stab aus Hartholz auf ein trockenes Brett und quirlen ihn rasch hin und her; durch die Reibung entzündet

sich der Stab. — Feuerschlagen mit Stahl und Stein. — Schnellfeuerzeuge. — Heißlaufen von Wagenrädern.

4. Die Körper kann man auf verschiedene Wärmegrade bringen. Dies zeigt sich schon beim Erhitzen von Wasser.

Erhitze Wasser mit der Flamme des Bunsenbrenners und tauche von Zeit zu Zeit deinen Finger hinein! Ergebnis:

Es gibt verschiedene Wärmegrade; **Hitze** ist ein hoher, **Kälte** ein niedriger Wärmegrad. Statt Wärmegrad sagt man auch **Temperatur**.

§ 48. Messung des Wärmegrades

1. Beschreibe dein Quecksilberthermometer! Es besteht aus einem sehr dünnen **Thermometerrohr**, an das sich unten ein meist länglich geformtes, mit Quecksilber gefülltes **Thermometergefäß** anschließt.

Vorübung: Erwärme letzteres mit der Hand! [Ergebnis: Das Quecksilber dehnt sich aus.] — Stecke das Thermometer in kaltes Wasser! [Ergebnis: Das Quecksilber zieht sich zusammen.] — Stecke es in Eis! [Ergebnis: Stand Null.] — Stecke es in Wasser, das du mit der Flamme des Bunsenbrenners allmählich erwärmst; lies von $\frac{1}{2}$ min zu $\frac{1}{2}$ min die Temperatur ab; mache hier von ein Diagramm! Welche Höchsttemperatur nimmt das siedende Wasser an? [Eigentümlicherweise nur 100° .] — Erhitze weiter! [Ergebnis: Das Wasser brodeln, siedet und wird immer weniger, zeigt aber dauernd nur 100° .]



Abb. 165

2. Zur Herstellung der Thermometerskala dienen zwei feste Wärmegrade: Der **Eispunkt** und der **Siedepunkt** des Wassers. Den Abstand zwischen beiden teilt man

nach Celsius in 100
 „ Réaumur in 80
 „ Fahrenheit in 180

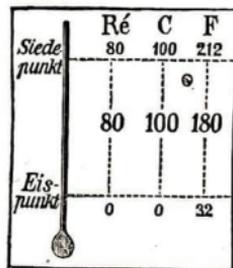


Abb. 166

gleiche Teile oder Grade ein. Da **Fahrenheit** (gemäß Abb. 166) den **Eis-punkt** statt mit Null mit 32° bezeichnet, so trägt sein **Siedepunkt** die Bezeichnung 212° . Die **Fahrenheitskala** wird in den englischen Gebieten benutzt. In der Wissenschaft gebraucht man die **Celsiuseinteilung**. Merke: $4^\circ \text{ Re} = 5^\circ \text{ C} = 9^\circ \text{ F}$. (*Fahrenheit* 1714 Glasbläser in Danzig.)

Umrechnung der Celsiusgrade. Teile durch 5! Multipliziere mit 9! Addiere schließlich 32° ; dann hast du die **Fahrenheitangabe**.

Beispiel: $30^\circ \text{ C} = \frac{30}{5} \cdot 9 + 32 = 86^\circ \text{ F}$.

Umrechnung der englischen Skala. Ziehe zuerst 32° ab! Teile den Rest durch 9! und multipliziere mit 5! — Beispiel: $86^\circ \text{ F} = \frac{86 - 32}{9} \cdot 5 = 30^\circ \text{ C}$. — Die Réaumurteilung ist außer Gebrauch.

Die Teilung wird unter den Nullpunkt fortgesetzt und führt dann auf sogenannte Minusgrade (Kältegrade).

3. Das Weingeistthermometer enthält als Füllung wasserfreien gefärbten Weingeist. Dieser dehnt sich stärker aus als Quecksilber und gefriert selbst bei sehr tiefen Kältegraden nicht. (Quecksilber erstarrt bei -39° C .) Daher in sehr kalten Gegenden in Gebrauch.

4. Tiefe Temperaturen kann man nach *Fahrenheit* künstlich herstellen, indem man kleingehacktes Eis mit Salz vermischt. Eine solche Mischung heißt **Kältemischung**.

$$\text{Kältemischung} = \text{Salz} + \text{Eis}$$

Übung: Führe diese Mischung aus und miß die erzielte tiefe Temperatur! [Ergebnis: Rund: -18° C ; dies ist der Nullpunkt *Fahrenheits*.] — **Vwendung** in Konditoreien zum Gefrierenlassen von süßen Säften.

Aufgaben

1. Rechne in fünf selbstgewählten Fällen eine Celsius-temperatur in Fahrenheitgrade um! — 2. Rechne ebenso die normale Körpertemperatur von $37,5^\circ \text{ C}$ in Fahrenheitgrade um! — 3. In einem englischen Lehrbuch liest man, daß Quecksilber bei 671° F siedet; rechne diesen Betrag in Celsiusgrade um!

§ 49. Ausdehnung fester Körper

Vorübung (Abb. 167): Spanne einen etwa 40 cm langen Streifen **Eisenblech** in einen Ständer ein und laß ihn auf einer Stecknadel *N* ruhen, an der du einen Papierzeiger befestigt hast. Erwärme den Streifen mit der Flamme des Bunsenbrenners! [Erfolg: Der Zeiger dreht sich! Was ist daraus zu schließen?] — Ergebnis:

1. **Feste Körper dehnen sich beim Erwärmen nur wenig aus.** Um die Ausdehnung sichtbar zu machen, muß man einen Kunstgriff anwenden. Berühmt ist der Versuch mit Kugel und Ring, den wir einem Schüler *Galileis* verdanken.

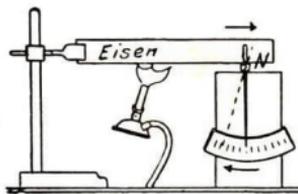


Abb. 167. Eisen erhitzen

a) **Versuch mit Kugel und Ring** (*Renaldini* 1660). Eine Messingkugel, die bei gewöhnlicher Temperatur knapp durch einen Ring geht, vermag dies nicht mehr, wenn man sie genügend erhitzt (Abb. 168).

b) Der Versuch mit **Stahlstab und Bolzen** (Abb. 169) zeigt die große Gewalt, mit der die Ausdehnung und Zusammenziehung erfolgt. Bei Erwärmung des

Stahlstabes kann man die an seinem Ende angebrachte Schraube stärker anziehen (Zeichen der Ausdehnung). Kühlt sich dann der Stab ab, so zersprengt er den vorgelagerten gußeisernen Bolzen.

c) Versuch mit dem **Doppelstreifen** (Abb. 170). Letzterer besteht aus zwei einandergewalzten Metallstreifen, z. B. aus Zink und Eisen. Erwärmt man ihn, so krümmt er sich, mit dem Zink auf der Außenseite. Man schließt daraus, daß

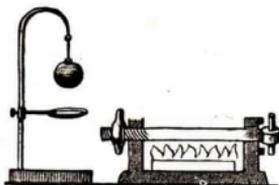


Abb. 168

Kugel u. Ring

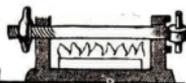


Abb. 169

Stab und. Bolzen



Abb. 170

Doppelstreifen



Abb. 171

Metallthermometer

sich Zink stärker ausdehnt als Eisen. — Verwendet beim **Metallthermometer** (Abb. 171); dieses zeigt einen spiralförmigen Doppelstreifen, dessen eines Ende festgemacht ist, indes das freie auf einen Zeiger drückt.

2. Nutzenanwendung. Man sollte meinen, daß so geringe Größenänderungen, wie sie feste Körper durch Erwärmen erleiden, praktisch kaum besonders ins Gewicht fallen würden. Dem ist aber nicht so:

a) Die Längenänderung ist zu berücksichtigen beim Bau von eisernen Brücken, beim Legen von Eisenbahnschienen.

b) Die große Kraft, mit der sich erhitzte Körper bei der Abkühlung zusammenziehen, findet vielfach nutzbringende Anwendung. Man zieht Reife glühend um **Kanonenrohre**, um Grundbauten der Leuchttürme. Man verbolzt glühend gemachte Eisenbalken zwischen Mauern weiter Hallen, die auseinander zu weichen drohen.

c) Auf die ungleich große Ausdehnung verschiedenartiger Körper ist das Abspringen des Lackes vom Holz, des Kittes vom Glas, das Zerspringen der Glasur an Öfen zurückzuführen. Konzentrische **Kanonenrohre** werden getrennt, indem man das äußere erhitzt. Ähnlich löst man Glasstöpsel aus Flaschen.

3. Bestimme die Längenausdehnungszahl! Dies ist die Ausdehnung eines Meters bei 1°C .

Sie ist natürlich sehr gering und beträgt nur einige Milliontel (z. B. bei Messing 19 Milliontel) Meter.

Die Ausdehnungszahl kann durch einen einfachen Versuch ziemlich genau festgestellt werden (Abb. 172). Man benutzt dazu ein 1 m langes Messingrohr AB , dessen eines Ende A festgemacht ist, während das zweite freie Ende auf einer Stricknadel NN ruht, an der ein Zeiger Z befestigt ist.

Eichung der Skala. Man verschiebt den Stab AB um genau 1 cm und beobachtet z. B., daß sich der Zeiger um 400 Winkelgrade dreht.

1 Winkelgrad der Skala entspricht dann $\dots \frac{1}{400}\text{ cm}$.

Hauptversuch: a) Man leitet nun Dampf durch das Rohr und beobachtet dabei z. B. eine Zeigerdrehung um 60 Winkelgrade. Dem entspricht dann eine **Gesamtausdehnung** von $60 \cdot \frac{1}{400}\text{ cm} = 1,5\text{ mm}$.

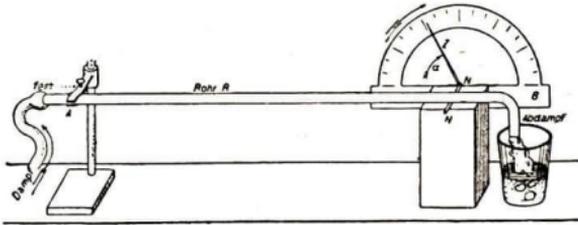


Abb. 172. Ausdehnung eines Rohres

b) Wenn die Zimmertemperatur 20° C , die Dampftemperatur 100° C betrug, so hat sich der Stab um 80° C erwärmt.

c) Für 1° C Erwärmung betrage hiernach die Gesamtausdehnung nur $1,5\text{ mm} : 80 = 0,000019\text{ m}$. Dies ist die Ausdehnungszahl des Messings.

Die Längenausdehnungszahl für Glas und Platin ist 9 , für Eisen 11 , für Zink 30 Milliontel (für 1 m und 1 Grad).

Aufgaben

1. Um wieviel dehnt sich eine 8 m lange Eisenbahnschiene bei einer Temperaturschwankung von 50° C aus? [Antwort: Um $8 \cdot 50 \cdot 11$ Milliontel Meter = $4,4\text{ mm}$.]

2. Der Erdumfang ist 40000 km (Abb. 1). Um wieviel würde sich ein um die Erde gelegter Messingring bei 1° C Erwärmung ausdehnen? [Antwort: Um $40000 \cdot 1000 \cdot 19$ Milliontel Meter = 760 m .]

§ 50. Ausdehnung von Flüssigkeiten

Vorübung mit einem Fläschchen (Abb. 173), durch dessen Pfropf ein Steigrohr und ein Thermometer führen. Fülle es unter sorgfältiger Vermeidung von Luftblasen mit Wasser und setze es dann in ein Wasserbad, das du langsam erhitzest. [Ergebnis: Das Wasser steigt im engen Rohr empor.] Merke:

1. Flüssigkeiten dehnen sich bei gleicher Erwärmung viel stärker aus als feste Körper.

Rechnung. Entspricht jedem cm Rohrlänge das kleine Volumen v (zu ermitteln durch Auswägung eines Quecksilberfadens) und steigt der Flüssigkeitsfaden um $h\text{ cm}$, so war die

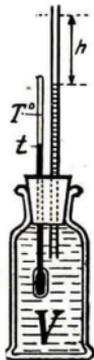


Abb. 173

$$\text{Gesamtausdehnung} = h \cdot v$$

2. Bestimme die Raumausdehnungszahl. Dies ist die Ausdehnung von 1 cm^3 bei 1° C .

Man findet sie, indem man die oben ermittelte Gesamtausdehnung durch das Volumen V des Fläschchens und durch die Zahl der Erwärmungsgrade ($T - t$) teilt.

Für Petroleum ist die Ausdehnungszahl rund 1000 Milliontel.

3. Größte Dichte des Wassers. Wasser dehnt sich unregelmäßig aus. Erwärmt man es von 0° bis 4° C , so zieht es sich zusammen, erst von 4° C ab dehnt es sich aus. Merke also:

Bei 4° C hat das Wasser seine größte Dichte

Versuch (Abb. 174): Bring in ein Glas Wasser so viel Eisstückchen (besser Schnee), daß sie ungefähr die Hälfte des Glases ausfüllen! Dann stecke zwei

Thermometer darein, wovon das eine im Wasser, das andere im Schnee steht! [Ergebnis: Nach Verlauf einer Viertelstunde zeigt das erstere 4° C , das andere 0° C .] Also ist das 4° gradige Wasser spezifisch schwerer als das 0° gradige!

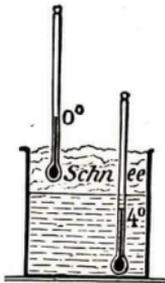


Abb. 174

Bedeutung im Haushalte der Natur. Streicht über ein stehendes Gewässer, z. B. einen See von vielleicht 8° C , ein kalter Wind, so kühlt sich zunächst die oberste Schicht ab, wird spezifisch schwerer und sinkt zu Boden, während das wärmere Wasser emporsteigt. Es tritt also **Zirkulation** ein. Diese dauert so lange an, bis der ganze See die Temperatur von 4° angenommen hat. Kühlt sich

nun die oberste Schicht von 4° weiter ab, so wird sie spezifisch leichter und bleibt oben liegen. Der See beginnt also von oben her zu gefrieren. (Wichtig für die Fische.)

4. Wasser zersprengt beim Gefrieren Gefäße. Daraus folgt, daß es sich beim Gefrieren mit großer Gewalt ausdehnt.

Aus 10 l Wasser werden 11 l Eis



Abb. 175
Zersprengen
der Kugel

Schülerübung: Fülle ein Proberöhrchen 10 cm hoch mit Wasser und stelle es in eine Kältemischung! [Nach dem Gefrieren hat man 11 cm hoch Eis.]

Versuch: Füllt man eine starkwandige Eisenkugel mit Wasser, verschraubt sie gut und setzt sie in eine Kältemischung, so wird sie durch das gefrierende Wasser gesprengt (Abb. 175). — Das im Winter ausgefrierende Wasser verwittert bzw. sprengt Felsmassen und lockert die Ackererde.

Eis ist demnach spezifisch leichter als Wasser. Es schwimmt auf letzterem, taucht aber sehr tief ein (11 m Eis tauchen 10 m tief ein; Eisberge).

§ 51. Ausdehnung der Gase. Gesetz von Gay-Lussac (1810)

Vorübung mit einer Flasche (Abb. 176), an die ein Steigrohr angesetzt ist. Tauche sie umgekehrt mit der Rohrmündung in Wasser und erwärme sie dann mit der Flamme des Bunsenbrenners! [Ergebnis: Es quirlen in rascher Folge Luftblasen heraus.] — Nimm die Glaskugel des **Thermoskops** (Abb. 177) in die warme Hand! [Ergebnis: Die Flüssigkeit im Manometerrohr weicht beträchtlich zurück.] Merke also:

1. Die Luft dehnt sich beim Erwärmen stark aus.



Abb. 176



Abb. 177

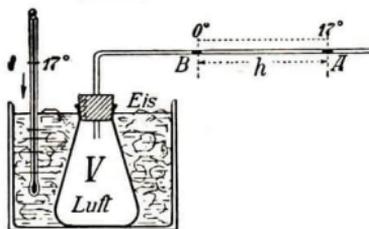


Abb. 178. Ausdehnung der Luft

2. Bestimme die Raumausdehnungszahl für 1 cm^3 und 1° C ! Dazu benutzt man zweckmäßig ein Probefläschchen (von bekanntem Volumen $V = \text{rund } 20 \text{ cm}^3$), in dessen waagrecht umgebogenes Ansatzrohr ein Quecksilbertropfen A eingebracht wird, um Luft darin abzuschließen (Abb. 178).

Schülerübung: Markiere durch eine Fadenschlinge zunächst den Stand des Tropfens A bei **Zimmertemperatur!** (Diese sei 17° C .)

Setze nun das Fläschchen in **Eis!** [Der Tropfen A geht nach B zurück.] Miß den Weg $AB = h$. **Rechnung:** Entspricht jedem cm Rohrlänge das Volumen v , so ist die **Gesamtausdehnung** $= h \cdot v$.

Teilt man die Gesamtausdehnung AB erstens durch die Zahl V der cm^3 des Fläschchens, zweitens durch die Zahl der Grade der Abkühlung (oben $t = 17^\circ$), so erhält man die gewünschte Ausdehnungszahl für 1 cm^3 und 1° C . — Es ergab sich:

Alle Gase haben dieselbe Raumausdehnungszahl:

$$\frac{1}{273} = 0,003666$$

d. h.: Jede Gasmenge dehnt sich bei 1° C Erwärmung stets um $\frac{1}{273}$ jenes Volumens aus, das es bei 0° besaß.

3. Das **einfachste Gasthermometer** ergibt sich, wenn man in ein Rohr bei der Temperatur 0° C eine Luftmenge von der Länge 273 cm

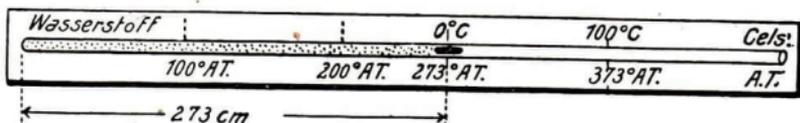


Abb. 179. Gasthermometer

abschließt (Abb. 179). Bei jedem Grad Erwärmung rückt dann der abschließende Quecksilbertropfen im Rohr genau um **1 cm** vor. Merke:

Jedem Celsiusgrad ... entspräche ... **1 cm**

Neue Skala: Die Physiker bezeichnen nun 0°C dieser Thermometerskala mit 273° absolut; 1°C mit 274° abs.; 2°C mit 275° abs.; 100°C mit 373° abs. So erhält man eine neue Temperaturskala, die man als absolute Temperatur bezeichnet. Ergebnis:

Die **absolute Temperatur** ergibt sich, wenn man zur Celsius-temperatur 273 Grad addiert.

$$T = t + 273^0$$

4. Ausdehnungsgesetz von Gay-Lussac. Betrachten wir die Ausdehnung der Luft im Gasthermometer, so ergibt sich sofort das einfache Gesetz von *Gay-Lussac* (1810):

Das **Volumen** einer Gasmenge steigt und sinkt genau **proportional** mit der absoluten Temperatur.

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$$

Man kann also das **Gasvolumen** bei jeder Temperatur durch einen Dreisatz oder durch eine Proportion vorausberechnen. **Beispiel:** Bei 200° abs. sei das Volumen 800 cm^3 , wie groß ist es bei 300° abs. ? —

a) mit Dreisatz:

Bei 200° abs. . . .	800 cm^3	
„ 1° „ . . .	$\frac{800}{200} = 4\text{ cm}^3$	
„ 300° „ . . .	$300 \cdot 4 = 1200\text{ cm}^3$	

b) mit Proportion:

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$$

$$800 : x = 200 : 300$$

$$x = \frac{800 \cdot 300}{200} = 1200\text{ cm}^3.$$

Hierbei muß der Druck auf dem Gas konstant bleiben.

5. Allgemeine Gasrechnung. Beispiel: Bei 27°C ($= 300^\circ$ abs.T.) und 720 mm Druck habe eine Gasmenge das Volumen 900 cm^3 ; wie groß wäre ihr Volumen bei 87°C ($= 360^\circ$ abs.T.) und 600 mm Druck? Lösung:

Bei 300° abs. und 720 mm Druck ist das Vol.	900 cm ³
„ 1° „ „ 720 „ „ „ „ „	3 cm ³
„ 360° „ „ 720 „ „ „ „ „	1080 cm ³
„ 360° „ „ 1 „ „ „ „ „	1080 · 720 cm ³
„ 360° „ „ 600 „ „ „ „ „	$\frac{1080 \cdot 720}{600}$ cm ³
	= 1296 cm ³

Aufgaben

Wie groß ist das Volumen folgender Gasmengen bei sog. **Normalumständen**, d. h. bei 0° C (= 273° abs.) und 760 mm Druck:

- von 560 cm³ Gas von 7° C (= 280° abs.) und 720 mm Druck?
- von 7,6 Liter Gas von 87° C und 720 mm Druck?
- von 380 Liter Gas von 77° C und 770 mm Druck?

§ 52. Kalorie und ihr Arbeitswert

Geschichtliches. Früher hielt man die Wärme für einen feinen Stoff, der von einem Körper aufgenommen wird, wenn er sich erwärmt. (Vergleich mit Wasser, das von einem Schwamm aufgenommen wird.)

Erwärme 1 kg Wasser um 1° C! [Der Physiker sagt dann: Das kg Wasser hat dabei eine **Kilokalorie** aufgenommen.] Merke:

1. Die Einheit der Wärmemenge heißt **Kalorie**.

1 Kilokalorie (1 kcal)	erwärmt 1 kg Wasser um 1° C
1 Grammkalorie (1 cal)	„ 1 g „ „ 1° C

Aufgabe: Erhitze in einem Blechtopf 250 g Wasser um 40° C! Gib an, wie viele Kalorien dabei das Wasser aufgenommen hat! [Ergebnis: Jedes g Wasser für jeden Grad 1 cal; also im ganzen 250 · 40 · 1 cal = 10000 cal.]

2. Spezifische Wärme ist die Wärmemenge, die 1 g eines beliebigen Stoffes um 1° C erwärmt.

Versuch: Man bringe in zwei gleiche Becher gleiche Gewichtsmengen Wasser bzw. Quecksilber, ferner in beide zwei kleine empfindliche Thermometer. Heizt man beide mit demselben Bunsenbrenner gleich lange Zeit, so steigt die Temperatur des Wassers vielleicht nur um 1°, die des Quecksilbers schon um 50°.

Die spez. Wärme des Quecksilbers ist $\frac{1}{50}$ heißt: 1 g Quecksilber braucht zur Erwärmung um 1° C nur $\frac{1}{50}$ cal.

Die spezifischen Wärmen einiger wichtigen Körper sind:



Abb. 180

Quecksilber $\frac{1}{50}$	Messing $\frac{1}{11}$	Glas $\frac{1}{5}$
Blei $\frac{1}{30}$	Eisen $\frac{1}{9}$	Wasser 1

Frage: Welche Wärmemenge ist nötig, um 900 g Eisen um 40°C zu erwärmen? **Antwort:** Um 1 g Eisen um 1°C zu erwärmen braucht man $\frac{1}{9}$ cal. Um 900 g Eisen um 40°C zu erwärmen braucht man also $900 \cdot 40 \cdot \frac{1}{9} \text{ cal} = 4000 \text{ cal}$.

Aufgaben: Welche Wärmemengen nehmen auf a) 600 g Eisen bei Erwärmung um 50°C ? b) 500 g Quecksilber bei Erwärmung um 10°C ? c) 3,5 kg Blei bei Erwärmung um 200° ? d) 900 g Eisen bei Erwärmung von 30°C auf 50°C ? e) 99 g Messing bei Erwärmung von 17° auf 27°C ? f) Ein Bügeleisen von 2 kg Gewicht, wenn die Zimmertemperatur von 10°C auf 19°C ansteigt?

3. Wärmemengen erzielt man künstlich durch Verbrennen von Stoffen. Die Güte dieser Heizstoffe bezeichnet man durch Angabe ihrer Verbrennungswärme.

Die Verbrennungswärme reiner Kohle ist 8000 Kilokalorien für 1 kg. Andere Verbrennungswärmen sind für:

Mittelgute Kohle . . .	5500 kcal/kg	Spirit	7000 kcal/kg
Leuchtgas u. Petroleum	12000 kcal/kg	Holz	3600 kcal/kg

4. Wärme kann man auch durch Reibung erzielen (Abb. 164). Um 1 Kilokalorie zu erzielen, muß man aber sehr viel Arbeit leisten, nämlich **426 mkg**, oder für

$$1 \text{ cal} \dots\dots\dots \text{rund } \frac{1}{2} \text{ mkg}$$

Um diese Zahl zu finden, ließ **Hirn** einen Bleiklotz auf einen anderen fallen. Die geleistete Arbeit (= Gewicht \times Fallhöhe) war leicht zu ermitteln; ebenso aus der Erwärmung der Bleiklotze die erzielte Wärmemenge.

Umgekehrt kann man Wärme wieder in Arbeit umsetzen. Schönstes Beispiel ist die Dampfmaschine. Man sagt:

Wärme ist eine Energieform

d. h. eine Art unsichtbar, aber fühlbar aufgespeicherter Arbeit.

§ 53. Ausbreitung der Wärme

1. Durch Leitung.

Vorübung: Tauche einen **Holzstab** und einen **Metallstab** in heißes Wasser! [Beim Betasten der herausragenden Enden spürst du bald, daß Holz schlechter leitet als Metall.]

Versuch: Läßt man z. B. zwei gleich große Stäbe aus **Kupfer** und **Eisen**, denen in gleichen Abständen Kugeln aufgeklebt sind, mit ihren freien Enden zusammenstoßen und erwärmt dort beide gemeinsam, so zeigt sich, daß sich die Wärme im Kupfer schneller als im Eisen fortpflanzt, da die mit Wachs aufgeklebten

Kugeln bei ersterem schneller sich ablösen als bei letzterem (Abb. 181). — Ergebnis:

Es gibt **gute** und **schlechte** Wärmeleiter. Gute Wärmeleiter sind die Metalle (an der Spitze Silber und Kupfer). Sehr schlecht leiten Ofenkacheln, dann alle lockeren Körper, wie Asche, Wolle, Torfmull, Federn, Haare. Schlechte Leiter nennt man **Isolatoren**. (Verwendung bei Kochkisten.)

2. Wärme kann auch durch Strömung übertragen werden. Solche Strömungen treten in Flüssigkeiten und Gasen ein, wenn man sie einseitig erwärmt.

Erkläre Abb. 182! Die erwärmten Teilchen sind spezifisch leichter als die umgebenden und steigen daher in diesen empor. Beim Emporsteigen übertragen sie die empfangene Wärme an andere Orte.



Abb. 182

Golfstrom: Das erwärmte Meerwasser strömt vom Golf von Mexiko in nordöstlicher Richtung an Englands Küste vorbei nach kälteren Gegenden ab. (Dadurch erhält Englands Küste ein mildes Klima.)

Versuche die Passatwinde an Abb. 184 zu erklären! (Aufsteigen der erwärmten Luft am Äquator; Abfließen nach den polaren Zonen; Rückfluß an der Erde nach dem Äquator.)

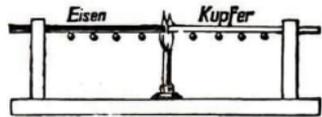


Abb. 181. Kupfer leitet die Wärme besser als Eisen

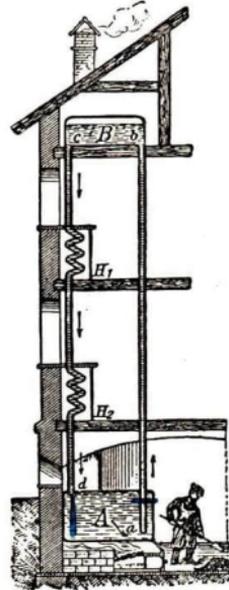


Abb. 183. Warmwasserheizung

Nachweis von **Luftströmungen** im Zimmer: Halte eine Kerzenflamme a) unten, b) oben an den Türspalt!

Bei der **Warmwasserheizung** (Abb. 183) wird dieses Strömen verwendet.

Beim Heizen des Kellerkessels *A* steigt das erhitzte Wasser im geraden Rohr *b* auf, um beim Niedersinken in den Heizkörpern H_1, H_2 seine mitgeführte Wärme abzugeben. (Kreislauf.)

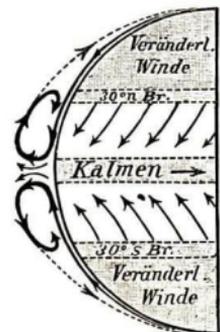


Abb. 184 Entstehung der Passate

§ 54. Das Schmelzen

Vorversuch: Man schmelze Blei (in einem eisernen Löffel), Schwefel, Siegelack! Man schmelze eine Glasröhre in der Flamme des Bunsenbrenners! Ergebnis:

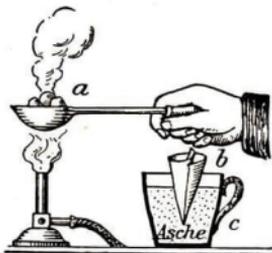


Abb. 185. Bleischmelzen

1. Die meisten festen Körper lassen sich schmelzen, d. h. in eine Flüssigkeit verwandeln. Seit alter Zeit bekannt.

Ton und Graphit schmelzen nicht; aus diesen werden die Schmelztiegel gefertigt. Brot und andere Stoffe zersetzen sich bei Erhitzung. — *Hephaistos* soll das Metallschmelzen erfunden haben.

2. Schmelzpunkt.

Vorübung: Erhitze Paraffin in einem Proberohr und bestimme die Temperatur, bei der es schmilzt und wieder erstarrt!

a) Das Schmelzen tritt erst bei einer bestimmten Temperatur ein. Diese Temperatur heißt der Schmelzpunkt.

So z. B. schmilzt Eis bei 0° , Wachs bei 62° , Glas bei 900° , Platin bei 1750° , Osmam bei 2700° C.

b) Geschmolzene Körper erstarren bei Abkühlung wieder. Der Erstarrungspunkt ist derselbe wie der Schmelzpunkt.

3. Wärmeverbrauch beim Schmelzen. Bringt man Eis in ein Zimmer, so schmilzt es, und die Luft im Zimmer wird kälter. Daß das schmelzende Eis der Umgebung Wärme entzieht, wird ausgenutzt beim Eisschrank.

Versuch: Bring in 1 kg heißes Wasser von 80° C genau 1 kg Eis! [Ergebnis: Das heiße Wasser verliert seine 80 Kilokalorien und man hat 2 kg kaltes Wasser von 0° C.] Merke:

1 kg Eis verbraucht beim Schmelzen 80 kcal.
von 0° C

§ 55. Sieden und Verdunsten

1. Was ist Dampf?

Betrachte den Siedevorgang! Erhitze Wasser in einem Gefäß immer mehr! [Ergebnis: Seine Temperatur steigt auf 100° C und bleibt dann stehen, bis kein Wasser mehr im Gefäß ist.] Das verschwindende Wasser hat sich in Dampf verwandelt. Merke:

Der Dampf ist ein unsichtbares Gas, das sich der umgebenden Luft beimischt.

An jenen Stellen der Gefäßwand, die zuerst die Temperatur 100° aufweisen, bilden sich in schnellen Folgen Dampfblasen, die durch ihr Aufsteigen im Wasser das Brodeln veranlassen. Dampfblasen sind Hohlräume, gefüllt mit Dampf.

2. Kondensation des Dampfes.

Vorübung: Halte über kochendes Wasser einen kalten Deckel! [Ergebnis: Er beschlägt sich mit Wassertröpfchen.] Hauche gegen die kalte Fensterscheibe! [Es zeigen sich daran Wassertröpfchen.] Merke also:

Der Dampf wird durch **Abkühlung** wieder in **flüssiges Wasser** verwandelt.

Diese Rückverwandlung des Dampfes in Flüssigkeit nennt man **Kondensation**. Sie wird verwertet beim Destillieren.

Durch **Destillieren** (Abb. 186) kann man Wasser von Beimengungen (Salz, Zucker, Kalk) befreien. Beim Verdampfen bleiben nämlich letztere im Destillierkolben zurück, während sich in der Kühlvorlage reines Wasser (**Aqua destillata**) abscheidet. — Glaskolben, in denen man längere Zeit Brunnenwasser siedet, zeigen einen milchigen Beschlag, da besonders in den Alpenländern das Wasser viel Kalk gelöst hält. (**Kesselstein** in Dampfkesseln!)

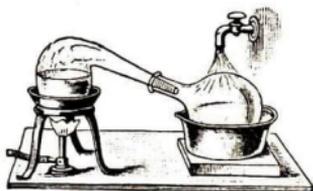


Abb. 186. Das Kondensieren (Destillieren)

3. Nebel und Wolken sind bereits kondensierter Wasserdampf, der sich in mikroskopisch feinsten Tröpfchen an den in der Luft schwebenden Staubteilchen festgesetzt hat.

Durchquert ein Luftballon eine Wolke, so befindet er sich in dichtem Nebel. — Warum wird der Atem, den wir an einem kalten Wintertag ausatmen, als Nebel sichtbar?

4. Der Siedepunkt des Wassers ist auf Bergen geringer als 100°C , auf dem Mont Blanc (in 4000 m Höhe) nur 84°C . Man schließt daraus, daß der Siedepunkt aller Flüssigkeiten vom Luftdruck abhängt. Merke

Je höher der **Luftdruck**, desto höher der **Siedepunkt**

Dies zeigt man bequem mit einem kleinen Dampftopf (Abb. 187), der mit einem Thermometer, einem Druckmesser und einem Sicherheitsventil ausgerüstet ist. (Ein solcher Topf heißt ein **Papinscher Topf**.) Man sieht, daß beim Anheizen des Wasserinhalts die Temperatur des Wassers mit dem Druck steigt, der auf dem Wasser lastet. In solchen Dampftöpfen kann man also Wasser weit über 100°C erwärmen (z. B. harte Speisen weichkochen).

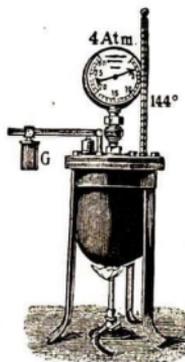


Abb. 187
Dampftopf

5. Wärmeverbrauch beim Verdampfen.

Versuch von Black (1760): Braucht man 3 Min., um etwas Wasser in einem Becher von 0° bis 100° zu erwärmen, und weiterhin 16 Min., um das Wasser zu

verdampfen, so ist zum Verdampfen $\frac{16}{3} = 5\frac{1}{3}$ mal soviel Wärme erforderlich wie zum Erwärmen von 0° bis 100° , d. h. $5\frac{1}{3} \cdot 100$ Kalorien. Merke:

1 kg Wasser verbraucht beim Verdampfen 537 Kal.



Abb. 188
Abkühlung

6. Verdunstung. Wenn man die Schultafel mit dem nassen Schwamm abwischt, so ist sie nach kurzer Zeit wieder trocken. Man sagt, die Wasserschicht ist verdunstet. Das Wasser hat sich also schon bei gewöhnlicher Temperatur in Dampf verwandelt, der sich der Luft beimengt.

Weitere Beispiele: Wäsche trocknet; Tintenschrift trocknet. — Benetze den Zeigefinger mit Spiritus und blase dagegen! [Ergebnis: Der Finger kühlt sich stark ab!] Ergebnis:

Auch zum Verdunsten ist Wärme nötig

Diese Wärme entriß der fortgehende Dampf dem Finger.

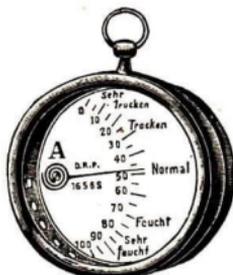


Abb. 189. Hygromèter
von Mithof

7. Feuchtigkeitsanzeiger. Den Wasserdampf kann man nicht sehen, wohl aber mit einem **Hygrometer** (= Feuchtigkeitsmesser) nachweisen. Das Hygrometer von **Mithof** enthält eine kleine Kupferspirale *A*, die außen mit einem Streifen Eihaut überzogen ist. Dieses saugt Feuchtigkeit aus der Luft auf, wodurch sich die Spirale stärker krümmt.

Stoffe, die Feuchtigkeit aus der Luft anziehen, heißen hygroscopisch. (Eine Darmsaiten verlängert sich dabei, ebenso ein Haar.)

§ 56. Die Dampfmaschine

1. Teile. Die Dampfmaschine weist zwei Hauptteile auf: 1. den **Dampfkessel**, in dem der Dampf erzeugt wird, 2. den **Dampfzylinder**, in dem der Dampf zur Arbeit angehalten wird.

Der Dampfkessel ist ein Papinscher Topf aus starkem Eisenblech, der bis zu $\frac{2}{3}$ seiner Höhe (bei eingemauerten Kesseln bis zur *Feuerungslinie*) mit Wasser gefüllt sein soll.

Die **Rauchgase** der Feuerungsanlage werden zur Ausnutzung der in ihnen enthaltenen Wärme nach einer Angabe von **Stephenson** in Röhren durch das Kesselwasser geführt (**Röhrenkessel**).

Zur Überwachung des Wasserstandes dient 1. ein Wasserstandsglas, 2. ein Dampf- und ein Wasserhahn.

Zur **Überwachung des Dampfdruckes** dient: 1. ein Manometer; 2. ein Sicherheitsventil, das sich öffnet, wenn der Dampfdruck eine zulässige Grenze überschreitet. (Meist ein einarmiger Hebel, an dem ein Laufgewicht, bei Lokomotiven eine Federwaage befestigt ist.)

2. Die eigentliche Maschine besteht aus dem **Dampfzylinder**, in dem ein **Kolben** durch den bald links, bald rechts einströmenden Dampf hin und her geschoben wird.

Um dies zu regeln, wird der Dampf, bevor er in den Zylinder eintritt, durch den sog. **Schieberkasten** geleitet. Dieser bietet dem eintretenden Dampf drei Auswege *1*, *2*, *3*, von

denen *1* und *3* zum Zylinder, *2* zu einem Kondensator oder ins Freie führt. Je zwei der Öffnungen, entweder *1*, *2* oder *2*, *3*, werden von einem beweglichen **Schieberventil** überdeckt, je nachdem dasselbe vorwärtsbewegt oder zurückgezogen erscheint.

Die Steuerung des Schieberventils wird von der Maschine selbsttätig mittels des **Exzenters** besorgt.

Der Exzenter ist, wie die Abbildung zeigt, eine auf der Achse des Schwungrades aufgekeilte **Stahlscheibe**, um die ein Ring *r* läuft, der durch ein Gestänge mit dem Schieberventil verbunden ist.

Vorgang: Der bei Öffnung *3* eintretende Dampf treibt den Stempel vorwärts; der vor dem Stempel befindliche Dampf entweicht durch *1* und *2* ins Freie. (Abdampf.) Vom Stempel wird nun ein Schwungrad in Drehung versetzt und dieses zieht vermöge des Exzenters das Schieberventil so weit zurück, daß der Dampf statt bei *3* nun bei *1* eintreten kann. (Selbststeuerung.) Das Spiel kehrt sich um und der Stempel wird von dem nun bei *1* eintretenden Dampfe wieder zurückgetrieben. Das Schwungrad hat besonders die Aufgabe, die sog. toten Punkte im Gang der Maschine zu überwinden.

Um einen gleichmäßigen Gang der Maschine herbeizuführen, ist es nötig, die Dampfzufuhr abzusperrn, wenn die Maschine zu rasch geht. Dies besorgt die **Drosselklappe D**.

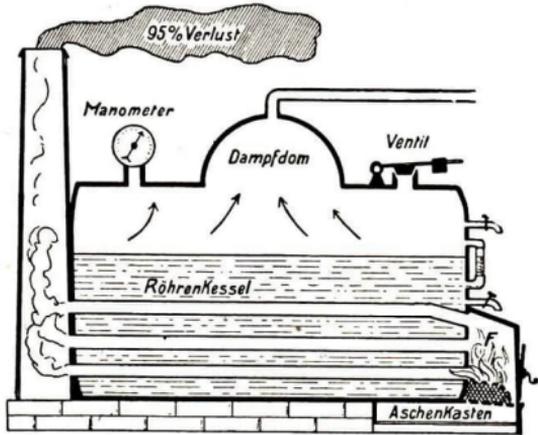


Abb. 190. Dampferzeugung im Kessel

Diese ist durch einen Winkelhebel mit der Muffe eines **Zentrifugalregulators** in Verbindung, der durch das Schwungrad in steter Drehung erhalten wird. Steigert sich die Umdrehungszahl bei rascherem Gang der Maschine, so heben sich die Pendelkugeln und ziehen die Drosselklappe zu (Drosselung des Dampfes).

3. Beispiel der Arbeitsberechnung. Hat der Dampf 5 at Druck, so drückt dieser pro cm^2 auf die Stempelfläche mit 5 kg. Ist die Stempel-

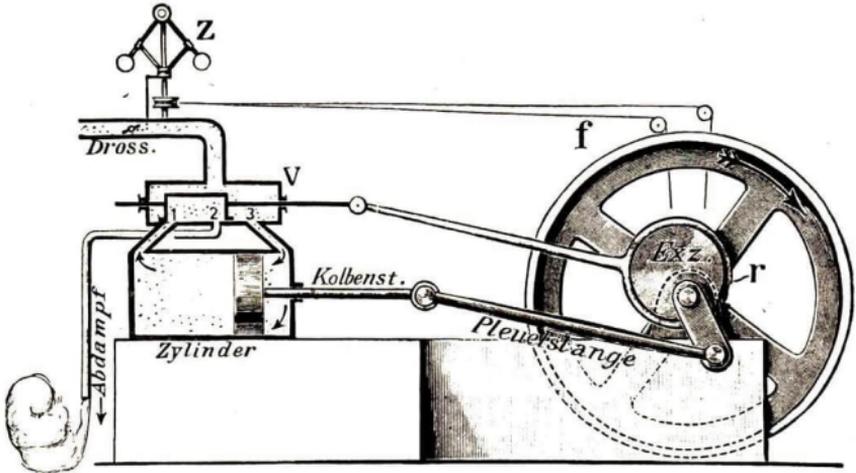


Abb. 191. Die eigentliche Maschine

fläche nun etwa 100 cm^2 groß, so ist der Dampfdruck dagegen $5 \cdot 100 = 500 \text{ kg}$. Treibt dieser den Stempel bis ans Ende des Zylinders und ist letzterer 40 cm ($= 0,4 \text{ m}$) lang, so ist die vom Dampf geleistete

$$\begin{aligned} \text{Arbeit} &= \text{Kraft mal Weg} \\ &= 500 \text{ kg mal } 0,4 \text{ m} = 200 \text{ mkg}. \end{aligned}$$

Bei Hin- und Hergang, d. h. bei einer Umdrehung des Rades, ist also die geleistete Arbeit 400 mkg . Macht das Rad in 1 Minute nun 40 Umdrehungen, so ist

$$\begin{aligned} \text{die minutliche Arbeit} &= 40 \cdot 400 = 16000 \text{ mkg/min}, \\ \text{die sekundliche Arbeit} &= \frac{16000}{60} = \text{rund } 267 \text{ mkg/sec}. \end{aligned}$$

75 mkg/sec nennt man 1 Pferdestärke (1 PS); daher würde die betrachtete Dampfmaschine $267 : 75 = \text{rund } 3\frac{1}{2} \text{ PS}$ leisten.

Anmerkung. Dabei ist vorausgesetzt, daß vom Abdampf kein Gegendruck auf den Stempel geleistet wird. Dies tritt nahezu ein, wenn man den Abdampf in eine Kühlvorrichtung (Kondensator) leitet (**Kondensationsmaschine**). Geht

aber der Abdampf ins Freie (**Auspuffmaschine**), so drückt die Außenluft mit 1 at gegen den Stempel.

4. Geschichtliches. Der Universitätsmechaniker **James Watt** erfand 1765 die doppelt wirkende Dampfmaschine. 1807 fuhr das erste Dampfschiff; 1825 ließ **Georg Stephenson** die erste Lokomotive auf Schienen laufen.

Lehre vom Schall (Akustik)

§ 57. Ausbreitung

1. Wann tönt ein Körper?

Klemme einen Stahlstreifen in einen Schraubstock (Abb. 192) und stoß ihn an! [Ergebnis: Er macht langsame Schwingungen.] — Klemme ihn kürzer ein und stoß ihn wieder an! [Ergebnis: Er schwingt schneller; man hört dabei einen dumpfen Ton.]

Merke daher:

Ein Körper tönt, wenn er genügend schnell schwingt.

2. Der schwingende Körper erteilt der Luft Stöße. Die Luft pflanzt diese Stöße fort. Dies zeigt der Luftstoßapparat.

Beim **Luftstoßapparat** stehen einander zwei mit elastischen

Häuten bespannte Rahmen gegenüber. Schlägt man gegen die eine, so schleudert unmittelbar darauf die zweite ein daran hängendes Pendelchen fort (Abb. 193).

Erklärung: Jedes Luftteilchen macht bei Empfang des Stoßes eine **winzige Schwankung** nach vorwärts und kehrt nach Weitergabe des Stoßes in seine frühere



Abb. 192

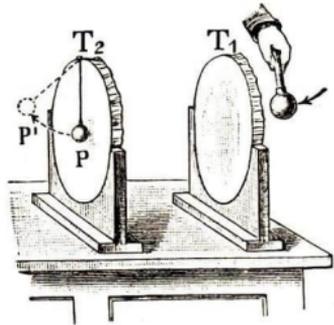


Abb. 193. Luftstoßapparat



Abb. 194. Ausbreitung der Schallwellen

Lage zurück. Wo die Luftmoleküle nun gerade zusammenstoßen, entsteht momentan eine **Luftverdichtung**. Diese schreitet im Sinne der Ausbreitung vorwärts. Bei jeder neuen Schwingung der Schallquelle breitet sich eine neue Verdichtungswelle aus.

Analogie: Durch eine lange Reihe von Turnern soll, ausgehend vom Flügelmann, ein Stichwort leise weitergegeben werden. Der erste dreht den Kopf zum

zweiten, flüstert ihm das Stichwort zu und dreht den Kopf wieder dauernd zurück. So geht die Kopfdrehung nach und nach von Mann zu Mann durch die längste Reihe und doch bleibt jeder Kopf schließlich wieder am alten Platz, um gegebenenfalls ein neues Stichwort zu erwarten. — Ergebnis:

Von einem tönenden Körper laufen **Luftwellen** fort. Luftwellen, die auf unser Gehör einwirken, heißen **Schallwellen**.

3. Wie schnell breitet sich der Schall aus?

a) Die Schallgeschwindigkeit in Luft beträgt **333 m/sek.**

b) Die Schallgeschwindigkeit in Wasser ist 1435 m/sek. Sie wurde 1827 von *Colladon* und *Sturm* im Genfer See bestimmt (Abb. 195).

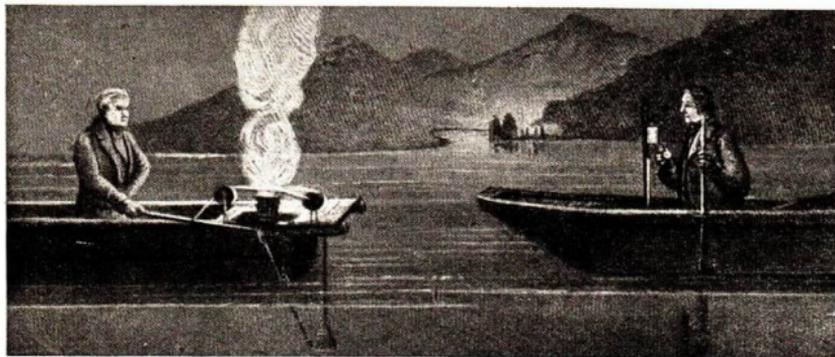


Abb. 195. Versuch von Colladon und Sturm im Genfer See (1827)

Dabei wurde eine Glocke unter Wasser angeschlagen und gleichzeitig durch Entzündung von Pulver ein Lichtsignal gegeben.

c) Die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern (Kanalschächten, Drähten) ist noch größer (**4000–5000 m/sek.**).

Fragen: 1. Wie kann man die Entfernung eines Gewitters schätzen? — 2. Was beobachtest du, wenn in großer Ferne Holz gehackt oder ein Teppich geklopft wird, in bezug auf die Zeit zwischen Schlag und Schall?

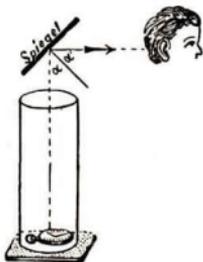


Abb. 196

Reflexion des Schalles



Abb. 197. Sprachrohr. (Morland 1670)

4. Der Schall wird an festen Wänden zurückgeworfen (reflektiert). Denk an das Echo!

Versuch: Legt man eine Taschenuhr auf eine Filzunterlage und stülpt eine lange Filzröhre darüber, so kann das Ticken der Uhr sich zumeist nur längs der Röhre fortpflanzen [Schallstrahl]. Hält man über die Röhre einen Spiegel und dreht ihn langsam zurecht, so kann man leicht eine Stellung für ihn ausfindig machen, bei welcher ein seitlich von ihm befindliches Ohr das Ticken besonders stark vernimmt. Man bestätigt hierdurch leicht, daß der Schallstrahl vom Spiegel unter gleichem Lotwinkel ($\alpha = \alpha'$) reflektiert wird.

5. Echo oder Widerhall ist Schall, der an Wäldern, Felswänden oder Mauern reflektiert wurde.

Das Ohr kann in 1 Sekunde ungefähr 10 Silben genau unterscheiden. 1 Silbe erfordert zur Wahrnehmung also $\frac{1}{10}$ Sekunde. Ein **einsilbiges Echo** kann demnach getrennt vom Urlaut nur dann wahrgenommen werden, wenn es $\frac{1}{10}$ Sekunde später eintrifft, d. h. wenn es mindestens einen Umweg von 33 m macht (hin und zurück je 16,5 m).

Nachhall. Ist der Umweg kleiner, so stört der zu früh eintreffende reflektierte Laut den gesprochenen; man spricht dann von Nachhall. (Dieser macht sich besonders in leeren Zimmern geltend.)

6. Sprachrohr. Da sich der Schall nach allen Richtungen hin ausbreitet, so nimmt seine Stärke rasch mit der Entfernung von der Schallquelle ab. In einem Sprachrohr werden aber die Schallwellen durch Reflexionen an dessen Wänden zusammengehalten. (Ergebnis: Der Schall erscheint verstärkt.) Erfunden vom Engländer **Morland**.

Ähnlich wirkt das **Hörrohr**; dieses sammelt die ankommenden Schallwellen.

§ 58. Tonhöhe. Sirene

Vorübung: Klemme in den Schraubstock (Abb. 192) eine Stricknadel und laß sie schwingen! Kürze sie nach und nach! [Ergebnis: Ihr Ton wird höher.] Merke also:

1. Ein Ton erscheint um so höher, je mehr Stöße die Luft in einer Sekunde erfährt. Dieses zeigt man genauer mit der Lochsirene (Abb. 198).

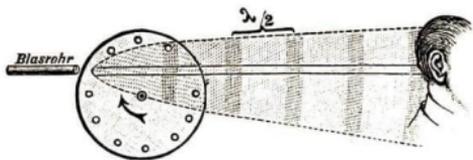


Abb. 198. Die Sirene

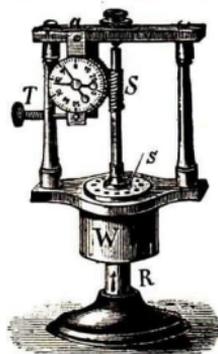


Abb. 199. Selbstlaufsirene

2. Die Lochsirene ist eine kreisförmige Scheibe, die im Kreise herum eine Anzahl gleichmäßig verteilter Löcher aufweist (Abb. 198).

Versuch: Versetzt man die Scheibe in Umdrehung und bläst mit einem Röhrechen einen Luftstrom gegen die vorbeigehenden Löcher, so erfährt der Luftstrom in der Sekunde so viel Stöße, wie in dieser Zeit Löcher vorübergehen. Hat die Scheibe m Löcher und dreht sie sich in der Sekunde n mal, so gibt sie den Ton, dem $m \cdot n$ Schwingungen in der Sekunde entsprechen. Dreht man schneller, so wird der Ton höher.

Bei der Selbstlaufsirene (Abb. 199) hat die Sirenscheibe s schief gebohrte Löcher.

Sie wird daher durch den vom Blasrohr R in die Windlade W eintretenden Luftstrom selbsttätig in Umdrehung versetzt. Die Umdrehungszahl kann durch ein einrückbares Zählwerk bestimmt werden.

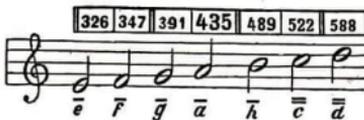


Abb. 200. Diatonische Tonleiter

3. Dem Pariser Kammerton, dem eingestrichenen \bar{a} (dessen Notenbild zwischen der zweiten und dritten Notenzeile liegt), entsprechen **435 Schwingungen** in einer Sekunde. Der tiefste der **wahrnehmbaren Töne** hat etwa **16**,

der höchste ungefähr **40000** Schwingungen in der Sekunde.

In der Musik werden nur Töne von sekundlich 40 bis 5000 Schwingungen verwendet.

§ 59. Intervall. Tonleiter

1. Als Intervall zweier Töne bezeichnet man den **Quotienten** ihrer Schwingungszahlen.

a) Beispiel: Die zwei Töne mit den Schwingungszahlen 112 und 105 haben das Intervall $112 : 105 = \frac{16}{15}$. Dieses besondere Intervall heißt in der Musik ein halber Ton. Merke:

$$\text{halber Ton} = \frac{16}{15} = 1,06$$

b) Die **Schwingungszahl des höheren Tones** erhält man, wenn man die des niedrigeren Tones mit dem Intervall (Tonsprung) multipliziert. (In der Tat: $105 \cdot \frac{16}{15} = 112$.)

c) Manche Intervalle haben eigene Namen, z. B.:

$$\left| \begin{array}{l} \frac{2}{1} \text{ Oktave (vergleiche Sirenenversuch } \frac{80}{40} = \frac{2}{1}) \\ \frac{3}{2} \text{ Quinte (} \dots \dots \dots \frac{60}{40} = \frac{3}{2}) \\ \frac{5}{4} \text{ Terz (} \dots \dots \dots \frac{50}{40} = \frac{5}{4}) \end{array} \right.$$

Aus der Tonreihe mit den Schwingungszahlen:

$$40-80-160-320-640-1280-2560-5120$$

ergibt sich, daß die Reihe der musikalischen Töne 7 Oktaven umfaßt.

2. Die einfachste Tonleiter zeigt das Klavier. Es hat in der Oktave **12 Töne**, wovon jeder gegen den vorangehenden dasselbe Intervall $z = 1,06$ (genauer $\sqrt[12]{2}$) aufweist. Bei diesem mathematisch gleichen Anstieg der Töne spricht man von der **gleichschwebenden Temperatur**.

Hat irgendein Ton auf dem Klavier die Schwingungszahl N , so hat der folgende höhere die Schwingungszahl $N \cdot z$, der nächstfolgende die Schwingungszahl $(N \cdot z) \cdot z$ usw., der zwölfte die Schwingungszahl $N \cdot z^{12}$. Da $z^{12} = 2$ ist, so hat jeweils der 12. Ton doppelt soviel Schwingungen wie der Ausgangston; er ist also dessen **Oktave**.

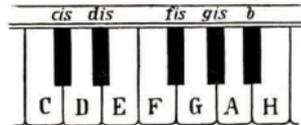


Abb. 201. Tasten auf dem Klavier

3. Die älteste Tonleiter, die sich durch ihren natürlichen Wohlklang auszeichnet, ist die **diatonische**. Sie enthält in der Oktave nur **8 Töne**, genannt **C, D, E, F, G, A, H, C'**.

Diese Töne erhält man, wenn man mit der Sirene Töne erzeugt, deren Schwingungszahlen sich wie folgt verhalten:

24	:	27	:	30	:	32	:	36	:	40	:	45	:	48
C		D		E	*	F		G		A		H	*	c
Grundton		Sekund		Terz		Quart		Quint		Sext		Septime		Oktave
1		$\frac{9}{8}$		$\frac{5}{4}$		$\frac{4}{3}$		$\frac{3}{2}$		$\frac{5}{3}$		$\frac{15}{8}$		2
succ. Intervalle		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{16}{15}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{10}{9}$		$\frac{9}{8}$		$\frac{16}{15}$

Die letzte Zeile gibt die **Intervalle von Ton zu Ton**. Man erhält dabei 3 Zahlen, die eigene Namen haben, nämlich:

$$\left\| \begin{array}{l} \frac{9}{8} = \text{großer ganzer Ton,} \\ \frac{10}{9} = \text{kleiner ganzer Ton.} \end{array} \right\| \quad \frac{16}{15} = \text{halber Ton.}$$

Wegen des Wechsels von ganzen und halben Tönen heißt diese Tonleiter **diatonisch**, d. h. **zweitönig**.

4. Die chromatische Tonleiter entsteht aus der diatonischen, indem man die 5 ganzen Töne der letzteren durch Einschalten der Töne **cis, dis, fis, gis, ais** (vgl. die schwarzen Tasten des Klaviers) in halbe Töne zerlegt. (Mult. mit $\frac{16}{15}$.) Dadurch zeigt auch diese Tonleiter **12 Töne** in der Oktave.

Beispiel: Das Intervall **cis** = $c \cdot \frac{16}{15} = 1 \cdot \frac{16}{15}$; das Intervall **dis** = $d \cdot \frac{16}{15} = \frac{9}{8} \cdot \frac{16}{15} = \frac{6}{5}$, das Intervall **fis** = $f \cdot \frac{16}{15} = \frac{4}{3} \cdot \frac{16}{15} = 1,42$ usw. — Das **fis** auf dem Klavier hat als sechster Ton nach dem c das Intervall $z \cdot z \cdot z \cdot z \cdot z \cdot z = 1,41$. Das Klavier gibt also die chromatische Tonleiter nicht genau. [Unreine Stimmung.]

§ 60. Vorrichtungen zur Tonerzeugung

1. Die Stimmgabel dient nur zur Herstellung eines Normaltones. Sie ist ein U-förmig gebogener Stahlstab, der mit der Rundung auf einem Stiel sitzt.

Schlägt man die Zinken der Stimmgabel an, so schwingen die Enden mit großer Lebhaftigkeit gleichzeitig ein- oder auswärts. Nachweis der Bewegung gemäß Abb. 203 mit einem Pendel, an dem ein Elfenbeinkügelchen hängt.

Schwingende Stäbchen (Zinken) werden bei der Spieldose und beim Holzklavier verwendet.

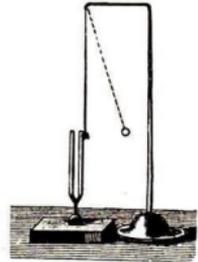


Abb. 203

Abb. 202
Stimmgabel

2. Glocken und Trommeln sind Platten, die durch Anschlagen zum Schwingen (= Tönen) gebracht werden. Ihr Verhalten beim Schwingen studiert man an Glasplatten, die in geeigneter Weise festgehalten werden (Abb. 204).

Versuch: Streicht man sie an, so zerfallen sie in mehrere abwechselnd entgegengesetzt schwingende Teile, welche längs Linien aneinander grenzen, die während des Tönens in Ruhe verharren (Knotenlinien).

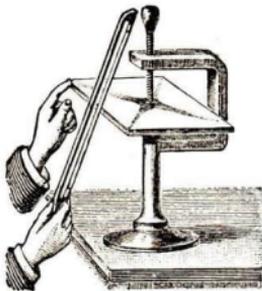


Abb. 204. Chladnische Klangfiguren



Sehr schön sieht man das an kreisförmigen oder quadratischen Scheiben, deren Mitte festgehalten wird, wenn man sie mit Sand bestreut und dann zum Tönen bringt (Chladnische Klangfiguren).

3. Saiten dienen bei vielen Instrumenten zur Tonerzeugung (Klavier, Geige, Zither, Harfe). Ihr Verhalten beim Schwingen studiert man am Monochord. Dieses ist eine einzelne Saite, die über zwei

Stegen auf einem Tannenholzkasten ausgespannt ist und die durch Gewichte stärker gespannt werden kann.

a) Teile die Saite auf dem Monochord durch einen Steg *C* so, daß der eine Teil doppelt so lang ist wie der andere! [Ergebnis: Der kürzere Teil gibt die höhere Oktave des längeren.] Merke:

I. Die Schwingungszahlen zweier sonst gleicher Saiten verhalten sich umgekehrt wie ihre Längen.

b) Vergleiche Metall- und Darmsaiten bei gleicher Spannung und Dicke! [Die Metallsaite gibt den tieferen Ton.] Folgerung:

II. **Dichtere Stoffe (und dickere Saiten) geben tiefere Töne.**

c) Belaste eine Saite mit einem Gewicht P und prüfe den Ton! Dann belaste dieselbe Saite mit einem 4mal größeren Gewichte! [Ergebnis: Der Ton wird gerade die Oktave.] Gesetz:

III. Die Höhe des Tones wächst nur mit der **Quadratwurzel** aus der Spannung. (Gesetze des *Mersenne* 1630.)

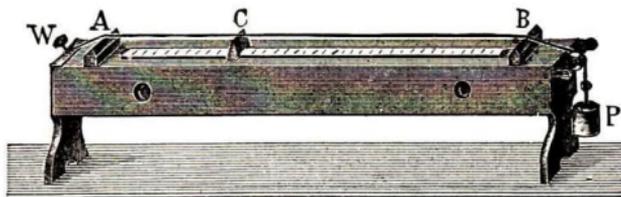


Abb. 205. Monochord

4. **Pfeifen** sind Röhre, deren Luftinhalt durch Anblasen zum Schwingen gebracht wird. (Pfeifen auf einem hohlen Schlüssel.) Man unterscheidet besonders Zungen- und Lippenpfeifen.

a) Bei der **Zungenpfeife** (Abb. 206) wird die Luft zunächst in eine Windlade geblasen. Dadurch wird eine Zunge, die das einmündende Pfeifenrohr R abschließt, in Schwingung versetzt und hierdurch schließlich auch die Luft im Rohr zum Mitschwingen (= Tönen) veranlaßt.

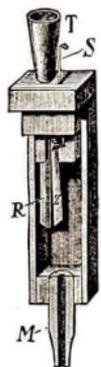


Abb. 206
Zungenpfeife

b) Bei der **Lippenpfeife** (Abb. 207) wird der Luftstrom gegen eine scharfe Kante (die Lippe) geblasen. Diese nun bringt durch ihr Schwingen die Luft im Rohr zum Schwingen.

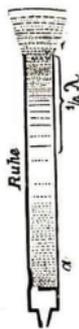


Abb. 207
Lippenpfeife

An der Lippe herrscht beim Anblasen eine heftige Luftbewegung; man sagt: Hier liegt ein **Schwingungsbauch**. — Ist die Röhre oben offen, so herrscht auch oben ein **Schwingungsbauch**. — In der Mitte zwischen beiden ist die Luft nachweislich stets in Ruhe. (Zeige dies an Abb. 207!) Man sagt: Hier liegt ein **Knoten**. Ist das obere Ende der Pfeife aber geschlossen, so kann sich auch hier die Luft nicht bewegen; es liegt also auch hier ein **Wellenknoten**.

5. **Resonatoren** sind Körper, die in Gegenwart tönender Körper selbst zu tönen beginnen.

Versuche: a) Singt man bei gehobenem Pedal gegen die Saiten eines Klaviers irgendeine Note, so klingt die entsprechende Saite mit.

b) Schlägt man eine **Stimmgabel** an, so tönt sie zunächst ziemlich schwach; hält man sie aber über einen **Glaszylinder** und füllt diesen allmählich mit Wasser, so wird der Ton der Stimmgabel bei einem bestimmten Wasserstand sehr stark; dies kommt daher, daß die Luftsäule jetzt denselben Ton wie die Stimmgabel zu geben vermag und durch diese zu kräftiger Resonanz angeregt wird (Abb. 209).

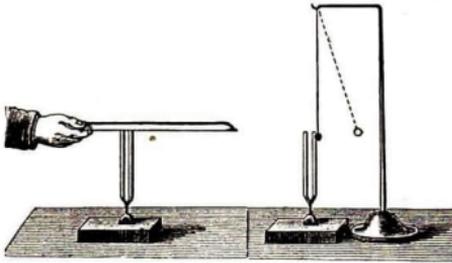


Abb. 208. Resonanzversuch

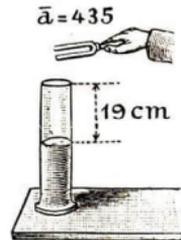


Abb. 209

c) Befestigt man die Stimmgabel auf einem gut abgestimmten Holzkasten (**Resonanzkasten**), so tönt sie nach dem Anschlagen minutenlang ganz laut; stellt man endlich zwei solche Apparate, die genau denselben Ton geben, einander gegenüber und schlägt die eine Stimmgabel an, so beginnt auch die andere zu tönen, selbst wenn der Abstand mehrere Meter beträgt (Nachweis mit dem Kügelchen am Faden).

6. Der **Phonograph** ist ein künstlicher Sprechapparat. Er besteht aus einer **Walze W** aus gehärtetem Wachs und aus einem **Sprechtrichter S**, der mit einer dünnen Metallmembran abgeschlossen ist. Letztere trägt auf der der Walze zugekehrten Seite einen meißelförmigen **Stichel**.

Abb. 210
Phonograph

Beim Gebrauch stellt man den Trichter derart, daß der Stichel die Walze berührt; dann läßt man die Walze auf einer Schraube rotieren, so daß sie sich bei jeder Umdrehung gleichzeitig ein wenig seitwärts bewegt.

Spricht man in den Trichter, so gerät die Membran in die entsprechenden Schwingungen und meißelt mittels des Stichels eine Reihe von punktförmigen, mehr oder minder tief und regelmäßig erscheinenden Vertiefungen in den Walzenüberzug. Diese bilden das Phonogramm.

Läßt man umgekehrt den Stichel der Membran über ein solches Phonogramm gleiten, so versetzt er die Membran wieder in entsprechende Schwingungen, die durch das Aufsetzen geeigneter Sprachrohre verstärkt werden. Dadurch spricht der Phonograph.

§ 61. Kehlkopf und Ohr

1. Der Kehlkopf dient zur **Erzeugung** von Schallwellen. Er enthält zwei weiße elastische **Stimmbänder**. Zwischen diesen liegt ein schmaler Spalt, die **Stimmritze**.

Vorgang: a) Beim Atmen ist die Stimmritze offen und gestattet der Luft den Durchgang zur Lunge. — b) Beim Sprechen spannen sich die Stimmbänder straff. Durch die aus der Lunge hervorgepreßte Luft werden sie zum Tönen gebracht. (Denke an das Singen! Befühle dabei deinen Kehlkopf!)



Abb. 211. Kehlkopf

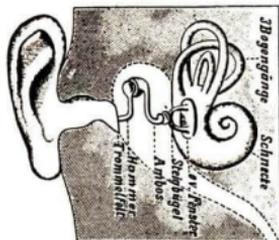


Abb. 212. Das innere Ohr

2. Das Ohr dient zur **Aufnahme** der Schallwellen. Es besteht äußerlich aus der Ohrmuschel und dem Gehörgang, der gegen innen zu durch das Trommelfell abgeschlossen ist (Abb. 212).

|| Vom **Trommelfell** werden die Schallwellen auf die **Gehörknöchel** und von diesen auf die **Gehörschnecke** übertragen.

In der mit Gehörwasser gefüllten Schnecke befinden sich die sog. **Cortischen Fasern**, die durch einen Nervenstrang mit dem Gehirn verbunden sind.

An das Trommelfell schließt sich auch ein Kanal an, der zur Mundhöhle führt. Dies ist die sog. **Eustachische Röhre**.

Ist die Eustachische Röhre verstopft, so hat man **Ohrensausen**. — Starker Knall drückt das Trommelfell ein. — Erst **Helmholtz** († 1894), der berühmte deutsche Physiker, hat erstmals klare Einsicht in die Vorgänge beim Sprechen und Hören gebracht.

Geschichtliche Wiederholung

Als der berühmte griechische Mathematiker **Pythagoras** (500 v. Chr.) an einer Schmiede vorüberging, soll ihm blitzartig der Gedanke gekommen sein, daß jedem Ton eine **Zahl** zugehört. — Kennst du die 3 Gesetze des Mönches **Mersenne** (1630)? — Was hat **Chladni** (1880) sichtbar gemacht? — Der Phonograph wurde 1877 vom Buchdruckerlehrling und späteren berühmten Erfindungstechniker **Edison** erfunden.

Lehre vom Licht (Optik)

§ 62. Ausbreitung des Lichtes

1. Das Licht breitet sich in geraden Strahlen aus. Dies sieht man, wenn ein Scheinwerfer in nebliger Nacht spielt.



Abb. 213. Scheinwerfer in nebliger Nacht

Versuch: Man lasse einen Lichtstrahl aus einem Projektionsapparat austreten und räuchere ihn an. [Er wird sichtbar, da die Staubteilchen in ihm glänzen.] — Halte die Hand in den Lichtkegel! [Auf der Wand erscheint der Schatten der Hand.] Merke:

2. Schatten ist ein lichtarmer Raum. Durch Überkreuzung zweier Schatten entstehen Kern- und Halbschatten. Um eine solche Überkreuzung zu haben, müssen mindestens zwei **Lichtquellen** vorhanden sein (Abb. 214).

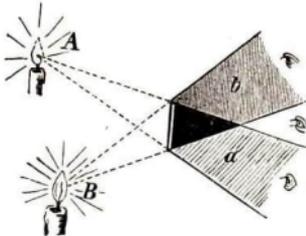


Abb. 214. Kern- und Halbschatten

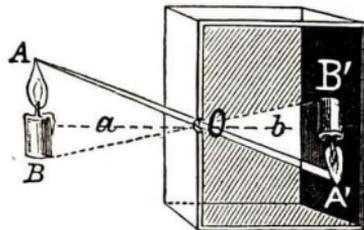


Abb. 215. Lochkamera

Schülerübung: Beleuchte eine senkrecht auf den Tisch gestellte Postkarte mit 2 Kerzen A und B (Abb. 214)! Von welcher Kerze erhält Raum a Licht? [Ergebnis: Von B.] Von wem erhält b Licht? [Ergebnis: Von A.] Von wem erhält der schwarze Teil Licht? [Ergebnis: Weder von A noch von B.] Merke:

|| **Kernschatten** heißt der Raum, der gar kein Licht empfängt;
 || **Halbschatten** ist ein Raum, der nur von einem Teil der Licht-
 || quellen Licht erhält.

3. Das Lichtbild im Dunkelkasten (Abb. 215). Der Dunkelkasten (oder die Camera obscura) ist ein lichtdicht verschlossener Kasten mit einer kleinen Öffnung in der Vorderwand und einer durchscheinenden Rückwand.

Gebrauch: Halte den Kasten mit der Öffnung gegen einen leuchtenden Gegenstand (z. B. eine Glühlampe)! (Ergebnis: Es entsteht davon auf der Rückwand ein farbentreues **umgekehrtes Bild**.) Diese Kamera ist also der einfachste Photographenapparat.

Erklärung: Von jedem Punkt A des leuchtenden Gegenstandes geht ein dünnes Lichtkegelchen durch die Öffnung O der Kamera und bringt auf der Rückwand einen kleinen gleichfarbigen **Lichtfleck A'** hervor. Für einen oberen Punkt A entsteht der zugehörige Lichtfleck A' unten, für einen unteren Punkt B ist der Bildfleck B' oben. Die Lichtflecke $A'B'$. . . aller Punkte des Gegenstands geben schließlich das **verkehrte** Lichtbild des Gegenstands. — Die Kamerabilder sind unscharf (= **verschwommen**), da jedem Punkt A des Gegenstands nicht ein Punkt, sondern ein Fleck entspricht. — Merke: $AB : A'B' = a : b$.

4. Ausbreitungsgesetz (Abb. 216).

Laß den Lichtstrom einer Lampe durch einen 1 cm^2 großen Ausschnitt einer Postkarte gehen und beobachte das auf der Wand entstehende Lichtviereck! [Ergebnis: Es ist viel größer als 1 cm^2 .]

Der **Lichtstrom**, der im Abstand 1 m von der Lichtquelle auf 1 cm^2 trifft, verbreitet sich in $2, 3, 4, \dots r$ Meter Abstand schon auf $2 \cdot 2, 3 \cdot 3, 4 \cdot 4 \dots r \cdot r \text{ cm}^2$. Auf je 1 cm^2 trifft also in größeren Entfernungen immer weniger Licht. Man sagt:

|| Die Beleuchtung nimmt mit dem **Quadrate der Entfernung** von der Lichtquelle ab. (Also sehr rasch!)

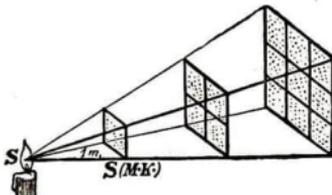


Abb. 216. Ausbreitungsgesetz

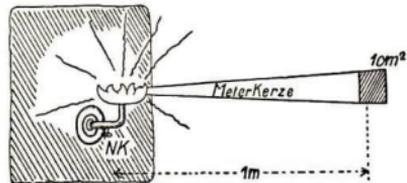


Abb. 217. Lichtstrom der Hefnerkerze

5. Normalkerze (NK) nennt man eine **bestimmte Flamme** (Abb. 217). Den Lichtstrom, den sie in 1 m Entfernung senkrecht auf 1 cm^2 sendet, nennt man **Meterkerze (MK)**!

In Deutschland benutzt man als Normalkerze die **Hefnerkerze**; das ist die 40 mm hohe Flamme einer mit Amylazetat gespeisten Lampe.

a) Eine **Normalkerze** gibt nach dem Ausbreitungsgesetz:
im Abstand r (Meter) auf 1 cm^2 den Lichtstrom $I : r^2$ (MK).

b) Eine **Flamme von der Stärke S** Normalkerzen gibt natürlich eine
 S mal so starke Beleuchtung, also

im Abstand r (Meter) auf 1 cm^2 den Lichtstrom $S : r^2$ (MK).

6. **Lichtstärken mißt man mit den Photometern.** Das einfachste ist das **Schattenphotometer** (Abb. 218). Dabei beleuchtet man ein Stäbchen

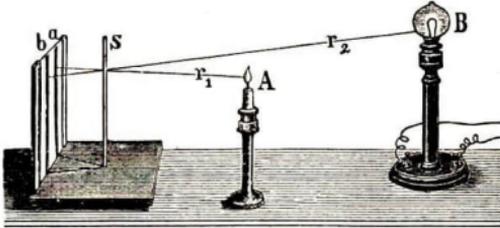


Abb. 218
Schatten-
photometer
von
Rumford
(1804)

(das vor einem weißen Schirm steht) mit den zwei zu vergleichenden Lichtquellen A und B .

Vom Stäbchen entstehen dann zwei Schatten (a von A ; b von B). Diese sind indes nur Halbschatten (denn a wird beleuchtet von B und b von A).

1 cm^2 des Schattens a empfängt von B den Lichtstrom $S_2 : r_2^2$ MK

1 cm^2 „ „ „ b „ „ „ A „ „ „ $S_1 : r_1^2$ „

wenn S_1 die Lichtstärke von A und S_2 die Lichtstärke von B ist.

Man verschiebt nun die eine Lichtquelle so weit, bis beide Schatten einander berühren und gleich hell sind. Dann gilt

$$S_1 : r_1^2 = S_2 : r_2^2 \quad \text{oder} \quad \boxed{S_1 : S_2 = r_1^2 : r_2^2}$$

Beispiel: Es sei in Abb. 218 B eine 5kerzige Glühlampe (ihr Abstand vom Schirm, 0,9 m), A eine Kerzenflamme (ihr Abstand vom Schirm, 0,4 m). Sind die Schatten a und b dann gleich hell, so folgt:

$$A : 5 = (0,4 \cdot 0,4) : (0,9 \cdot 0,9), \quad \text{woraus} \quad A = \frac{5 \cdot 0,4 \cdot 0,4}{0,9 \cdot 0,9} = \sim 1 \text{ NK.}$$

7. **Das Licht braucht zur Ausbreitung Zeit.** Dieses entdeckte 1676 der dänische Student **Olaf Römer**, als er in Paris den Kalender über die Verfinsterungszeiten des innersten Jupitermondes studierte.

Während sich der **Jupiter** langsam von J_1 nach J_2 bewegt (Abb. 219), gelangt die Erde von E_1 nach E_2 und entfernt sich dabei in rund 200 Tagen genau um den **Durchmesser der Erdbahn** vom Jupiter.

Bei der Stellung $E_1 J_1$ dauert die Zeit von einer **Verfinsterung des innersten Jupitermondes** bis zur nächsten rund $42\frac{1}{2}$ Stunden. Man kann also bequem

vorausberechnen, wann Tag für Tag diese Verfinsterungen eintreten müßten, insbesondere auch für die Stellung E_2J_2 nach 200 Tagen. Römer fand nun aus dem Kalender der Pariser Sternwarte, daß diese von ihm vorausberechnete Zeit hinter dem wirklichen Eintritt der Verfinsterung um rund 1000 Sekunden zurückblieb.

Römer schloß daraus, daß das Licht diese 1000 Sekunden gebraucht habe, um den Durchmesser der Erdbahn (300 Mill. km) zu durchheilen. Also ist die

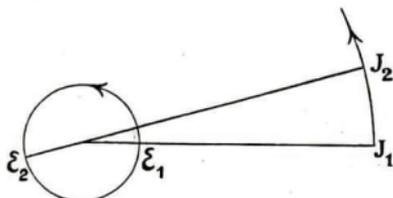


Abb. 219. Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Römer

Lichtgeschwindigkeit = 300000 km = $3 \cdot 10^{10}$ cm

Diese Zahl ist für irdische Verhältnisse groß, ungefähr gleich dem $7\frac{1}{2}$ fachen Erdumfang, für die Abstände im Weltraum aber klein; so braucht das Licht, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, $8\frac{1}{3}$ Minuten; der unserer Sonne nächste Fixstern, der im Südlichen sichtbare α -Centauri, ist von uns bereits $3\frac{1}{2}$ Lichtjahre, die Sterne der Milchstraße sind von uns ~ 3700 Lichtjahre entfernt.

Aufgaben

1. Welchen Lichtstrom senkrecht zu 1 cm^2 gibt a) eine 32kerzige Glühlampe in 3 m Entfernung, b) eine 2000kerzige Bogenlampe in 10 m Entfernung, c) eine 50kerzige Gasflamme in 4 m Abstand?
2. Ein Gasbrenner gab beim Photometerversuch in 160 cm Abstand dieselbe Beleuchtung wie eine 10kerzige Glühlampe in 50 cm Abstand vom Schirm. Lichtstärke des Gasbrenners? [Antw.: $\sim 49 \text{ NK.}$]

§ 63. Zurückwerfung am ebenen Spiegel

1. Trifft ein Lichtstrahl auf einen ebenen Spiegel, so wird er zurückgeworfen (reflektiert).

Mit einem kleinen Spiegel hast du wohl selbst schon auftreffendes Sonnenlicht gegen die Decke des Zimmers geworfen (Abb. 221). Bei Drehung des Spiegels

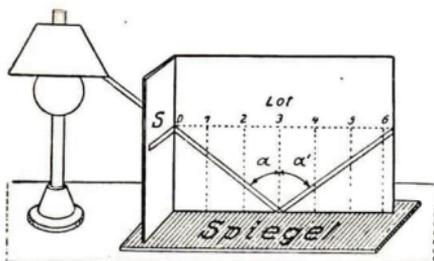


Abb. 220. Zurückwerfung eines Lichtstrahls
Elementarphysik

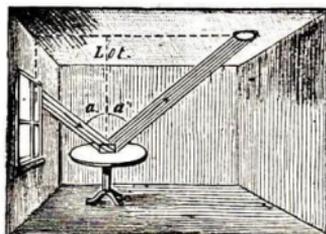


Abb. 221

wandert der erzielte helle Fleck schnell im Zimmer herum. — **Schülerübung mit einer geknickten Postkarte** (Abb. 220): Schneide in den einen Teil der Postkarte einen Spalt S , setze dann die Vorrichtung, wie Abb. 220 zeigt, auf einen Spiegel und halte das Ganze gegen eine ferne Lampe. [Ergebnis: Durch S dringt ein Lichtband, das am Spiegel zurückgeworfen wird.] — Vergleiche den Einfallswinkel α mit dem Reflexionswinkel α' ! [Ergebnis: Beide sind gleich. (Was ist in Abb. 220 ungenau gezeichnet?)] Merke:

Das Zurückwerfungsgesetz lautet (Abb. 220):

- a) Der einfallende und der zurückgeworfene Strahl bilden mit dem Einfallslot gleiche Winkel.

$$\text{Einfallswinkel } \alpha = \text{Reflexionswinkel } \alpha'$$

- b) Der einfallende und der zurückgeworfene Strahl liegen mit dem Spiegel in einer Ebene.

2. Gesetz vom Strahlungspunkt A ! (Schülerübung durch Zusammenfalten eines Papierblattes.)

Zeichne den Strahlenverlauf AOB (Abb. 222) samt Lot in O dick mit Tinte auf ein Blatt Papier; knicke letzteres längs der Spiegellinie MN ab und klappe

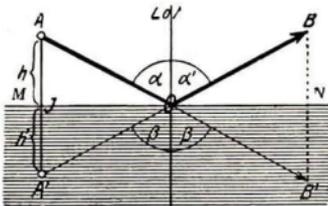


Abb. 222. Umklappen!

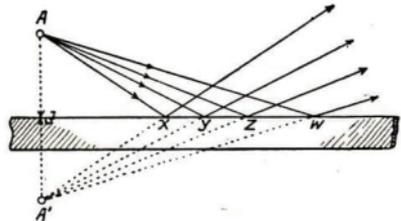


Abb. 223. Gesetz vom Strahlungspunkt A'

den oberen Teil des Blattes auf den unteren! [Dabei klatschen sich die Tintenstriche ab.] Ergebnis: 1. **Punkt A** kommt nach einem Punkt A' , der ebensoweit hinter dem Spiegel liegt wie A vor diesem. — 2. **Das Lot** bleibt auch nach der Umklappung Lot. — 3. **Die Winkel α und α'** ändern sich beim Umklappen auch nicht ($\beta = \beta'$). — So erkennt man, daß $A'O B$ eine gerade Linie bilden muß; ebenso $A O B'$. — Dieses gilt natürlich für alle von A ausgehenden Strahlen (Abb. 223). Daher das Gesetz:

Alle Strahlen, die von einem **Punkt A** ausgehen, werden von einem ebenen Spiegel so zurückgeworfen, als kämen sie von einem **Punkt A'** her, der ebensoweit hinter dem Spiegel liegt wie A vor demselben. A' heißt das **Spiegelbild von A** .

3. Warum sieht der Beobachter im Spiegel ein Bild? (Abb. 224.)

Kommen die von A ausgehenden, am Spiegel umgewendeten Strahlen in das Auge des Beobachters, so ist es für diesen so, als ob hinter dem Spiegel wirklich ein leuchtender Punkt A' wäre. Dieses ist eine optische Täuschung.

Den vielen Punkten A eines Gegenstandes vor dem Spiegel entsprechen nun ebenso viele scheinbar leuchtende Punkte A' hinter dem Spiegel. Diese ergeben zusammen ein dem Gegenstand genau gleich großes Bild. Ein solches Bild heißt scheinbar oder virtuell. (Blicke hinter den Spiegel; es ist nicht vorhanden.)

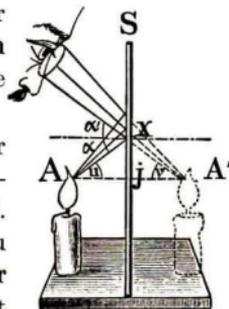


Abb. 224

4. Die Lage eines Scheinbildes ermittelt der Physiker, indem er zwei Visierlinien nach dem Ort des Bildes zieht.

Schülerübung: Stelle auf ein Blatt Papier senkrecht deinen Spiegel und davor in 5 cm Abstand eine **Stecknadel A!** Blicke auf das virtuelle Spiegelbild A' der Nadel, dessen Ort du nun bestimmen sollst! — a) Stelle eine **erste Visier-**(= **Blick**)**linie** gegen A' hin fest, indem du zwei Hilfsnadeln X und Y so in den Tisch steckst, daß sie mit A' in einer Geraden liegen! [Zieh die Linie XY mit Bleistift auf dem Papier!] — b) Stelle noch eine **zweite Blicklinie** $X' = Y'$ gegen das Ziel A' hin fest. — c) Nimm den Spiegel fort und suche den rückwärtigen Schnitt von XY und $X'Y'$ auf! [Dieses ist der Ort des virtuellen Bildes A' .]

Zur **Prüfung** pflanze in A' eine **Stricknadel S (als Pfahl)** auf; bring den Spiegel wieder in seine frühere Lage und visiere nun von allen Seiten her gegen das virtuelle Bild A' der Stecknadel $A!$ [Ergebnis: Es deckt sich in jeder Lage mit der aufgepflanzten Stricknadel (von der man allerdings nur den über den Spiegel ragenden Teil sieht).]

Dieses Verfahren heißt **Abweichungsverfahren**. (Der Beobachter weicht mit dem Auge nach allen Richtungen aus und sieht dabei stets das Scheinbild am Orte des Pfahles.)

5. Im Spiegelbild erscheinen rechts und links vertauscht. Hebe den rechten Arm vor dem Spiegel; dein Spiegelbild hebt den linken. Die Schrift erscheint im Spiegel als Spiegelschrift.



Abb. 225. Lies dieses im Spiegel

Übung: Knicke ein Stück Papier ab! Auf Teil I schreib deinen Namen mit Tinte und klatsche dann Teil I auf Teil II! Auf letzterem hast du nun Spiegelschrift. — Stelle in Abb. 225 einen Spiegel längs der rechten Kante auf und lies im Spiegel die Schrift. [Sie ist wieder in richtiger Lage.]

§ 64. Der Hohlspiegel

1. Ein Hohlspiegel ist eine Kugelschale, die auf der inneren Seite spiegelt. (Denke an die Innenseite eines Löffels.)

2. Wann entstehen die scheinbaren Bilder? (Abb. 226.)



Abb. 226. Scheinbild

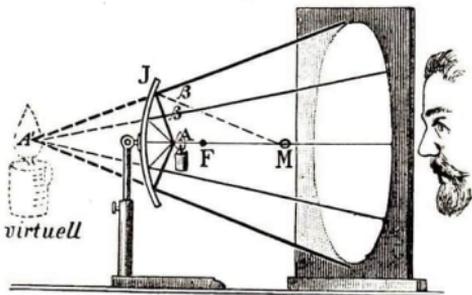


Abb. 227. Ort des Scheinbildes

Vorübung: Bring eine Kerze zunächst sehr nahe an den Hohlspiegel! [Ergebnis: Man sieht im Spiegel ein **vergrößertes** Bild der Kerze, das auch **weiter weg** ist vom Spiegel.] — Entferne nun die Kerze vom Hohlspiegel immer mehr! [Ergebnis: Das Abbild wird rasch größer und entfernt sich noch schneller!] — In einer gewissen Entfernung vom Spiegel verschwimmt das Bild ganz und gar [Verschwimmungspunkt oder Brennpunkt]. Ergebnis:

a) Ein **Hohlspiegel** gibt **vergrößerte Scheinbilder** (Abb. 226) nur von jenen Gegenständen, die in dem kleinen Raum

zwischen **Spiegel** und **Brennpunkt** liegen.

b) **Erklärung** (Abb. 227). Die von einem Punkt A des Gegenstandes ausgehenden Strahlen werden an den Stellen, wo sie den Hohlspiegel treffen, wie von kleinen, dort aufgeklebten ebenen Spiegelchen (nach dem Gesetz $\beta = \beta'$) zurückgeworfen. Wie die Zeichnung (Abb. 227) und der Versuch ergeben, **gehen** die zurückgeworfenen Strahlen **auseinander**, und zwar so, als kämen sie von einem Punkt A' hinter dem Spiegel her, der auch weiter vom Spiegel entfernt ist als A vor dem Spiegel.

Das **Auseinandergehen** zeigt sich auch daran, daß der Lichtkreis auf dem Schirm in Abb. 227 größer ist als der Spiegel.

3. Was tritt im **Brennpunkt ein**? a) Rückt die Lichtquelle A in den Brennpunkt F (Abb. 228), so werden die von ihr auf den Spiegel treffen-

den Strahlen alle parallel zurückgeworfen. Die Folge ist, daß hinter dem Spiegel kein Bild entstehen kann.

Der **Beobachter** müßte dann das Bild in unendlicher Ferne vermuten. — **Verwendung** als Reflektorspiegel, um paralleles Licht auf große Entfernung fortzusenden (Abb. 213 und 228).

b) Läßt man umgekehrt **parallele Strahlen** auf den Hohlspiegel treffen, so sammeln sich diese nach der Zurückwerfung im **Brennpunkt F**. (Bequemes Mittel, um **F** rasch zu ermitteln.)

Laß Sonnenstrahlen (die als parallel gelten) darauf fallen! Bei genügend großen Spiegeln ist die Hitze im Brennpunkt so stark, daß man dort Papier ent-

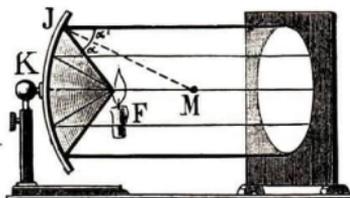


Abb. 228. Reflektor

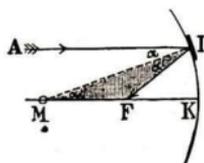


Abb. 229. Lage des Brennpunkts

zünden kann. Daher der Name Brennpunkt. — Miß den Abstand des Brennpunktes vom Hohlspiegel!

Der Brennpunkt wurde von **Archimedes** entdeckt.

c) Der Brennpunkt liegt in der Mitte des Spiegelradius. Seinen Abstand vom Spiegel nennt man **Brennweite** des Spiegels.

$$\text{Brennweite } f = r/2$$

Beweis (Abb. 229): Es sei AJ ein Strahl parallel zur Achse des Spiegels. Zieh den Radius MJ . (Er steht senkrecht auf dem Spiegelteilchen bei J .) Mache $\sphericalangle \alpha = \sphericalangle \alpha'$ (Reflexionsgesetz). Dann ist das schraffierte Dreieck gleichschenkelig; denn auch $\sphericalangle \alpha'' = \alpha$ (als Wechselwinkel an Parallelen). Daher ist $FM = FJ$. Liegt J nahe an K , so kann man statt FJ auch FK setzen; woraus folgt $FK = FM = r/2$.

4. Wann entstehen „wirkliche“ Bilder? (Abb. 230.)

Vorübung: Rücke die Kerzenflamme A über die Brennweite hinaus! (Abb. 230.) **Zeichne** zwei Strahlen von A aus gegen den Spiegel und suche die reflektierten, indem du $\sphericalangle \gamma = \sphericalangle \gamma'$ machst! [Ergebnis: Die reflektierten Strahlen gehen zusammen.]

Prüfung durch einen Versuch gemäß Abb. 231. Halte eine Postkarte x mit 3 Löchern in den Weg der von A ausgehenden Lichtstrahlen und stelle durch ein Papierstück y den Weg und den schließlichen Vereinigungspunkt A' der reflektierten Strahlen fest!

Bezeichnung: Da sich in A' Strahlen wirklich überkreuzen, so verhält sich A' wie ein wirklicher Lichtpunkt; man sagt, A' ist ein **wirkliches (= reelles) Bild**.
Ergebnis:

a) Der Hohlspiegel liefert von allen Gegenständen, die

zwischen **Brennpunkt . . . und Unendlich**

liegen, **wirkliche (= reelle) Bilder**, die frei im Raum schweben. Diese kann man mit einem Schirm auffangen (schneiden); sie erweisen sich als **umgekehrt**. Dabei gilt folgende

b) **Bewegungsregel:** Rückt der Gegenstand von Unendlich gegen den Brennpunkt, so rückt das Bild **entgegengesetzt** aus dem Brennpunkt

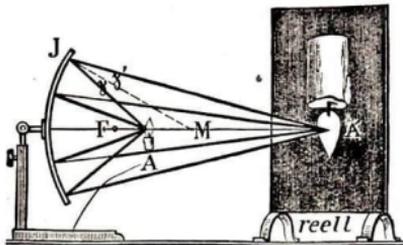


Abb. 230. Zeichenspiegel

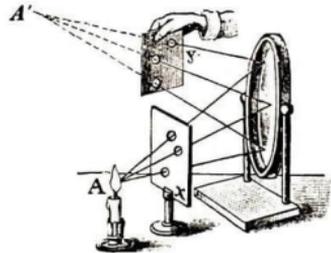


Abb. 231. Vereinigung

(wo es die Größe Null hat) gegen Unendlich und wird dabei immer größer, je näher der Gegenstand an F kommt.

Im Mittelpunkt begegnen sich Bild und Gegenstand und sind dort gleich groß.

Schülerübung zur Bewegungsregel: Stelle an das eine Ende eines Meterstabes senkrecht deinen Hohlspiegel, an das andere ein brennendes Kerzchen und suche mit einem Stück weißen Papiers den Ort des reellen Bildes auf! Miß die Abstände a und b für Kerze und Bild vom Spiegel! Tabelle für verschiedene Entfernungen a und b ! Berechne für jeden Fall die Summe der reziproken Werte $1/a + 1/b$! [Ergebnis: Konstante Zahl, genannt **Dioptrie**.] Merke:

c) Die **Hohlspiegelgleichung** lautet:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Dabei ist a der Abstand des Gegenstandes, b der Abstand des Bildes vom Hohlspiegel; f ist dessen Brennweite.

5. Zur raschen **Zeichnung des Bildortes** dienen drei ausgezeichnete **Strahlen**, deren Verlauf man voraussagen kann.

a) Der zur **Spiegelachse** **parallele Strahl** (1) geht nach der Reflexion durch den **Brennpunkt** F .

b) Der **Mittelpunktsstrahl** (3), d. h. jener, welcher durch den **Kugelmittelpunkt** geht, trifft **senkrecht** auf den Spiegel und wird in sich selbst reflektiert.

c) Der **durch den Brennpunkt** gehende **Strahl** (2) wird nach der Reflexion **parallel** zur Spiegelachse.

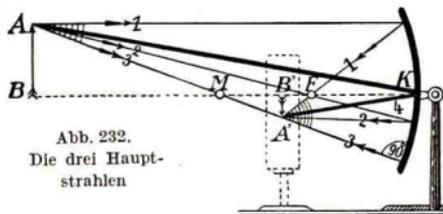


Abb. 232.
Die drei Hauptstrahlen

Man sagt kurz: Der Parallelstrahl wird Brennstrahl; der Brennstrahl wird Parallelstrahl; der Mittelpunktsstrahl bleibt Mittelpunktsstrahl.

6. Die **Bildgröße** kann man **rechnerisch** bestimmen, wenn man in Abb. 232 noch den **Scheitelstrahl** AKA' einzeichnet. Dadurch entstehen die zwei ähnlichen Dreiecke ABK und $A'B'K$. Aus diesen folgt $AB : A'B' = BK : B'K = a : b$; d. h.

Gegenstandsgröße : Bildgröße = Gegenstandsweite : Bildweite

oder:

$$G : G' = a : b$$

Beispiel: 120 cm vor einem Hohlspiegel vom Radius $r = 60$ cm ist eine 8 cm hohe Glühlampe aufgestellt. Bestimme Ort und Größe des entstehenden Bildes!
Antw.: $a = 120$ cm, $f = \frac{60}{2} = 30$ cm. Nun gilt

$$\text{I. } \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{120} + \frac{1}{b} = \frac{1}{30},$$

$$b = 40 \text{ cm.}$$

$$\text{II. } G : G' = a : b \quad \text{oder}$$

$$8 : G' = 120 : 40; \text{ fgl.}$$

$$G' = 2\frac{2}{3} \text{ cm.}$$

Das Bild entsteht 40 cm vor dem Hohlspiegel und ist $2\frac{2}{3}$ cm groß.

Aufgaben

1. Ein Hohlspiegel ergab von einem 80 cm weit von ihm entfernten Gegenstand ein schwebendes Bild im Abstand 20 cm. Wie groß war die Dioptrie des Hohlspiegels? [Die Optiker benutzen als Maßeinheit das Meter: Die Dioptrie ist also $= \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,8} = 5 + 1,25 = 6,25$.]

2. Ein Hohlspiegel hat die Dioptrie 5; wie groß ist seine Brennweite? [Antw.: $\frac{1}{f} = 5$, also $f = \frac{1}{5}$ Meter = 20 cm.]

3. Vor einem Hohlspiegel vom Halbmesser 8 cm steht in der Entfernung 15 cm ein 2,2 cm hoher Pfeil. Bestimme a) durch Rechnung, b) durch Zeichnung Lage und Größe des schwebenden Bildes! [Antw.: $b = 5,5$ cm; $G' = 0,8$ cm.]

4. Leite die Hohlspiegelgleichung aus Abb. 234 ab! [Anleitung: $\triangle ABM \sim \triangle A'B'M$; also $G : G' = (a - f) : (f - b)$; da nun auch $G : G' = a : b$, so folgt $(a - f) : (f - b) = a : b$ usw.]

§ 65. Der erhabene Spiegel

1. Beim erhabenen Spiegel spiegelt die Außenseite der Kugelschale. Denk an die Gartenkugeln, die man da und dort an Stäben zur Zier in Gärten aufstellt (Abb. 233)!

a) **Betrachte** die Bilder in einer Gartenkugel! [In ihr spiegelt sich die ganze Umgegend ins Zwerghafte verkleinert. Die gesehenen Bilder sind aufrecht.]

b) **Zeichne** von A aus (Abb. 233) zwei Strahlen AJ gegen die Kugel, ziehe die Lote MJ und mache $\sphericalangle \beta = \sphericalangle \beta'$ (Reflexionsgesetz). [Ergebnis: Die reflek-

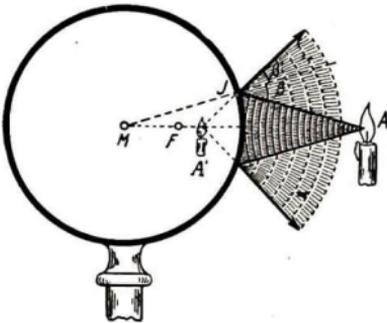


Abb. 233. Bild der Kerze A

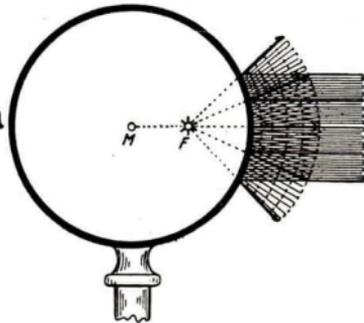


Abb. 234. Sonnenbildchen in F

tierten Strahlen gehen auseinander.] Der Beobachter glaubt, sie kämen von einem Punkt A' im Innern der Kugel. [Virtuelles Bild.] Ergebnis:

In einem **erhabenen Spiegel** sieht man nur **verkleinerte Scheinbilder** der umliegenden Gegenstände. (Sie sind aufrecht, wie alle scheinbaren Bilder.)

Spiegeln in einem blank geputzten Messingknopf; im Auge deines Kameraden.

2. Was entspricht dem Brennpunkt?

a) Scheint die Sonne auf die Gartenkugel (sie sendet darauf parallele Strahlen), so sieht ein seitlich aufgestellter Beobachter in der Gartenkugel ein winziges Sonnenbildchen F (Abb. 234), aber nicht im Kugelmittelpunkt M , sondern im Halbmessungspunkt F des nach der Sonne gerichteten Halbmessers. Miß dieses nach!

b) Der Lehrer kann dieses künstlich nachmachen, indem er aus einem Projektionsapparat parallele Strahlen auf eine Gartenkugel schickt. Die auftreffenden Strahlen werden von F aus zurückgeworfen (Abb. 234).

c) **Benennung.** Dieser Punkt F heißt Brennpunkt, besser Zerstreuungspunkt des Hohlspiegels.

Ergebnis: **Brennpunkt oder Zerstreuungspunkt** ist jener Punkt im Innern eines erhabenen Spiegels, von dem aus parallel eintreffende Strahlen zerstreut werden. Er hat den Abstand $f = -\frac{r}{2}$ vom Spiegel. (f ist hier negativ.)

§ 66. Brechung des Lichtstrahles

1. **Dringt ein Lichtstrahl schräg in Wasser ein, so ändert er seine Richtung;** er wird zum Lot hin gebrochen (Abb. 235).

Der Winkel α zwischen dem Einfallslot und dem einfallenden Strahl heißt **Einfallswinkel**, der Winkel β zwischen dem Lot und dem gebrochenen Strahl heißt **Brechungswinkel**.

2. **Brechungsgesetz.** Schon *Ptolemäus* (50 v. Chr.) suchte nach einer Beziehung zwischen α und β . Endlich fand der Holländer *Snellius* (1626) folgende Konstruktion (Abb. 235):

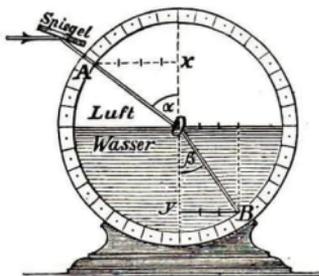


Abb. 235. Brechung im Wasser

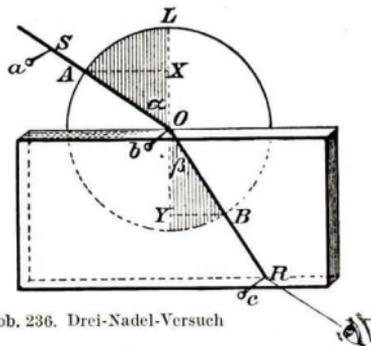


Abb. 236. Drei-Nadel-Versuch

Beschreibt man um den Einfallspunkt O einen Kreis und zieht die Sinuskatheten AX und BY (kurz Sinusse genannt), so findet man, daß ihr Verhältnis, wie groß auch α sein mag, immer denselben Wert $\frac{4}{3}$ für Wasser behält. Das Brechungsgesetz lautet sonach

$$\frac{AX}{BY} \quad \text{oder} \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{4}{3}.$$

Das Brechungsgesetz lautet allgemein:

$$\frac{\text{sinus des Einfallswinkels } \alpha}{\text{sinus des Brechungswinkels } \beta} = \text{Brechungszahl}$$

3. Die Brechungszahl n ist für verschiedene Stoffe verschieden. Stärker brechende Körper nennt man optisch dichter. Der Diamant bricht am stärksten. Für Wasser ist $n = \frac{4}{3}$, für Kronglas $\frac{3}{2}$ ($= 1,5$), für Flintglas $\frac{17}{10}$ ($= 1,7$), für Diamant $\frac{25}{10}$ ($= 2,5$).

4. Bestimme die Brechungszahl einer Glasplatte (Abb. 236) durch den Drei-Nadel-Versuch!

Anleitung: a) Umfahre zunächst den Umriß der Platte mit dem Bleistift! Dann markiere einen Strahl SO durch Einstecken zweier Nadeln bei S und O ! Nun stecke auf der Gegenseite eine Nadel R so ein, daß sie beim Durchblicken durch die Platte mit den Nadeln S und O eine Gerade zu bilden scheint! — Nimm die Platte jetzt weg und ziehe OR ! [Ergebnis: SOR bildet eine gebrochene Linie.] — b) Nun führe die Konstruktion von *Snellius* aus und bestimme, wie groß $AX : XB$ ist!

5. Erscheinungen, die auf der Brechung beruhen, sind:

a) Ein schräg ins Wasser gestellter Stab erscheint geknickt, der eintauchende Teil gehoben. (Versuch des *Aristoteles*.)

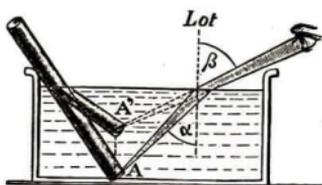


Abb. 237. Der Stab erscheint geknickt, das Ende A gehoben

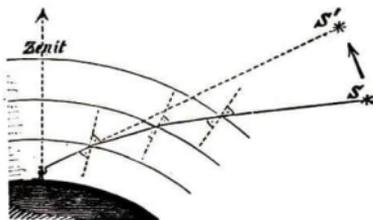


Abb. 238. Atmosph. Strahlenbrechung

Erkläre Abb. 237! Die von A ausgehenden Strahlen gelangen erst nach einer „Brechung vom Lot“ in das Auge. Da $\beta > \alpha$ ist, so glaubt das Auge den Punkt A in der gehobenen Lage A' zu sehen.

|| Der Boden eines Wasserbeckens erscheint daher auch gehoben.

Sieht man also einen **Fisch** im Wasser schwimmen, so schwimmt er tiefer als man vermutet. Die Hebung erscheint um so stärker, je schräger man gegen die Wasserfläche blickt (Versuch mit einem eingetauchten Maßstab.)

b) Die atmosphärische Strahlenbrechung (Abb. 238) läßt uns die Sterne in etwas höherer Lage erscheinen.

Die Luft, die nach oben bekanntlich dünner wird, können wir uns in Schichten mit abnehmender Dichte zerlegt denken. Geht nun ein Lichtstrahl von Stern S schräg durch diese immer dichter werdenden Schichten, so wird er von Schicht zu Schicht je ein wenig mehr zum Lot hin gebrochen. Im ganzen be-

schreibt er eine krumme Bahn; das Auge sieht den Stern in der Verlängerung der letzten Strahlenrichtung, also gehoben **zum Zenit!**

(Funkeln und Zittern der Sterne deutet auf bewegte Atmosphäre.)

c) Durch **eine ungleich dicke Fensterscheibe** erscheint eine gerade Mauerkante oder eine Eisenbahnschiene verzerrt.

Aufgaben

Konstruiere nach *Snellius* den Verlauf des gebrochenen Strahles:

1. wenn er von Luft in Wasser übergeht und $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ist!
2. wenn er von Luft in Kronglas übergeht und $\alpha = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ist!

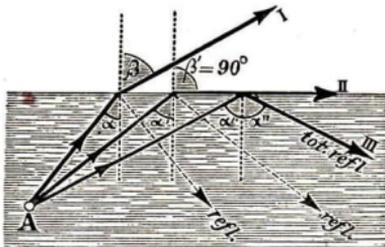


Abb. 239. Totale Reflexion

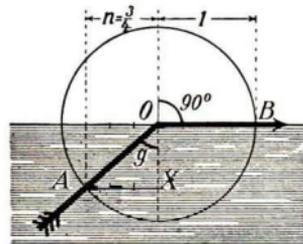


Abb. 240. Konstruktion des Grenzwinkels g

6. Totale Reflexion, Grenzwinkel. Erkläre Abb. 239!

Hier kommt ein Lichtstrahl I aus Wasser in Luft (also in das dünnere Mittel); er wird daher vom Lote weg gebrochen. Mithin ist der Winkel β in Luft größer als der Winkel α in Wasser. [Fall I.]

Nimmt α zu, so wird β auch größer; doch wenn α etwa 48° ist, ist β schon 90° , d. h. der in die Luft austretende Strahl geht an der Grenzfläche zwischen Luft und Wasser hin ($\alpha = 48^\circ =$ Grenzwinkel). [Fall II.]

Wächst α über 48° , so kann der Lichtstrahl in die Luft nicht mehr austreten, er wird dann **total** (= vollständig) ins Wasser zurück reflektiert. (Ein wenig wird ja jeder Strahl reflektiert.) [Fall III.]

Die Bedingung für das Eintreten der totalen Reflexion (= Rücktritt ins dichtere Mittel) ist also eine doppelte:

- a) Der Strahl muß vom **dichteren Mittel** kommen.
- b) Sein Einfallswinkel α muß **größer** als der Grenzwinkel sein. Merke:

Der Grenzwinkel g ist jener Einfallswinkel α , dessen Brechungswinkel 90° ist.

Er kann entweder durch Zeichnung (Abb. 240; mache $AX = \frac{3}{4}$ von OB !) oder durch Rechnung gefunden werden.

7. Drei Beispiele zur totalen Reflexion, sind:

a) Fülle ein **Reagenzrohr** zum Drittel mit Quecksilber und stelle es in ein Gefäß mit Wasser! [Ergebnis: Der mit Luft gefüllte Teil spiegelt noch besser als Quecksilber.] Grund: Seitliches Licht, das auf das Gläschen fällt, gelangt **durch das Glas** an die Trennungsfäche zwischen Glas und **Luft** und wird hier total reflektiert.

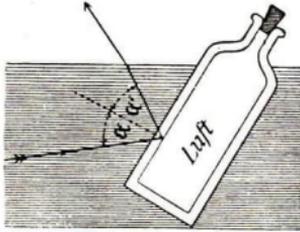


Abb. 241. Spiegeln einer leeren Flasche



Abb. 242

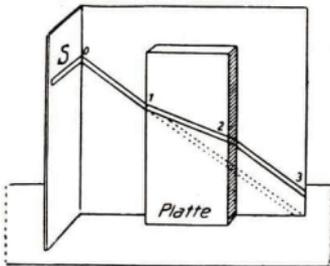
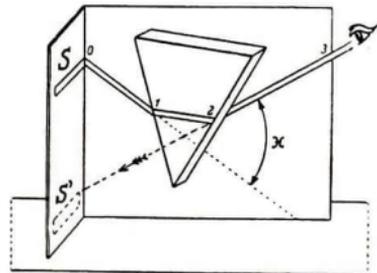
b) Das **Brillieren der Diamanten** beruht auf starker Totalreflexion des von vorn einfallenden Lichtes an der Rückseite.

c) Das **gleichschenkelig-rechtwinklige Prisma** wirkt für Strahlen, die senkrecht auf die Kathetenflächen fallen, **total reflektierend**, da der Einfallswinkel 45° an der Hypotenusenfläche bereits den Grenzwinkel für Kronglas, der nur 42° ist, überschreitet. Erkläre Abb. 242!

§ 67. Die planparallele Platte

1. Eine **Platte** heißt **planparallel**, wenn sie wie eine Fensterscheibe von zwei parallelen ebenen Flächen begrenzt ist.

Vorübung: Der Schüler führe mit einer abgeknickten Postkarte, auf der ein Spalt S eingeschnitten ist, den in Abb. 243 angedeuteten Versuch aus! [Ergeb-

Abb. 243. Parallelverschiebung
(Postkartenversuch)Abb. 244. Umknickung des Strahles
(Postkartenversuch)

nis: Der eintretende Strahl ist nach dem Durchgang nur parallel verschoben.] Merke also:

2. Beim Durchgang durch eine planparallele Platte wird ein Lichtstrahl nur parallel verschoben, nicht abgelenkt von seiner Richtung.

Grund: Beim Eintritt in das Glas wird der Strahl **zum Lot** gebrochen, beim Austritt **vom Lot**, beidemale entgegengesetzt um denselben Betrag.

§ 68. Prisma. Farbenzerstreuung

1. Das Prisma ist ein Glaskeil, der im wesentlichen zwei **zueinander geneigte** eben geschliffene Grenzflächen hat. Der Winkel der Ebenen heißt der brechende Winkel, die Schnittlinie der Ebenen: die brechende Kante des Prismas.

Vorübung: Mache den Postkartenversuch, der in Abb. 244 dargestellt ist! Stelle in den Weg des Lichtstrahles ein Prisma! [Ergebnis: Der Strahl wird um das dickere Ende herumgeknickt.] Blicke in den austretenden Strahl! [In der Rückverlängerung S' erblickt man das Bild des Spaltes S .] — Blicke durch einen Glaskeil gegen ein Kerzenlicht (Abb. 245)! Du findest es nicht sogleich. Wo erblickst du es endlich? Ergebnis:

2. Die zwei Prismengesetze lauten: a) Das Prisma lenkt einen Strahl **zum dickeren Ende** hin ab.

Grund: Beim Eintritt wird der Strahl **zum Lot**, beim Austritt **vom Lot** gebrochen. Diese Ablenkungen heben sich hier nicht auf.

b) Der Gegenstanderscheint stets zur brechenden Kante hin verschoben (Abb. 245).

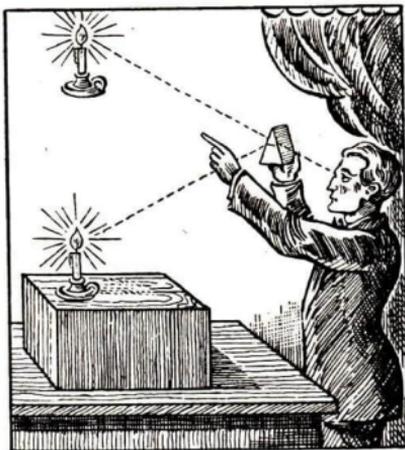


Abb. 245. Die Kerze sieht man gehoben

3. Zerlegung des weißen Lichtes (Abb. 246).

Versuch: Man lasse aus dem Projektionsapparat einen Strahl austreten und stelle in den Strahlengang (wie Abb. 246 angibt) ein Prisma! *Newton* benutzte 1670 einen Sonnenstrahl. Ergebnis:

Ein weißer Lichtstrahl wird bei seinem Durchgang durch ein Prisma in farbige Strahlen zerlegt, die einen Fächer bilden. Schneidet man letzteren durch einen Schirm, so entsteht darauf ein Farbenband, das **Spektrum**. In diesem unterscheidet man 7 Hauptfarben:

Rot, Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo, Violett

Sondert man einen der farbigen Strahlen durch einen Spaltschirm ab und läßt ihn neuerdings durch ein Prisma gehen, so wird er zwar wieder gebrochen, aber nicht mehr farbig zerlegt. [Er ist also einfach.]

Statt Farbenzerstreuung sagt man auch Dispersion.

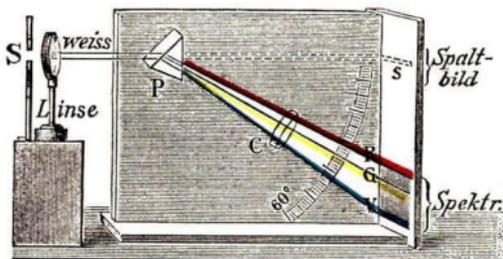


Abb. 246. Entstehung des Spektrums

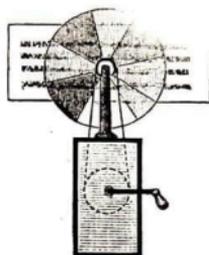


Abb. 247. Ein Farbenkreisel

4. Vereinigung. a) Vereinigt man alle Spektralfarben durch eine Sammellinse auf einen Fleck, so ist dieser wieder weiß.

Beim **Farbenkreisel** (Abb. 247) sind die Spektralfarben in Sektoren nebeneinander aufgetragen. Versetzt man eine solche Farbenseibe in schnelle Umdrehung, so erscheint ihre Fläche weiß.

Versuch: Schaltet man aus einem Spektrum das Rot aus und vereinigt die übrigen Farben durch eine Sammellinse, so erhält man einen grünen Fleck. —

Schaltet man Grün aus, so ergeben die übrigen Spektralfarben vereinigt einen roten Fleck.

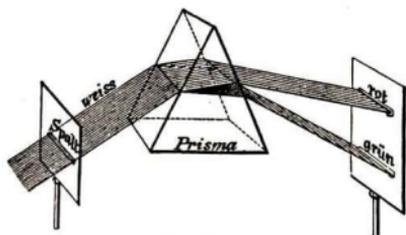


Abb. 248. Spektrallinien

b) Zwei Spektralfarben, wie **Rot** und **Grün** (oder **Gelb** und **Blau**), die vereinigt auch den Eindruck „**Weiß**“ ergeben, nennt man **Komplementärfarben**.

5. Verwendung findet das **Prisma**, um **gemischt farbiges Licht** rasch in seine Teile zu zerlegen. Aus der Trennung der Strahlen müssen wir schließen, daß verschiedenfarbige Strahlen verschiedene Brechungszahlen haben.

Versuch: Läßt man aus Grün und Rot gemischtes weißes Licht durch einen Spalt und dahinter durch ein Prisma gehen, so wird das Licht in eine rote und eine grüne Linie geschieden. Solche Linien nennt man **Spektrallinien** (Abb. 248).

6. Arten des Spektrums. a) Glühende Gase geben nur **einzelne Spektrallinien**, z. B. Natriumdampf gibt eine gelbe Linie, genannt **D-Linie**; Wasserstoff gibt vier Linien (Abb. 250).

b) Glühende feste Körper geben ein zusammenhängendes oder kontinuierliches Spektrum (Abb. 251).



Abb. 249. Natrium-Doppellinie



Abb. 250. Wasserstofflinien



Abb. 251. Kontinuierliches Spektrum

Glüht ein Stoff schwach, so sendet er nur das rote Ende des Spektrums aus; je stärker er glüht, desto mehr erweitert sich das Spektrum gegen den violetten Teil hin.

Früher noch nicht wahrgenommene Spektralbilder führten *Bunsen* (1860) und andere Forscher zur Entdeckung von chemischen Elementen (Spektralanalyse).

7. Der **Regenbogen** entsteht durch Brechung, Dispersion und Reflexion des Sonnenlichtes in Wassertropfen (Abb. 252). Er erscheint nur einem Beobachter, der die **Sonne** im Rücken hat.

Das farbige Funkeln von Tautropfen beruht auf demselben Vorgang.

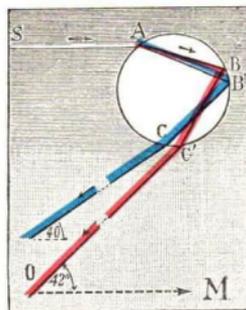


Abb. 252. Entstehung des Regenbogens

§ 69. Lichtbrechung an Linsen

1. Als **Glaslinse** bezeichnen wir ein Stück Glas, dem zwei Kugelflächen angeschliffen sind.

Die Verbindungslinie der Kugelmittelpunkte heißt die optische Achse der Linse.

2. Man unterscheidet zwei Arten von Linsen:

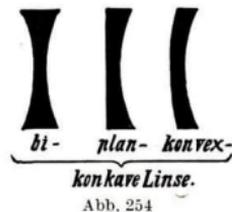
a) Sammellinsen.



1. **Kennzeichen.** Sie sind in der Mitte **dicker** als am Rande und heißen wegen dieser Form auch Konvexlinsen.

2. **Kennzeichen.** Da nach dem Prismensatz durchgehende Strahlen stets zur dickeren Stelle hin gebrochen werden, so wirken diese Linsen als **Sammellinsen**.

b) Zerstreuungslinsen.



1. **Kennzeichen.** Sie sind in der Mitte **dünnere** als am Rande und werden wegen ihrer Form auch Konkavlinsen genannt.

2. **Kennzeichen.** Da nach dem Prismensatz durchgehende Strahlen stets zur dickeren Stelle hin gebrochen werden, so wirken diese Linsen als **Zerstreuungslinsen**.

Zeige das Verhalten dieser Linsen gegen **Parallelstrahlen** durch den Postkartenversuch (Abb. 255 und Abb. 256)!

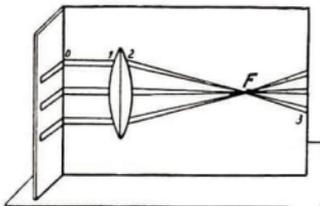


Abb. 255. Sammellinse

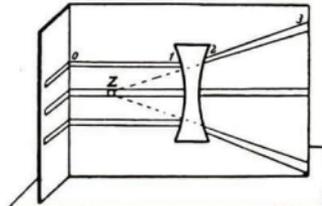


Abb. 256. Zerstreuungslinse

Zum Einsetzen der Linsen schneide eine entsprechende Öffnung in die Karte und stecke die Linse halb durch! Die rückwärtige Hälfte halte mit den Fingern fest!

3. Als **Brennpunkt** einer Linse bezeichnet man jenen Punkt \bar{F} , in dem **parallel zur Achse** einfallende Strahlen nach der Brechung vereinigt werden. Die Abb. 255 und 256 lehren uns:

a) Sammellinsen haben einen **wirklichen Brennpunkt F** .

b) Zerstreuungslinsen haben nur einen (gedachten) **Zerstreuungspunkt** Z für Parallelstrahlen.

Die Entfernung dieser Punkte von der Linse heißt **Brennweite** f .

4. Bestimme die Brennweite f für eine Sammellinse und für eine Zerstreuungslinse!

Schülerübung: a) Sammle mit der Sammellinse Sonnenstrahlen und suche mit einem Blatt Papier gemäß Abb. 257 den Brennpunkt auf! Miß seinen Abstand von der Linse!



Abb. 257. Brennpunkt

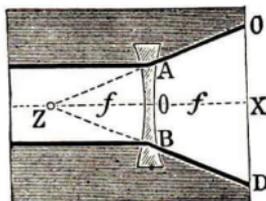


Abb. 258. Zerstreuungspunkt

b) Ein kurzsichtiger Schüler hat als Brille eine Zerstreuungslinse, deren Brennweite er bestimmen möchte. — **Anleitung:** Er schneide ein Streifen Papier von 1 cm Breite und rund 8 cm Länge zurecht und halte den Streifen gürtelförmig um das Brillenglas. — Dann halte er das Ganze in möglichst paralleles Licht und suche den Schatten von Linse und Band auf einem dahinter gehaltenen Schirm. — Er verschiebe den Schirm so weit, bis der Schatten des Bandes genau 2 cm breit ist. Der Abstand des Schirmes von der Linse ist dann gleich der gesuchten Zerstreuungswerte f . — **Beweis** in Abb. 258. Aus den bei Z zusammenstoßenden ähnlichen Dreiecken ZAB und ZCD folgt, wenn $AB:CD = 1:2$ ist, daß auch die Dreieckshöhen ZO und ZX im Verhältnis 1:2 stehen müssen. Daher ist das gemessene OX gleich dem unzugänglichen $ZO = f$.

5. Der Winkelhakensatz. Der an einer Stelle der Linse auftreffende Strahl bildet mit seinem gebrochenen Strahl einen **festen Winkel**, wie man ihn auch drehen mag.

Übung: Der Schüler schneide einen stumpfen Winkel aus Papier aus, lege ihn mit dem Scheitelpunkt an eine bestimmte Stelle der auf dem Papier gezeichneten Linse und drehe den Winkelhaken. Dessen Schenkel zeichne er in verschiedenen Lagen nach. [Ergebnis: Er hat dann den Strahlengang für verschiedene einfallende Strahlen.] — Genau richtig ist dieses Verfahren nur für jenen Linsenbereich, dessen Breite $\sim 1/10$ der Brennweite ist.

6. Jede Linse hat zwei Brennpunkte, da die Parallelstrahlen sowohl von rechts wie von links gegen die Linse treffen können. Aus dem Winkelhakensatz folgt, daß beide Brennpunkte von der Linse gleich weit entfernt sind.

§ 70. Bilder bei Sammellinsen

1. Liegt der leuchtende Punkt genau im **Brennpunkt**, so werden die austretenden Strahlen **parallel**. Es gibt kein Bild!

Versuch: Man verschiebe die Lichtquelle so lange, bis der Lichtkreis auf dem Schirm so groß ist wie die Linsenfläche. Die Lichtquelle steht dann im Brennpunkt.

2. Liegt der Lichtpunkt innerhalb der Brennweite, d. h.

zwischen Linse . . . und Brennpunkt

so folgt aus dem Winkelhakensatz (Abb. 262; $\sphericalangle R X S = \sphericalangle R' X S'$), daß die austretenden Strahlen **auseinanderlaufen**. Bringt man das Auge in

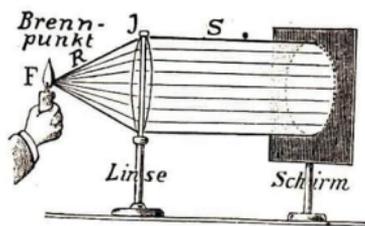


Abb. 259. Wesen des Brennpunktes

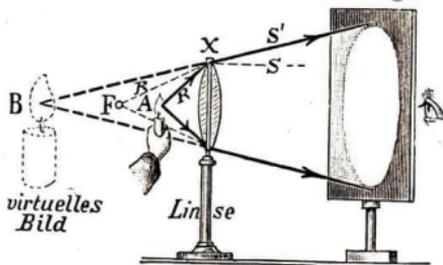


Abb. 260. Schaulinse

den austretenden Strahlenstumpf, so sieht es ein aufrechtes **vergrößertes Scheinbild** der Lichtquelle in größerer Entfernung:

Vergrößerungsglas

Versuch: Das Auseinandergehen der gebrochenen Strahlen zeigt sich auch daran, daß der Lichtkreis auf dem Schirm in Abb. 260 größer ist als die Linse.

Verwendung als **Lupe**, durch die man kleine Gegenstände vergrößert zu sehen wünscht, oder als **Hinausrückungsbrille** für Weitsichtige.

3. Liegt der Lichtpunkt außerhalb der Brennweite, also in dem großen Gebiet

zwischen Brennpunkt . . . und Unendlich

so werden nach dem Winkelhakensatz ($\sphericalangle F X S = \sphericalangle A X S''$) die gebrochenen Strahlen jenseits der Linse **gesammelt**. Dieses zeigt Abb. 263. Es entsteht dann ein **wirkliches (= reelles) Bild**, das frei im Raum schwebt und mit einem Schirm aufgefangen werden kann. Das Bild erweist sich als **umgekehrt**, wie alle reellen Bilder. Objekt und Bildort sind vertauschbar. (Photographen-Linse.)

Bewegungsregel. a) Rückt der Gegenstand von Unendlich gegen den Brennpunkt F , so rückt auf der **Gegenseite** das Bild vom Brennpunkt F gegen Unendlich und wird dabei größer. ($\infty \rightarrow F$; $F \rightarrow \infty$.)

b) Im Abstand $2f$ (d. h. in der doppelten Brennweite) sind Bild und Gegenstand gleich groß.

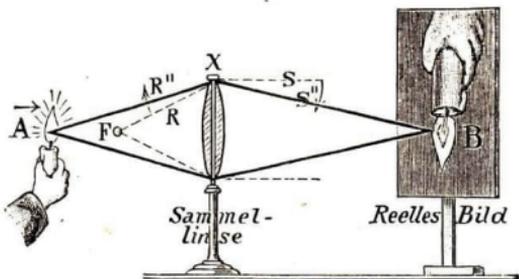


Abb. 261. Zeichenlinse des Photographen

Die zwei Punkte im Abstand $2f$ (links und rechts von der Linse) heißen wir

Gegenpunkte. — Wichtig für den Photographen, der von einem Gegenstand ein gleich großes Bild herstellen soll.

Schülerübung zur Bewegungsregel: Lege einen Meterstab auf den Tisch und setze in dessen Mitte eine Linse senkrecht darauf! Stelle an das eine Ende eine kleine Kerzenflamme und suche auf der Gegenseite mit einem Stück Papier den Ort des reellen Bildchens auf! — Miß für verschiedene Fälle die Abstände a und b des Gegenstandes und Bildes von der Linse! Bilde $1/a + 1/b$! [Ergebnis: Konstante Zahl, genannt Dioptrie; gleich $1/f$, wenn f die Brennweite.] Merke:

c) Die **Linsegleichung** lautet:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Den Wert $1/f$ nennt der Optiker die **Dioptrie** der Linse, wenn f in Metern ausgedrückt ist.

Eine Linse von der Dioptrie 5 hat die Brennweite $1/5$ m = 20 cm.

4. Zur raschen Zeichnung des Bildortes dienen wieder die drei ausgezeichneten Strahlen (Abb. 262).

a) Der **Parallelstrahl** (d. h. der zur optischen Achse parallele Strahl) geht nach der Brechung durch den jenseitigen Brennpunkt F .

b) Der **Mittelpunktstrahl** (d. h. derjenige, der durch die Mitte der Linse geht) geht fast ungebrochen durch die Linse hindurch, da die Linse in der Mitte als planparallele Platte wirkt. (Abb. 243.)

c) Der **Brennstrahl** (d. h. derjenige, der durch den vorderen Brennpunkt gezogen werden kann) verläuft nach der Brechung parallel zur optischen Achse.

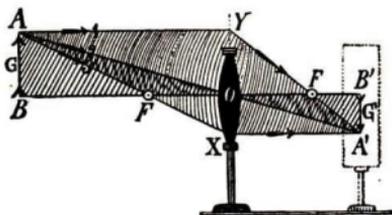


Abb. 262. Die drei ausgezeichneten Strahlen]

Man sagt kurz: Der Parallelstrahl wird Brennstrahl, der Brennstrahl wird Parallelstrahl, der Mittelpunktstrahl bleibt Mittelpunktstrahl.

5. Die Bildgröße findet man rechnerisch, wenn man beachtet, daß in Abb. 263 die zwei Dreiecke ABO und $A'B'O$ ähnlich sind. Daraus folgt wieder $G : G' = a : b$, d. h.

Gegenstandsgröße : Bildgröße = Gegenstandsweite : Bildweite.

Beispiel: Vor einer Sammellinse mit der Brennweite $f = 24$ cm steht im Abstand $a = 120$ cm eine 8 cm hohe Glühlampe. Man bestimme Lage und Größe des entstehenden Bildes. Lösung: Aus

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

$$G : G' = a : b$$

folgt sofort $b = 30$ cm, $G' = 2$ cm. (Bestätigung durch Zeichnung.)

Aufgaben

1. Vor einer Sammellinse von 30 cm Brennweite steht im Abstand 60 cm ein 6 cm hoher Gegenstand. Bestimme durch Rechnung Ort und Größe des Bildes! Mache dazu eine entsprechende Skizze im Maßstab 1 : 10!
2. Vor derselben Linse steht ein 10 cm hoher Gegenstand im Abstand 120 cm (bzw. 45 cm). Bestimme in beiden Fällen wieder Ort und Größe des Bildes!

§ 71. Bilder bei Zerstreuungslinsen

1. Ein parallel auftreffendes Strahlenbündel erfährt eine Zerstreuung vom Zerstreuungspunkt Z aus (vgl. Abb. 256).

Versuch: Halte die Linse ins Sonnen- oder Lampenlicht und dahinter einen weißen Schirm! Man sieht darauf einen größeren Zerstreuungskreis.

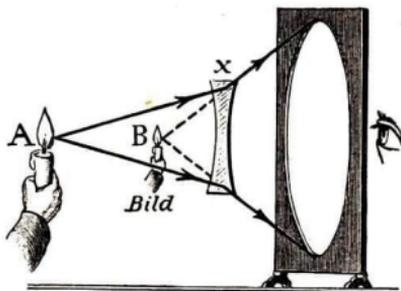


Abb. 263. Zerstreuungslinse

Nach dem Winkelhakensatz wächst die Zerstreuung, wenn die Strahlen von einem Punkt A ausgehen, der im Endlichen vor der Linse liegt (Abb. 263).

Der **Beobachter**, der sein Auge in den austretenden Strahlenstumpf bringt, glaubt, diese kämen von einem näher gelegenen verkleinerten Gegenstand her. Blicke durch eine Zerstreuungslinse! [Alles erscheint zierlich verkleinert und genähert.] Ergebnis:

2. Zerstreuungslinsen geben zierlich verkleinerte, genäherte, aufrechte Scheinbilder der betrachteten Gegenstände.

Verwendung als Brille für Kurzsichtige, da diese Linse von fernen Gegenständen genäherte Bilder gibt.

Versuch: Setzt man diese Linse **knapp** vor das Auge, so merkt man eigentümlicherweise von der Verkleinerung nichts mehr, da (wie die Zeichnung lehrt) dann das kleine Bild unter demselben Gesichtswinkel wie der größere Gegenstand erscheint. — **Vergleich:** Halte einen Bleistift so weit vom Auge ab, bis er so groß erscheint wie die weiter entfernte Zimmertür! [Auch hier merkt man den Größenunterschied nicht mehr.]

§ 72. Das Auge

Das Auge ist ein kleiner Photographenapparat, bei dem alle gesehenen Gegenstände verkleinert und umgekehrt auf der lichtempfindlichen Netzhaut abgebildet werden (Abb. 264).

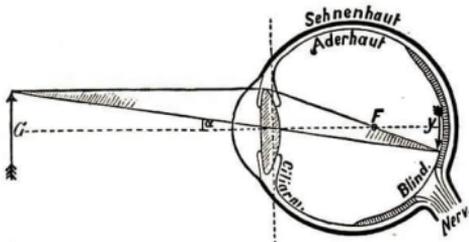


Abb. 264. Das Auge als Photographenapparat

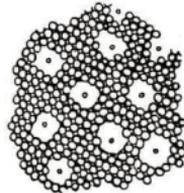


Abb. 265. Stäbchen- und Zapfchenansicht der Netzhaut

Es besteht aus dem **weißen Augäpfel**, der vorn in die etwas stärker gewölbte durchsichtige Hornhaut übergeht. (Betrachte deinen Nachbarn!) Hinter der Hornhaut ist die sog. **Kristalllinse** in eine ringförmige Fassung eingebettet, deren vorderer gefärbter Teil **Iris** oder Regenbogenhaut heißt. Der **Ciliarmuskel**, der die Linse rings umfaßt, kann die Linse so verändern, daß sie jederzeit von einem eben fixierten Gegenstand ein scharfes Bild auf der Netzhaut gibt. Diese Anpassung der Linse an die Objektentfernung heißt **Akkommodation**. Das Akkommodationsvermögen ist aber nicht unbeschränkt.

a) Für das **normale Auge** hört das Anpassungsvermögen auf, wenn der Gegenstand näher als **25 cm** an das Auge heranrückt. (Bei größerer Näherung verschwimmt uns das Bild; prüfe dieses durch Näherung deines Fingers an das Auge!)

Normale Sehweite = 25 cm bis ∞

b) **Kurzsichtige** haben von Natur aus etwas langgestreckte Augäpfel. Sie erhalten nur von näher gelegenen Gegenständen scharfe Bilder auf der Netzhaut.

Parallel in ihr Auge tretende Strahlen vereinigen sich wegen des zu lang gestreckten Augapfels schon vor Erreichung der Netzhaut. — Ebenso Strahlen, die von einem **fernen Punkt** kommen. Durch Vorsetzen einer geeigneten **Zerstreuungslinse** (= Nährungsbrille) werden diese Strahlen jedoch so zerstreut, als kämen sie von einem dem Auge **näheren Ort** (Abb. 263). Auf diesen kann der Kurzsichtige akkomodieren.

c) **Weitsichtige** (Übersichtige). Mit zunehmendem Alter schwindet die Fähigkeit, auf nahe Gegenstände zu akkomodieren. (Man sieht nur noch in die Ferne gut.)

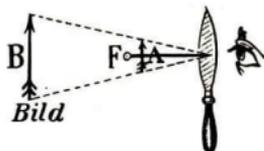


Abb. 266. Lupe

Um sehr nahe gelegene Gegenstände scharf zu sehen, setzt man vor das Auge als Brille eine **Sammellinse** (d. h. eine Art **Lupe**), die bekanntlich die Gegenstände scheinbar weiter **hinausrückt** (Abb. 266).

§ 73. Die optischen Instrumente

1. Die **Lupe** ist eine kleine **Sammellinse**, die als **Vergrößerungsglas** gebraucht wird. Der zu betrachtende Gegenstand **A** muß dann

innerhalb der vorderen **Brennweite**,

doch sehr nahe dem Brennpunkt aufgestellt werden, und zwar so, daß das erhaltene vergrößerte Scheinbild in der deutlichen Schweite erscheint (also in mehr als 25 cm Abstand für Menschen mit normalen Augen).

Schülerübung: Betrachte ein 1 cm langes Papierstreifchen durch deine Lupe und blicke gleichzeitig gegen einen 25 cm weit entfernten Maßstab! Gib an, wie viele cm dein Papierstreifchen auf dem Maßstab deckt! [Dies gibt die Vergrößerungszahl.]

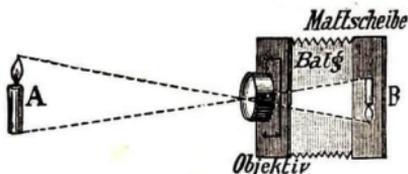


Abb. 267. Photographenapparat

2. Der **Photographenapparat** besteht aus einem ausziehbaren Dunkelkasten, in dessen Vorderwand eine **Sammellinse** (genannt **Objektiv**) eingesetzt ist; die Rückwand des Kastens besteht aus einer **Mattscheibe**.

a) **Einstellung:** Der abzubildende Gegenstand muß außerhalb der vorderen **Brennweite**

der Linse aufgestellt sein. Die Linse gibt dann vom Gegenstand ein umgekehrtes **reelles Bild** auf der Gegenseite (auch außerhalb der Brennweite), an dessen Ort man die **Mattscheibe** einstellen muß, damit ein scharfes Bild auf letzterer entsteht.

Frage: Wo muß der Photograph den Gegenstand aufstellen, um ein **gleich großes Bild** zu erhalten? [Antwort: Im Gegenpunkt ($a = 2f$), dann ist das Bild im anderen Gegenpunkt.] — Wann erhält der Photograph ein **verkleinertes Bild**? [Wenn er den Gegenstand weiter hinausrückt; $a > 2f$.] — Wann erhält er ein **vergrößertes Bild**? [Wenn er den Gegenstand näher an den Apparat heranrückt; also a zwischen $2f$ und $1f$.]

b) **Vorteil vor der Lochkamera** (Abb. 215). Letztere gibt von jedem Objektpunkt einen kleinen Zerstreungskreis, also im ganzen ein verwaschenes Bild. Die Linse des Photographenapparates aber sammelt die von einem Objektpunkt ausgehenden Strahlen wieder zu einem Punkt. Man erhält also hier eine scharfe punktweise Abbildung.

3. Der Projektionsapparat dient dazu, von kleinen Glasbildern (Diapositiven) **große Bilder** auf einer entfernten Wand zu entwerfen. Er besteht aus zwei Teilen, dem

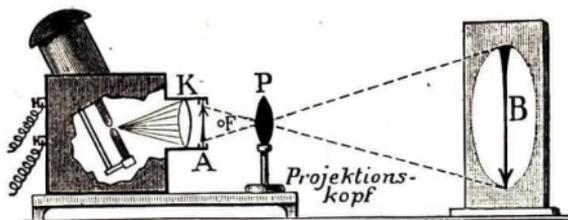


Abb. 268. Projektionsapparat. P = Projektionskopf, K = Kondensator

Beleuchtungsapparat, der das Diapositiv scharf beleuchten muß, und dem **Projektionskopf P**, der das Bild auf der Wand erzeugt.

Der **Beleuchtungsapparat** besteht aus einem Blechgehäuse, das die Lichtquelle birgt. In die Lichtaustrittsöffnung ist eine starke Sammellinse (der **Kondensator**) eingesetzt, die nur den Zweck hat, möglichst viel Licht auf das Diapositiv zu bringen.

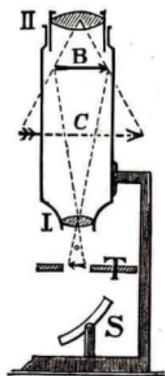
Damit der **Projektionskopf P** vom kleinen Diapositiv A ein vergrößertes reelles Bild B gibt, muß das Diapositiv

zwischen Gegenpunkt . . . und Brennpunkt

eingesetzt werden. (Zwischen $2f$ und $1f$ vor der Linse.)

Warum nicht im Gegenpunkt? [Dann würde ja Bild und Gegenstand gleich groß.]

4. Das Mikroskop besteht aus zwei Sammellinsen, einer unteren, dem Objektiv (I), und einer oberen, dem Okular (II). Das Objektiv wirkt als **Projektionskopf** und entwirft von dem Gegenstande ein umgekehrtes, reelles, **vergrößertes Bild B** innerhalb der Brennweite des Okulars (Abb. 269). Betrachtet man nun durch das Okular das Bild B , so wird dieses wie durch eine Lupe noch stärker vergrößert, man erhält ein sehr großes Scheinbild C vom Bild B .

Abb. 269
Mikroskop

Frage: Wenn das Objektiv I cm Brennweite hat, wie weit davon entfernt ist dann der zu betrachtende Gegenstand aufzustellen? [Antwort: Zwischen $2f$ und $1f$, also im Abstand zwischen 2 cm und 1 cm vor der Linse.]

5. Das astronomische Fernrohr (erfunden 1610 von Kepler).

Vorübung: Halte zwei Sammellinsen I und II hintereinander! (Ihr Abstand muß gleich der Summe ihrer Brennweiten sein: $f_I + f_{II}$.) Betrachte damit einen an der Schultafel aufgehängten Maßstab! [Ergebnis: Man sieht ihn vergrößert oder, was dasselbe ist, entsprechend genähert.]—Versuche die Vergrößerung von 1 dm zu bestimmen, indem du abwechselnd durch das Fernrohr, dann wieder neben demselben auf den Maßstab siehst! [Vergrößerung = $f_I : f_{II}$.]

Das astronomische Fernrohr besteht aus zwei Sammellinsen. Die dem Gegenstand zugekehrte Linse I heißt Objektiv, die dem Auge zugekehrte Linse II Okular. Ihr Abstand muß gleich der Summe ihrer Brennweiten sein.

Das **Objektiv** (I) ist eine flache Linse mit langer Brennweite. Es gibt von einem fernen Gegenstande *A* nur ein verkleinertes, aber reelles Bild *B* (ganz wenig außerhalb der Brennweite der Linse).

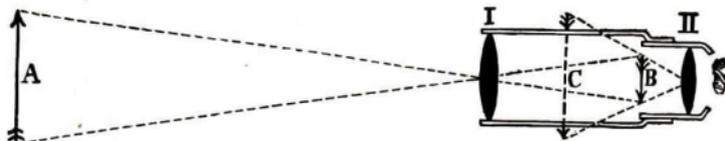


Abb. 270. Astronomisches Fernrohr

Das **Okular** (II) hat die Aufgabe, von diesem kleinen Bild *B* ein vergrößertes Scheinbild *C* zu entwerfen. (Lupe von 3–4 cm Brennweite.)

Nachteil. Man sieht mit diesem Fernrohr die Gegenstände umgekehrt. Dem kann abgeholfen werden, indem man die Linsen I und II weiter auseinanderzieht und zwischen beide eine geeignete Sammellinse als Umkehrglas einsetzt. Dadurch entsteht das **terrestrische Fernrohr**.

Für Reisende oder Theaterbesucher wäre aber ein solches Fernrohr durch seine große Länge (40 cm und mehr) lästig. Doch kann man, wie die **Zeißgläser** zeigen, die Länge mehrfach (trompetenartig) umknicken durch Einschaltung von totalreflektierenden Prismen an den Knickstellen. Dadurch wird das Fernrohr äußerlich kürzer, aber dicker (Abb. 271).

6. Das Galileische oder holländische Fernrohr besteht aus einer **Sammellinse** und einer **Zerstreuungslinse**.

Die **Sammellinse** (I) sammelt die von einem Punkt *A* des fernen Gegenstandes ausgehenden Strahlen nahezu in ihrem diesseitigen Brennpunkt *F*.

Bevor sich aber die von I gebrochenen Lichtstrahlen vereinigen können, wird die **Zerstreuungslinse** (II) eingeschaltet. Diese bringt die ankommenden Strahlen zum Auseinandergehen, so daß ein in II hineinblickendes Auge den Eindruck hat, als kämen diese Strahlen von einem Punkt *C* vor dem Okular II, der näher am Beobachter liegt als der ferne Gegenstand.

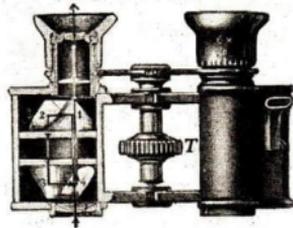


Abb. 271. Prismenfernrohr

Schülerübung: Halte die zwei Linsen hintereinander! [Ihr Abstand muß $f_1 - f_2$ sein.] — Betrachte damit einen an der Schultafel aufgehängten Maßstab! Bestimme wie oben durch doppeltes Anvisieren des Maßstabs die Vergrößerung! [Sie ist $\approx f_I : f_{II}$.]

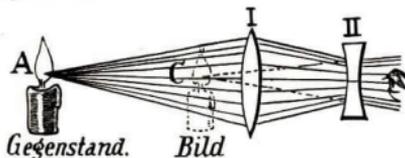


Abb. 272. Galileisches Fernrohr

Vorteil. Das Fernrohr ist wegen seiner Kürze als Theaterglas beliebt, vergrößert aber nicht stark. Es gibt schon bei zwei Linsen aufrechte Bilder.

Erfunden vom Holländer **Lippershey**; sofort nachgemacht von **Galilei** (1608). **Kepler** erfand sein Fernrohr 1610.

7. Das Spiegelteleskop, erfunden 1672 von **Newton** (Abb. 273), ist die Verbindung eines **Hohlspiegels** mit einer **Lupe**.

Die von einem Fixstern ausgehenden Parallelstrahlen sammeln sich im Brennpunkt *F* des Hohlspiegels. Dieser Punkt wird mittels eines kleinen, schräg gestellten, ebenen Spiegels vor eine seitlich im Teleskop angebrachte Lupe gebracht.



Abb. 273. Teleskop

Geschichtliches. In der Kirche Maria Maggiore zu Florenz las man: Hier liegt **Solvino**, der Erfinder der Augengläser, † 1317. Die Augengläser waren damals an einem Stück Leder angebracht, das an der Kappe befestigt wurde.

Magnetismus

§ 74. Natur des Magnets

1. Woran erkennt man einen Magnet?

Vorübung: Lege auf den Tisch ein Holzstäbchen, ein Kreidestück und ein Eisenstäbchen! Nähere diesen Körpern deinen Magnet! [Ergebnis: Nur das Eisenstück wird angezogen.] — Streich dein Taschenmesser am Magnet ab! [Ergebnis: Es zieht nun eine Stahlfeder an.]

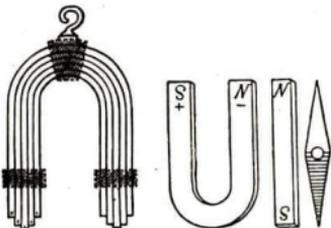


Abb. 274. Formen der Magnete

Ein Magnet ist ein Körper, der Eisenteilchen an sich zieht und festhält.

Man unterscheidet natürliche und künstliche Magnete.

a) Der natürliche Magneteisenstein

kommt als Erz (Fe_3O_4) in Schweden und im Uralgebirge vor.

Er wurde von dort wohl schon von den alten Phöniziern geholt und auf den Jahrmärkten in Griechenland und Kleinasien als magischer oder Wunderstein verhandelt. Warum ein Magnet Eisen anzieht, wissen wir übrigens auch heutzutage noch nicht; wir können nur die magischen Wirkungen messen.

b) Künstliche Magnete entstehen, wenn man Stahl (d. i. stark entkohltes Eisen) an einem Magnet abstreicht.

2. Pole sind Stellen stärkster Anziehung (Abb. 275).

Lege einen Magnetstab in Eisenfeilspäne und hebe ihn hoch! [Ergebnis: Die Feilspäne haften besonders stark an den Enden, die Mitte zieht nichts an.]

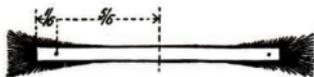


Abb. 275. Lage der Pole

Ein regulärer Magnet hat zwei Pole nahe den Enden und in der Mitte eine Stelle ohne Anziehung (die Indifferenzzone).

Pole sind eigentlich gedachte Punkte im Innern des Magnets, von denen die Anziehung auszugehen scheint.

3. Es gibt zweierlei Pole. Hängt man eine magnetisierte Stricknadel an einem sehr dünnen Faden auf, so dreht sie sich in die Südrichtung. Dabei macht man die Erfahrung, daß der eine Pol stets nach Norden, der andere Pol stets nach Süden strebt. Daher unterscheidet man an einem Magnet einen Nordpol und einen Südpol. Der Versuch (Abb. 276) ergibt das Gesetz:

„Gleichnamige Pole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.“

Schülerübung: Lege zu Hause auf den Rücken deines Kaffeelöffels eine magnetisierte Stricknadel und laß sie schwingen! Was merkst du?

4. Die Richtkraft der Magnetnadel findet Anwendung beim Kompaß (Abb. 279), der zur Bestimmung der Himmelsrichtung dient. Er besteht



Abb. 276
Gleichnamige Pole



Abb. 277. Kompaß



Abb. 278. Schiffskompaß

aus einer Magnetnadel, die mittels eines Achathütchens auf einer Spitze sitzt, so daß sie sich waagrecht frei drehen kann. Beim Kompaß spielt die Magnetnadel über einer Windrose, auf der die Himmelsrichtungen angezeichnet sind. (Beachte die Sternfigur in Abb. 277!)

Schwingt die Magnetnadel nur über einer Gradteilung, so nennt man die Vorrichtung **Bussole**.

Der **Kompaß** ist wichtig für den Seefahrer, die **Bussole** für den Geographen, der damit leicht bestimmen kann, um wie viele Grade eine Straße von der Nord-südrichtung abweicht. — Die Richtigkeit des Magnetsteins war schon den alten Chinesen bekannt. Erst um das Jahr **1300** kam diese Kenntnis nach Europa. (Damals legte man einen Strohalm aufs Wasser, der eine magnetische Nadel enthielt.) — Beim **Schiffskompaß** (Abb. 278) ist die Windrose auf dem Rücken der Magnetnadel befestigt.

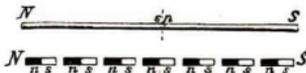


Abb. 279. Der Stricknadelversuch



Abb. 280. Die Pole PP sind gedachte Punkte

5. Die Pole kann man nicht trennen. Dies zeigt der Stricknadelversuch.

a) Zerbricht man eine regelmäßig magnetisierte Stricknadel etwa an der Indifferenzzone, so zeigt sich, daß die eine Bruchstelle südpolare, die andere nordpolare ist. Jeder Teil der Stricknadel erweist sich dabei als ein ganzer Magnet mit Nord- und Südpol.

Probe: Man tauche die Bruchstellen in Eisenfeilspäne und untersuche ihre Polarität mit einer kleinen Magnetsnadel.

b) Setzt man die zwei Stücke mit ihren Bruchstellen neuerdings zusammen, so erscheint die Bruchstelle wieder indifferent (unwirksam).

6. Ansicht über einen Magnet. Das Zerbrechen der Stricknadel kann man sich fortgesetzt denken bis auf die Moleküle und kommt so zu der Ansicht:

|| Ein Magnet besteht aus geordneten Molekularmagnetchen, die alle mit den Nordpolen nach derselben Richtung weisen.

Kraftfäden. Die Molekularmagnete ordnen sich im Innern des Magnets in Ketten an, die man Kraftfäden nennt. Ein solcher Kraftfaden zeigt **nur an seinen Endpunkten Polarität**, seiner ganzen Länge nach ist er dagegen wirkungslos. Da die gleichnamigen Endpole einander gegenseitig abstoßen, so zeigen die Kraftfäden an den Enden Divergenz oder **Streuung**.

§ 75. Magnetisieren. Influenz

1. Magnetisieren durch Streichen. Man nimmt an, daß in einem unmagnetischen Eisen- oder Stahlstück bereits die Molekularmagnete vorhanden sind, aber in solch großer Unordnung, daß sie nach außen keine Wirkung zeigen. Durch Darüberstreichen mit einem Pol (Abb. 281) werden sie aber geordnet, da der darüberstreichende Pol die entgegengesetzten Pole an sich zieht. Merke:

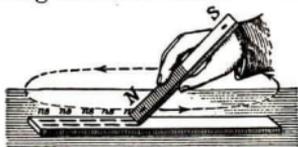


Abb. 281. Magnetisieren durch Streichen

|| Das Magnetisieren besteht bloß in einem Ordnen der vorhandenen Molekularmagnetchen.

Magnetisieren = Ordnen

Die Erfahrung lehrt: Stahl behält die Magnetisierung bei, weiches Eisen nicht.

2. Magnetisieren durch Influenz. Influenz ist der **Einfluß** eines Magnetpoles auf genäherte Eisen- oder Stahlstücke.

Versuch: Bring ein Eisen- oder Stahlstäbchen (*a*, *b* in Abb. 282) in die Nähe des Nordpols eines Magnetstabes! [Ergebnis: Das Stäbchen wird sofort magnetisch.] Untersuche die Polarität des Endes *b*! [Es zeigt sich nordpolar.] Merke also:

|| Dem Nordpol *N* gegenüber entsteht im Stäbchen ein Südpol.

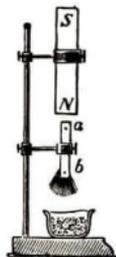


Abb. 282
Influenz

a) **Weiches Eisen** verliert seinen Magnetismus sofort wieder, wenn man es aus der Nähe des influenzierenden Poles fortbringt. — b) **Stahl** behält ihn dauernd bei (Permanenter Magnet). — c) **Mittelweiche Eisensorten** behalten nach der Entfernung vom influenzierenden Pol nur einen Rest von Magnetismus bei (Remanenter Magnetismus).

3. Entmagnetisierung. Durch Erhitzen über 900° C verliert ein Magnet seine magnetische Kraft vollkommen.

Schülerübung mit einer magnetisierten Stricknadel und einem Bunsenbrenner.

§ 76. Kraftlinienbilder

1. Der Wirkungsbereich eines Magneten heißt sein magnetisches Feld. Vom Vorhandensein dieses Feldes überzeugt man sich a) mit einer kleinen **Bussole** (Abb. 283).

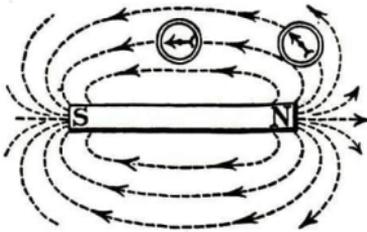


Abb. 283

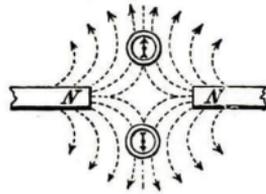


Abb. 284

Verschiebt man diese im Magnetfeld, so nimmt ihre kleine Nadel an jedem Orte des Feldes eine bestimmte Richtung ein. Lenkt man sie daraus ab, so schwingt sie mehr oder minder schnell um diese Ruhelage hin und her. [Die Schnelligkeit des Schwingens gibt ein Merkmal für die Stärke des Feldes.]

b) Man bringe in das Feld ein Blatt Papier und bestreue es mit **Eisenfeilspänen** (Abb. 285)! Erschüttert man die Unterlage, so ordnen sich die Eisenspänchen zu schönen Kurven an, die man **Kraftlinien** nennt.

Grund: Die Eisenfeilspänchen werden im Feld durch Influenz gleichsam in kleine Magnetnadeln verwandelt und ordnen sich wie diese.

Festhaftende Bilder erzielt man wie folgt: Man schmelze eine Kerze und ziehe einen Streifen Papier durch das flüssige Paraffin. Auf dem getrockneten Papier erzeuge man, wie oben angegeben, das Kraftlinienbild. Führt man nun ein paar mal mit der Flamme des Bunsenbrenners darüber, so haftet das Eisenfeilicht nach dem Erkalten fest.

2. Der Schüler stelle einige Kraftlinienbilder fest! a) Für ein einpoliges Feld (Abb. 286) laufen die Kraftlinien radial vom Pol aus. b) Bei einem Magnetstab (Abb. 283) laufen die Kraftlinien büschelförmig von einem Pol zum entgegengesetzten. c) Stehen zwei gleichnamige Pole einander gegenüber (Abb. 284), so suchen sich die Kraftlinienbüschel auszuweichen.

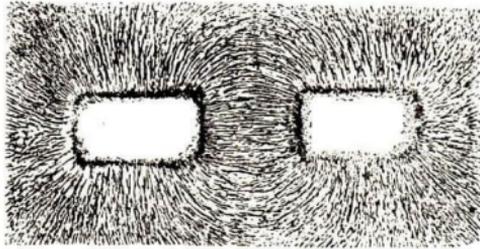


Abb. 285. Feld eines Hufeisenmagnetes

förmig von einem Pol zum entgegengesetzten. c) Stehen zwei gleichnamige Pole einander gegenüber (Abb. 284), so suchen sich die Kraftlinienbüschel auszuweichen.

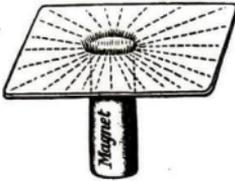


Abb. 286. Einpoliges Feld

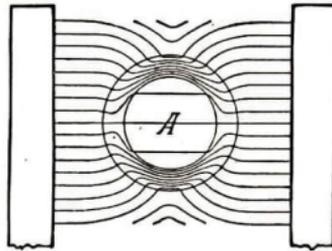


Abb. 287. Eisen im Feld

d) Eisen im Feld (Abb. 287) zieht die Kraftlinien an sich. Man sagt, die Kraftlinien gehen lieber durch Eisen als durch Luft.

3. Den Kraftlinien schreibt man eine Richtung zu: die Schwimmrichtung eines Nordpols.

Denkt man sich einen Nordpol in das Feld gebracht, so wird er von den Polen des Feldes in bestimmter Richtung in der Kraftlinie fortbewegt. Diese Richtung nennt man die Flußrichtung der Kraftlinie.

§ 77. Erdmagnetismus

1. Die Magnetnadeln zeigen deshalb nach Norden, weil sich die Erde wie ein großer Magnet verhält, der im hohen Norden südpolar, dagegen im Süden nordpolar ist.

Den S-Pol fand Kapitän Roß 1831 auf der Halbinsel Boothia felix (Nordamerika); den N-Pol erreichte E. H. Shackleton 1909 im Südlichen Eismeer.

2. Die Magnetnadeln zeigen nicht genau nach Norden. Ihre Abweichung von der genauen Nordrichtung nennt man **Deklination**. Sie beträgt in Deutschland rund 11° (westlich).

Die **Deklination** ist also die Abweichung der genauen Richtung nach dem Nordpolarstern [= **geographischer Meridian**] von der Richtung der Magnetnadel [= **magnetischer Meridian**]. — Sie wurde von **Columbus** auf seiner Fahrt nach Amerika **1492** entdeckt.

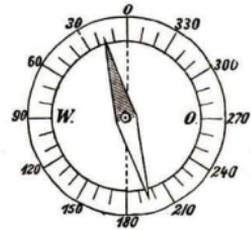


Abb. 288. Deklination

Die Deklination kann durch einen einfachen Schülerversuch festgestellt werden (Abb. 289).

Stecke ein Stäbchen senkrecht auf den Tisch und warte, bis es **mittags 12 Uhr** ist! Der Schatten desselben zeigt dann nach Norden, da die Sonne dann genau im Süden steht. Lege deinen Kompaß in die Schattenlinie! Gib an, um wieviel Grad die Kompaßnadel von der Nordrichtung abweicht!

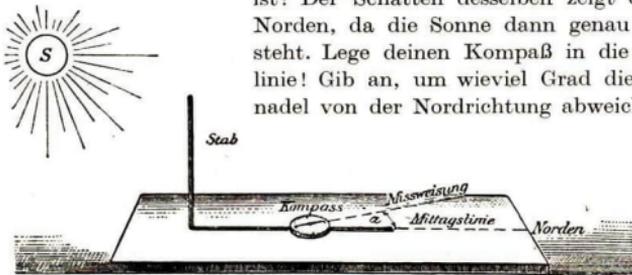
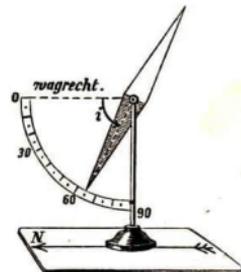


Abb. 289. Bestimmung der Deklination einer Magnetnadel

Linien, die Orte je gleicher Deklination verbinden, heißen **magnetische Meridiane** oder **Isogonen**. Sie sind in Abb. 292 durch dünn ausgezogene Linien dargestellt und verlaufen annähernd nord-südlich.

3. Eine waagebalkenartig (im Schwerpunkt) aufgehängte Magnetnadel nennt man ein **Inklinatorium**. Bringt man ein solches Gestell in den magnetischen Meridian, so stellt sich die Nadel darin nicht waagrecht, sondern sie neigt sich auf der nördlichen Halbkugel mit ihrem Nordpol, auf der südlichen mit ihrem Südpol nach unten, nur in der Nähe des Äquators stellt sie sich horizontal.

Abb. 290
Die Inklinationsnadel

Die Inklinationsnadel gibt die Richtung der erdmagnetischen Kraftlinien an.

Die Abweichung der Inklinationsnadel von der waagerechten Lage heißt **Inklination**. Diese beträgt in Deutschland rund **66°**.

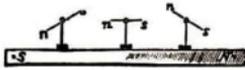


Abb. 291. Inklination

An den magnetischen Polen der Erde müßte sich die Inklinationsnadel lotrecht stellen; am Äquator waagrecht (Abb. 291).

Linien, die Orte je gleicher Inklination verbinden, heißen **Iso-**

klinen; sie verlaufen im großen ganzen wie die Breitengrade (Abb. 292).

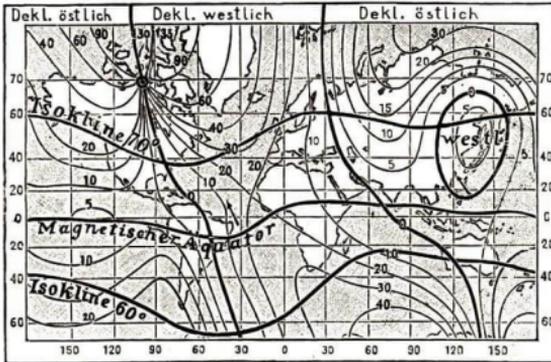


Abb. 292. Karte der Isogonen und Isoklinen

4. Lotrechte Eisen- und Stahlkörper zeigen sich unter dem Einfluß der magnetischen Influenz der Erde **unten nordpolar**, oben **südpolar**. (Magnetismus der Lage.)

Der Schüler prüfe ein eisernes Stativ, ein Gfentürchen, Gasleitungsröhren, die Stäbe eines eisernen Gartenzauns mit einer kleinen Bussole oder mit einer magnetisierten Nähnaedel, die auf dem Rücken eines Kaffeelöffels liegt.

Reibungselektrizität

§ 78. Der elektrische Zustand

1. Woran erkennt man einen elektrischen Körper?

Vorübung: Reibe einen Hartgummistab mit Wolle und nähere ihn der Kugel an einem Pendel! (Abb. 293.) [Ergebnis: Das Kügelchen wird rasch **angezogen** und nach der Berührung **abgestoßen**.] — Nähere ihn Papierschnitzeln, die auf dem Tisch liegen! [Sie beginnen zu tanzen.] — Nähere ihn einem dünnen Wasserstrahl! (Abb. 295.) [Er wird abgelenkt.] Ergebnis:

Ein elektrischer Körper zieht ohne Wahl kleine Körper an und stößt sie nach der Berührung ab.

Was Elektrizität ist, weiß man heutzutage noch nicht; man kann nur ihre Wirkungen messen. — Der Name Elektrizität kommt von dem griechischen Wort

Elektron [= Bernstein]. Am Bernstein hat schon *Aristoteles* 333 v. Chr. die elektrische Eigenschaft beobachtet.

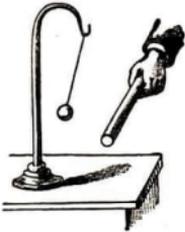


Abb. 293
Das elektrische Pendel

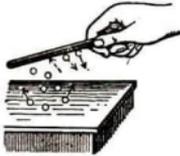


Abb. 294
Papierschnitzel tanzen



Abb. 295. Ablenkung
eines Wasserstrahls

2. **Elektrisiere einen Glasstab** durch Reiben mit Wolle, oder besser mit einem Lederlappen, der mit **Amalgam** (einem Metallpulver aus Zn.k und Quecksilber) bestrichen ist! Er zeigt genau dieselben Erscheinungen wie oben.

Die Zauberuhr. Bei Zaubervorstellungen wird manchmal auch eine Uhr vorgeführt, die aus einem 50 cm hohen, runden, durchsichtigen, gläsernen Zifferblatt und einem äußerst leicht im Achsenlager drehbaren Aluminiumzeiger besteht. Der Vortragende fragt: Wann soll die Uhr stehenbleiben? Kommt nun von den Zuhörern die Forderung: Um 3 Uhr!, so fährt er mit dem trockenen Daumen in Richtung gegen 3 Uhr über das Zifferblatt und spricht anscheinend beschwörend: Hier mußt du stehenbleiben, Zeiger! Dann stößt er den Zeiger an, der 5- bis 6mal rasch im Kreise herumläuft, wobei der Zeiger allmählich seine Geschwindigkeit verlangsamt und schließlich vor der gewünschten Stelle stehenbleibt! Grund? [An der gestrichenen Stelle wird das Glas elektrisch und zieht den Zeiger an.]

3. **Wie verhalten sich zwei elektrische Stäbe** gegeneinander? Zu diesem Zweck hängen wir einen mit Wolle geriebenen Hartgummistab auf und nähern ihm

- einen ebenfalls mit Wolle geriebenen **Hartgummistab**. [Ergebnis: Abstoßung.]
- einen mit Amalgam geriebenen **Glasstab**. [Ergebnis: Anziehung.]

Daraus folgt, daß es zweierlei Elektrizitäten gibt.

Nach *Lichtenberg* (1777) nennt man die Elektrizität auf dem **Glas: positiv**, auf dem **Hartgummi: negativ**, wenn man Glas mit Amalgam, Hartgummi mit Wolle rieb. Dabei ergibt sich das Gesetz:



Abb. 296

|| Gleichnamige Elektrizitäten stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an.

4. Die Elektrizität läßt sich durch Berührung übertragen. Berührt ein elektrischer Körper einen unelektrischen, so wird dieser gleichnamig elektrisch. (Daher die Abstoßung beider nach der Berührung!)

§ 79. Elektrizitätsanzeiger

1. Die Elektrizität ist unsichtbar. Man kann aber ihre Anwesenheit kenntlich machen durch ein kleines **Doppelpendel** (Abb. 297). Dieses besteht aus zwei kurzen Metalldrähten, die unten leichte Korkkügelchen tragen.



Abb. 297. Konduktor

Versuch: a) Befestige an einem **Konduktor** (d. h. einem Metallkörper auf Hartgummi- oder Glasfuß) das Pendel und streiche am Konduktor den elektrischen Stab ab! [Ergebnis: Das Doppelpendel spreizt sich.] —

b) Nähere den elektrischen Stab dem Pendel seitlich! [Ergebnis: Abstoßung; also gleichnamig.] — c) Berühre den geladenen Konduktor mit dem Finger! [Ergebnis: Die Pendel klappen augenblicklich zusammen; Entladung.]



Abb. 298

2. Das gebräuchliche Elektroskop ist nichts weiter wie ein sehr leichtes elektrisches **Doppelpendel** in einer Schutzflasche (Abb. 299).

Die Zuführung zum Pendel erfolgt durch ein Metallstäbchen, das oben in einen Metallknopf endigt. Der Pfropf der Schutzflasche besteht aus isolierendem Material: Hartgummi oder Bernstein.

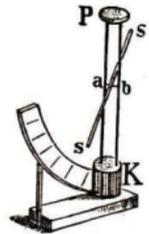


Abb. 299. Elektroskop nach Fischer

Für Hörsäle eignet sich besonders das in großem Maßstab ausführbare **Fischersche** Elektroskop (Abb. 298), das einen festen Schenkel hat; der freie besteht aus einem Strohhalm.

3. Die Prüfung der Ladung erfolgt, indem man einen **bekannt** elektrischen Stab dem **Knopf** des Elektroskops nähert.

a) Nähert man einen **gleichnamig** geladenen Körper, so treibt dieser die Ladung des Knopfes in die Pendel. Ergebnis: Diese gehen dann weiter auseinander.

b) Nähert man einen **ungleichnamig** geladenen Körper, so zieht dieser die Ladung der Pendel in den Knopf. Ergebnis: Die Pendel gehen zusammen. Schülerübung.

4. **Elektrische Spannung.** Spreizt sich das Doppelpendel stärker, so sagt man, die elektrische Spannung sei nun größer geworden. Um die elektrische Spannung durch Maßzahlen angeben zu können, ist hinter dem Pendel eine Skala angebracht, die nach „Volt“ geeicht ist. Ein nach Volt geeichtes Elektroskop heißt ein Elektrometer (Abb. 300).

Wie man die Eichung nach Volt herstellt, kann erst auf der Oberstufe besprochen werden.

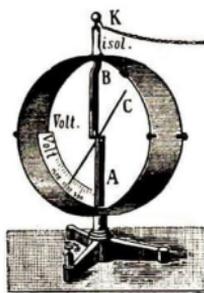


Abb. 300. Braunschweigisches Elektrometer

§ 80. Leiter und Nichtleiter

1. Die Elektrizität hat das Bestreben, sich auf Körpern auszubreiten.

Vorübung: Verbinde zwei Elektroskope durch einen Metalldraht (Abb. 301) und lade das eine! [Ergebnis: Sofort schlägt auch das zweite Elektroskop aus.] — Man verbinde die beiden Elektroskope durch einen trockenen Seidenfaden! [Ergebnis: Das zweite Elektroskop macht keinen Ausschlag.]

2. Man unterscheidet Leiter und Nichtleiter.

Leiter (oder **Konduktoren**) sind die Metalle, das Wasser, der menschliche Körper, der Erdboden, feuchte Körper.

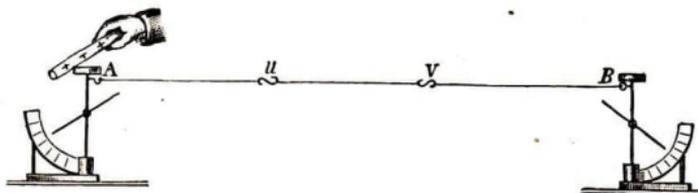


Abb. 301. Nachweis der Leitfähigkeit

Nichtleiter (oder **Isolatoren**) sind trockene Luft, trockenes Papier, trockenes Glas, Hartgummi, Porzellan, besonders aber Paraffin (Kerzen) und Bernstein.

3. **Halbleiter.** Verbindet man die zwei Elektroskope durch eine Bindschnur, so kriecht die Elektrizität langsam von einem Elektroskop zum anderen hinüber.

Befeuchtet man die Schnur, so leitet sie gut; je trockener sie ist, desto schlechter leitet sie. — Feuchte Mauern sind Halbleiter.

§ 81. Der „neutrale“ Körper

1. Ausgleich.

Lade von zwei gleichen Elektroskopen (Abb. 302) das eine **positiv**, das andere gleich stark **negativ** elektrisch und überbrücke beide durch einen dünnen Draht, den du an einem isolierenden Griff hältst! [Ergebnis: Beide Pendel klappen sofort zusammen.] Daher das Gesetz:

|| Gleichviel +El. und -El. heben sich auf, neutralisieren sich.

2. Entstehung von \pm El. auf neutralen Körpern.

Vorübung: Reibe den **Metallschild** des Elektrophors (zu halten am isolierenden Griff) an einer **Glasplatte** und prüfe beide an einem positiv elektrisch geladenen Elektroskop! [Ergebnis: **Metall** wird negativ; **Glas** wird positiv elektrisch.] Merke:

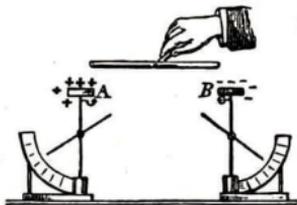


Abb. 302. Ausgleich

|| Beim Reiben zweier Körper wird der eine positiv, der andere negativ elektrisch.



Abb. 303

Versuch: Von zwei in Gummischuhen Stehenden bürste A den B aus; A wird positiv, B negativ elektrisch; Probe am Elektroskop.

Reibungsreihe. Reibt man irgend zwei Körper der folgenden Reihe:

- | | | | |
|---------|----------|--------------|-------------|
| 1. Pelz | 3. Wolle | 5. Metall | 7. Schwefel |
| 2. Glas | 4. Seide | 6. Hartgummi | 8. Amalgam |

miteinander, so wird der vorangehende stets +el., der nachfolgende -el., und zwar um so stärker, je weiter dieselben voneinander in dieser Reihe entfernt sind. (Zum Beispiel: Man bügelt Seide = Kombination 4 und 5.)

3. Nach **Symmer (1750)** nimmt man an, daß in jedem Teilchen eines unelektrischen (= neutralen) Körpers von Natur aus gleichviel positive und negative Elektrizität vorhanden sei, die aber beide wegen ihrer gegensätzlichen Wirkung nach außen hin unwirksam erscheinen (Abb. 303).

§ 82. Die elektrische Influenz (1750)

1. Influenz ist der „Einfluß“ eines elektrischen Körpers auf einen neutralen.

Ist die Symmersche Hypothese richtig, so muß auf dem **neutralen Körper K** (Abb. 304) eine **Scheidung** von +El. und -El. eintreten, wenn

man in der Nähe einen elektrischen Körper *A* aufstellt. Dies trifft zu. Der letztere zieht die ungleichnamige zu sich heran und stößt die gleichnamige von sich ab.

Die abgestoßene Elektrizität kann man durch Berührung in die Erde ableiten. Man nennt sie **frei**.

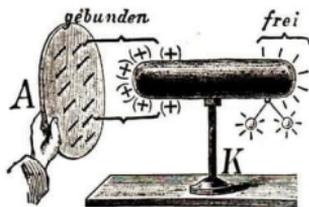


Abb. 304. Elektrische Influenz

Die angezogene Elektrizität wird vom elektrischen Körper festgehalten. Man nennt sie **gebunden**.

Influenz = Scheidung von $\pm El.$

a) **Nachweis der entgegengesetzten Ladungen.** Stelle vor den Konduktor *K* z. B. eine mit Pelz gepeitschte Hartgummischeibe *A* auf [z. B. den Elektrophorkuchen]! Dann nimm mit der Probekugel je eine Elektrizitätsprobe vom abgewandten sowie vom zugewandten Ende ab und untersuche am Elektroskop!

b) **Nachweis der Bindung.** Man versieht den Konduktor *K* am abgewandten Ende mit einem Doppelpendel. Bei Annäherung von *A* spreizt sich dieses wegen freier $-El.$ Berührt man den Konduktor mit dem Finger, so entweicht diese $-El.$ [Die Pendel klappen zusammen.] — Entfernt man darauf *A*, so wird die bisher gebundene $+El.$ frei und treibt nun ihrerseits die Pendel auseinander.

Lehrreich gestaltet sich auch der Versuch nach der zweiten Anordnung, die in Abb. 305 abgebildet und wohl ohne besondere Erklärung ver-

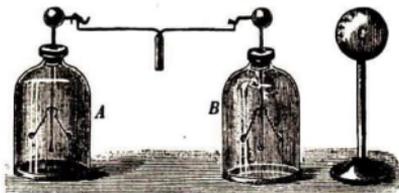


Abb. 305. Nachweis der Influenz mit 2 Elektroskopen

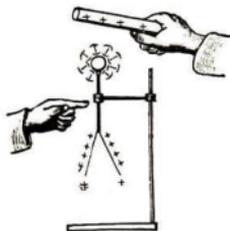


Abb. 306

ständig ist. (Nach Abheben des „Bügels“ erweist sich das eine Elektroskop positiv, das andere negativ geladen.)

2. Schülerübung am Elektroskop (Abb. 306).

a) **Halte über dein Elektroskop einen positiv geladenen Glasstab!** [Ergebnis: Sofort spreizen sich die Pendel.] Grund: Der Knopf ist negativ elektrisch geladen, die Pendel positiv. Erstere Elektrizität ist gebunden, letztere frei und möchte entweichen.

b) Berühre nun den Hals des Elektroskops mit dem Finger (ohne den genäherten Stab wegzunehmen)! [Ergebnis: Es entweicht die freie positive Elektrizität der Pendel; diese klappen zusammen.]

c) Nun Finger weg! Dann Stab weg! [Ergebnis: Die gebundene **negative Elektrizität des Knopfes wird frei**, geht auch in die Pendel, die sich nun spreizen.] Folgerung:

|| Durch **Influenz** eines elektrischen Stabes kann man ein
|| neutrales Elektroskop **ungleichnamig** laden.

§ 83. Der Elektrophor (1780)

1. Der Elektrophor besteht aus zwei Teilen: a) aus dem **Kuchen A** (meist einer dünnen Hartgummischeibe) und b) aus dem **Schild S** (einer runden Metallscheibe an einem isolierenden Griff) (Abb. 307).

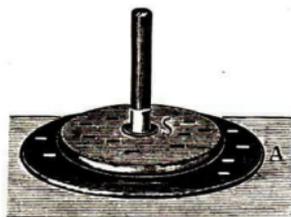


Abb. 307. Der Elektrophor

Auf der Unterseite des Kuchens befindet sich meist ein **Belag** aus Stanniol, um einen guten Anschluß an den Tisch zu haben.

2. **Gebrauch.** Man legt den Kuchen auf den Tisch und reibt ihn mit Wolle;

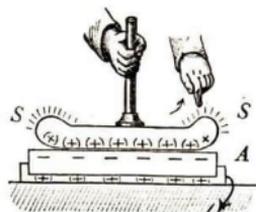


Abb. 308. Vorgang der Scheidung

dadurch bekommt der Kuchen eine negative Ladung.

a) Nähert man ihm nun von oben den **Schild**, so tritt auf diesem eine elektrische Scheidung ein: der Schild wird

unten positiv

oben negativ

elektrisch. Erstere Elektrizität wird vom Kuchen gebunden; letztere ist frei und entweicht in die Erde, wenn man den Schild mit dem Finger berührt (**1. Funke**). Finger alsdann weg!

b) Hebt man nun den Schild hoch, so wird die auf ihm bisher gebundene +El. frei und kann zur Ladung eines Konduktors verwendet werden (**2. Funke**).

Der eben beschriebene Vorgang kann, ohne daß man die Ladung des Kuchens erneuern muß, **beliebig oft** wiederholt werden.

Daß die Kuchenladung nicht verlorengeht, dafür dient ein **Beleg**. In diesem wird (+) Elektrizität influenziert, die ihrerseits die Ladung des Kuchens bindet (= verankert).

§ 84. Die Reibungselektroskopmaschine

1. Die Reibungselektroskopmaschine beruht auf dem Satz, daß beim Reiben zweier Körper der eine +el., der andere -el. wird. Sie weist zwei Hauptteile auf:

- a) eine runde Glasscheibe, die man mit einer Kurbel herumdrehen kann;
- b) ein Reibzeug R , bestehend aus zwei mit Amalgam bestrichenen Lederlappen, die durch eine Klammer an die Scheibe gepreßt werden.

2. Vorgang. Beim Drehen der Scheibe reibt sich das Reibzeug am Glase. Dabei wird das Reibzeug negativ (ebenso der damit verbundene Konduktor B), dagegen das Glas positiv elektrisch.

Die +El. auf dem Glase gelangt beim Weiterdrehen vor einen Saugrechen S , influenziert diesen, wobei sie aus dessen Spitzen fortgesetzt -El. zieht, mit der sie sich neutralisiert. Im Rechen und dem mit ihm verbundenen Konduktor A bleibt also +El. zurück. Es ist also stets:

Konduktor A positiv elektrisch

Konduktor B negativ elektrisch

Die Elektrizitätserzeugung ist beendet, wenn die elektrische Spannung des Konduktors A so groß ist wie die auf dem Glase. Weiteres Drehen ist dann unnütz.

Geschichtliches: Erfunden von Guericke (1653). Dieser benutzte eine drehbare Schwefelkugel und legte als Reibung die bloße Hand auf.

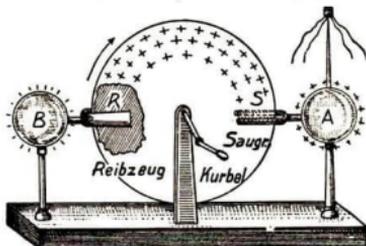


Abb. 309. Reibungselektroskopmaschine

§ 85. Die Influenzmaschine (1865)

1. Einrichtung. Die Influenzmaschine (Abb. 310) besteht aus zwei entgegengesetzt rotierenden Hartgummischeiden (die mit kleinen Stanniolsektoren beklebt sind).

Vor jeder Scheibe steht schräg (unter einem Winkel von $\sim 45^\circ$ gegen die Waagerechte) ein Anregerstäbchen Q , das in Pinseln p endigt. (Die beiden Anreger kreuzen sich senkrecht.)

Zur Abnahme der Elektrizitäten von den zwei Scheiben sind seitlich zwei Rechen R_1 und R_2 befestigt, die die übernommenen Elektrizitäten zu zwei Leidener Flaschen L_1 und L_2 führen.

Abb. 311 zeigt die Maschine von oben gesehen; S und T sind die zwei oberen Scheibenhälften mit den Stanniolteilchen ss und tt , Q_1 und Q_2 sind die Anreger, die in den Pinseln p_1 und p_2 endigen.

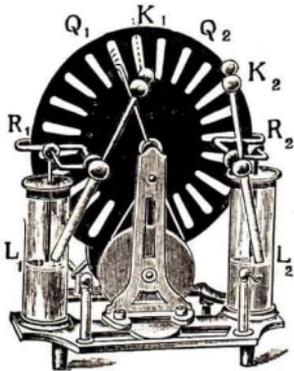


Abb. 310. Wimshurstmaschine

2. Vorgang der Selbsterregung (= Aufschaukelung der kleinen Anfangsladung).
a) Nehmen wir an, es flösse bei Beginn der Scheibendrehung aus dem Pinsel p_1 ein wenig $+El.$ heraus!

Dies kann man leicht erreichen, wenn man z. B. kurze Zeit p_1 gegenüber einen negativ elektrisch geladenen Hartgummistab hält, der durch Influenz aus p_1 die gewünschte $+El.$ herauszieht.

Diese $+El.$ fließt nun auf die hintere Scheibe (in Abb. 311), wird von dieser bei ihrer Drehung zum Rechen R_2 geführt und von R_2 in die Leidener Flasche L_2 geliefert.

b) Aber bevor sie abfließt, geht diese $+El.$ vor dem Pinsel p_2 vorüber und zieht aus diesem etwas $-El.$ heraus, die ihrerseits natürlich auf die vordere Scheibe fließt und von dieser dem Rechen R_1 und der Leidener Flasche L_1 zugeführt wird.

c) Diese $-El.$ hinwiederum zieht bei ihrem Vorübergang am Pinsel p_1 aus diesem $+El.$ heraus, die auf die hintere Scheibe fließend, von letzterer wieder an L_2 geliefert wird.

Dieser Vorgang wiederholt sich Zug um Zug bei jeder Drehung, wobei die elektrischen Brünlein p_1 und p_2 immer stärker und stärker fließen. —

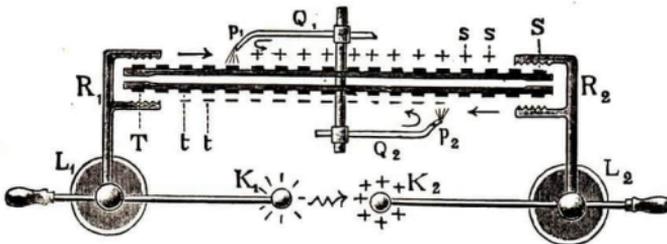


Abb. 311. Darstellung der Influenzmaschine, von oben gesehen

Ist schließlich die Ladung der Leidener Flaschen stark genug, so springt bei genügender Näherung der Konduktorstäbchen K_1 und K_2 ein Funke über, wobei sich die entgegengesetzten Ladungen der beiden Flaschen ausgleichen.

§ 86. Kondensatoren (1750)

Vorübung: Nähere die flache Hand der Platte eines geladenen Elektroskops! (Abb. 313.) [Ergebnis: Die Pendel gehen etwas zusammen; ein Teil der Ladung des Elektroskops wird von der Hand gebunden.]

1. **Vorrichtungen**, deren zugeführte Elektrizität zum größten Teil **gebunden** wird, heißen **Kondensatoren** (zu deutsch: Verdichter), da sie fähig sind, große Elektrizitätsmengen auf kleinem Raum aufzunehmen.

2. Ein solcher Kondensator ist die **Leidener Flasche**. Dies ist eine Flasche, die innen und außen bis etwa $\frac{2}{3}$ der Höhe mit Stanniol belegt

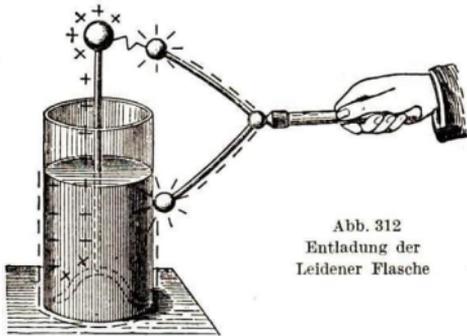


Abb. 312
Entladung der
Leidener Flasche

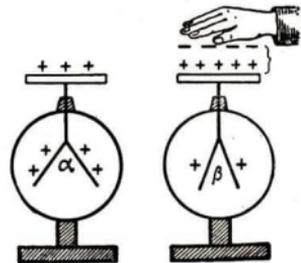


Abb. 313

ist. Geladen wird der innere Beleg mit Hilfe eines Metallstäbchens, das oben in einen Knopf endigt. — Soll die Flasche wirksam sein, so muß der **äußere Beleg geerdet** werden! (Er wirkt wie die genäherte Hand.)

Der Elektrotechniker benutzt statt der Flasche eine Glas- oder Hartgummiplatte, die beiderseits mit Stanniol belegt ist, das aber nicht bis zum Rand reichen darf. [**Franklinsche Tafel**; **Blockkondensator**.]

3. **Den Vorgang der Ladung** kann man sich in zwei Abschnitte zerlegt denken. a) Wir denken zunächst den **äußeren Beleg entfernt**. Dann ist der innere Beleg ein **einfacher Konduktor**, der von der ladenden Elektrifiziermaschine eine gewisse mäßige Elektrizitätsmenge **+El.** aufnimmt.

Dabei nimmt er die Maschinenspannung an, z. B. 50000 Volt.

b) Ist der **äußere Beleg vorhanden**, so **influenziert** der innere Beleg den äußeren, scheidet darauf **\pm El.**, wobei die **abgestoßene +El.** in die Erde entweicht, während die **angezogene -El.** den größten Teil der inneren Ladung Elektrizität bindet, so daß von der inneren Ladung meistens nur ein **sehr geringer Bruchteil freibleibt**. Die Folge ist ein

starker Spannungsrückgang auf dem inneren Beleg (z. B. von 50000 Volt auf 0,5 Volt). Daher kann von der ladenden Elektrisiermaschine erneut Elektrizität zum inneren Beleg der Flasche fließen.

Merke: Die geerdete Leidener Flasche wirkt bei Ladung durch eine Maschine wie eine ungeheuer viel größere Konduktorkugel. Daher Vorsicht!

Die kleinen **Blockkondensatoren** mit der Aufschrift 1000 cm wirken schon wie Messingkugeln vom Halbmesser 1000 cm (= Haushöhe).

4. Ein Kondensator wird entladen, indem man seine beiden Belege mit Hilfe einer Entladergabel (Abb. 312) verbindet. Dabei gleichen sich die entgegengesetzten Ladungen der Belege durch einen glänzenden Funken aus.

5. Geschichtliches. Die Leidener Flasche wurde durch Zufall vom Domherrn **Kleist** in Pommern erfunden (1750).

Kleist wollte einen billigen Konduktor haben. Als solchen benutzte er ein dünnwandiges, mit Wasser (später mit Quecksilber) gefülltes Medizinfläschchen, durch dessen Pfropf ein Nagel zum Wasser führte. Er umfaßte das Fläschchen beim Laden mit der ganzen Hand [= geerdeter Beleg!] und glaubte, es nehme nur wenig Elektrizität auf, da es klein sei. Bei der Entladung erhielt er aber einen so kräftigen Schlag, daß er vor Schreck zu Boden fiel. — **Cuneus** in Leiden (Holland) stellte zuerst solche Flaschen zu Versuchen her.

§ 87. Versuche mit der Elektrisiermaschine

1. Die Elektrizität sitzt nur auf der Außenfläche eines Leiters. Dieses zeigt der Käfigversuch von Faraday (1830). Vgl. Abb. 314!

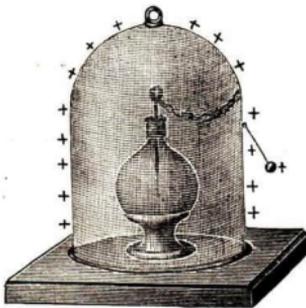


Abb. 314. Käfigversuch

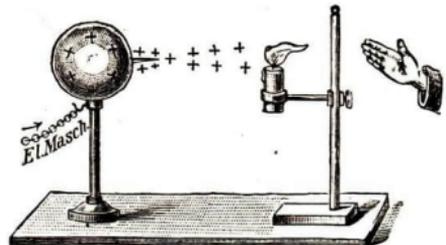


Abb. 315. Elektrischer Wind

Stelle ein Elektroskop in einen Drahtkäfig, der unten metallischen Abschluß hat und der isoliert aufgestellt ist! Das Elektroskop sei durch einen Metalldraht mit dem Drahtgitter verbunden. Es zeigt auch bei stärkster Elektrisierung des Käfigs keinen Ausschlag.

Man kann außen Funken aus dem Käfig ziehen, das innere Doppelpendel bewegt sich nicht.

2. Die Elektrizität fließt aus Spitzen aus, wenn eine mäßige Spannung überschritten wird. Es entsteht dabei der **elektrische Wind** und im Dunkeln zeigt sich an den Spitzen elektrisches Büschellicht (wenn +El. ausfließt) oder Glimmlicht (wenn -El. ausfließt). (**Spitzenwirkung**.)

Versuche: Umblasen einer Flamme durch den elektrischen Wind gemäß Abb. 315. (Den Wind spürt man auch mit der Hand.) — Betrieb des elektrischen Flugrades (Abb. 317).

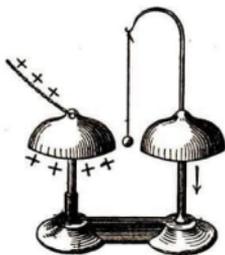


Abb. 316. Glockenspiel

3. Die Elektrisiermaschine liefert einen Funkenstrom. Der elektrische Funke bezeichnet jene schmale Bahn im Isolator, worauf der Ausgleich der entgegengesetzten Elektrizitäten erfolgt. Längs dieser Bahn gerät der Isolator ins Glühen oder Leuchten (Blitztafel).



Abb. 317

Elektr. Flugrad

a) **Wärmewirkung.** Der Funke

vermag Leuchtgas und Schießbaumwolle zu entzünden.

Pulver wird erst nach Einschaltung einer feuchten Sehnur in die Elektrizitäts-zuleitung entzündet.

b) **Mechanische Wirkung.** Der Funke durchlöchert Papier und zertrümmert Glas.

Papier zeigt an der Durchgangsstelle beidseitig aufgeworfene Ränder. — Erkläre das elektrische Glockenspiel (Abb. 316)! — Das Sträuben der Papierbüschel in Abb. 309! — Den Korkkugeltanz (Abb. 294)!

c) **Chemische Wirkung.** Der Funke verdichtet bei seinem Durchgang durch die Luft den Sauerstoff durch chemische Umlagerung zu **Ozon** ($3 O_2 = 2 O_3$).

Diese Ozonisierung macht sich durch einen eigentümlichen Geruch bemerkbar.

d) **Physiologische Wirkung.**

Versuch: Ein Schüler stelle sich auf den Isolierschemel und fasse eine Kette (Goldschnur) an, die mit dem einen Pol der Elektrisiermaschine verbunden ist. Es lassen sich dann Funken aus dessen Kleidern ziehen.

Geht der Funke durch unseren Körper, so zucken die Muskeln zusammen. Sehr starke Funken erzeugen Brandwunden und Lähmungen,



Abb. 318. Funkenziehen

zuweilen wirken sie tödlich. (Vorsicht bei Leidener Flaschen und elektrischen Zentralen.)

e) Lichtwirkung. Versuch mit der Blitztafel (Abb. 319) und mit den Geißlerschen Röhren (Abb. 320).



Abb. 319. Blitztafel

Letztere sind Röhren, die **hochverdünntes Gas** enthalten. (Dieses leitet die Elektrizität.) Beim Durchgang der Elektrizität leuchten verschiedene Gase in verschiedenen Farben und geben zu schönen Lichteffekten Anlaß.

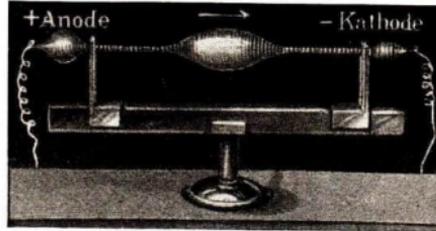


Abb. 320. Geißlersche Röhre

Ist verdünnte atmosphärische Luft in der Röhre, so leuchtet die **Anode** (= Eintrittsstelle der **positiven** Elektrizität) rötlich, während sich die **Kathode** (= Eintrittsstelle der **negativen** Elektrizität) blau umsäumt.

§ 88. Elektrische Ladung der Luft. Blitzableiter

1. Die Luft ist gewöhnlich **positiv** elektrisch geladen; die elektrische Spannung nimmt mit der Höhe zu. (Nahe der Erde ist sie gering, wegen der Berührung mit der leitenden Erde.)

a) Zum **Nachweis** führt man einen isolierten Draht einige Meter hoch empor. Sein unteres Ende verbindet man mit einem Elektroskop, sein oberes halte man an einem isolierenden Griff in eine Flammenspitze. [Das Elektroskop ladet sich!]

b) **Franklin** ließ (1753) einen **Drachen** steigen, um die Ladung hoher Luftschichten zu prüfen. An der isoliert gehaltenen Drahtleitung war unten ein Schlüssel befestigt, aus dem er Funken ziehen konnte.

2. Zuweilen sind besonders die Wolken mit **gewaltigen** Elektrizitätsmengen geladen. Die Wolken influenzieren die Erde und ihre Ladung vereinigt sich von Zeit zu Zeit mit der angezogenen Influenzladung der Erde unter Durchbrechung der Luft durch einen oft meilenlangen Funken, den **Blitz**. Der fast plötzliche Ausgleich der Luftverdünnung längs der Blitzbahn ruft den **Donner** hervor.

3. Blitzableiter. Der Blitz schlägt gern in die höchsten Gegenstände ein. Diesen Gedanken benutzte **Franklin (1753)**, um dem Blitz eine unschädliche Bahn anzuweisen. Zu dem Zweck versieht man das zu schützende Gebäude mit einem **Blitzableiter**.

Dieser besteht aus einer Reihe von Aufgangstangen, die auf dem First des Daches angebracht und untereinander sowie mit der Erde leitend verbunden sind.

Am besten Anschluß an die Wasserleitung oder an einen langen in der Erde verlegten Draht, gegebenenfalls angeschlossen an Kupferplatten [= **Erdplatten**], die in der Erde versenkt sind.



Abb. 321

[Schutzkreis der Blitzableiter

Vom elektrischen Dauerstrom

§ 89. Galvanische Elemente (1790)

1. Woraus besteht ein galvanisches Element?

Vorübung: 1. Zerlege einen **Akkumulator!** Er besteht aus zwei Bleiplatten, von denen die eine mit braunem Bleisulfat überzogen ist. Sie stehen in 15prozentiger Schwefelsäure. — 2. Ein **Volta-Element** besteht aus einer Zink- und einer Kupferplatte in angesäuertem Wasser.

Ein galvanisches Element ist ein Gefäß, in dem zwei verschiedene Metallplatten in einer geeigneten Flüssigkeit stehen (Abb. 322).

2. Ein galvanisches Element hat einen positiven Pol und einen negativen Pol. Es zeigt sich nämlich, daß die eine Platte dauernd positiv, die andere dauernd negativ elektrisch geladen ist. Dies entdeckte **Volta 1790**. Die elektrische Spannung auf den Platten ist aber so gering, daß man zum Nachweis ein empfindliches Elektroskop braucht.

Meist benutzt man das **Quadranten-elektroskop** (Abb. 323). Es besteht aus

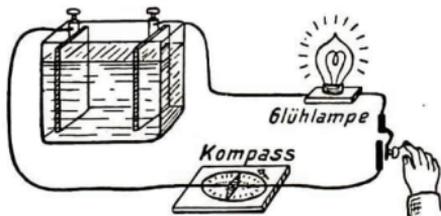


Abb. 322. Wirkung des elektrischen Stromes

einer Pendelscheibe P , die an einem Metallfaden waagrecht über 4 Metallquadranten schwebt. Von diesen sind je zwei gegenüberliegende, z. B. AA' positiv, BB' negativ, geladen.

Versuch: Verbindet man das Pendel leitend, z. B. mit der positiven Platte eines Akkumulators, so wird es positiv geladen und dreht sich etwas gegen das negative Quadrantenpaar BB' . Die Drehung wird weithin sichtbar gemacht, indem man durch ein Spiegeln

an dem man durch ein Spiegeln S , das am Faden des Pendels befestigt ist, einen Lichtstrahl gegen einen Maßstab reflektieren läßt.

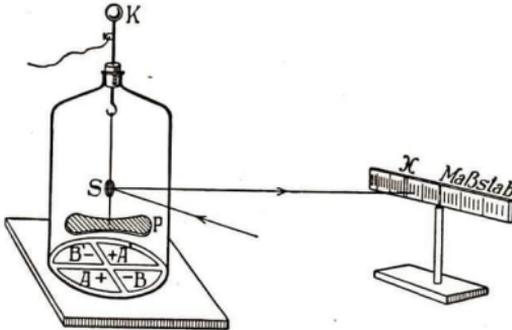


Abb. 323. Quadrantenelektrometer

Ergebnis: Die braune Platte des Akkumulators ist positiv elektrisch. — Ebenso die (rotbraune) Kupferplatte des Volta-Elements.

a) Beide Pole des galvanischen Elements haben einen festen Spannungsunterschied.

Der Spannungsunterschied beträgt bei einem Akkumulator **2 Volt**. (Danach kann man das Quadrantenelektrometer eichen.) Bei einem Volta-Element ist er nur halb so groß, also **1 Volt**. — Der Spannungsunterschied hängt von der Größe und Eintauchtiefe der Platten nicht ab.

b) Auffällig ist, daß sich die \pm El. der beiden Platten nicht sofort in der Flüssigkeit des Elements ausgleichen! Um dieses zu „erklären“ nimmt man an, daß beim Eintauchen der Platten in die Flüssigkeit eine elektrizitätscheidende Kraft auftritt, die man als **elektromotorische Kraft** (technische Abkürzung **EMK**) bezeichnet. Ihr Maß ist die am Quadrantenelektrometer abzulesende Spannungsdifferenz der Pole des Elements.

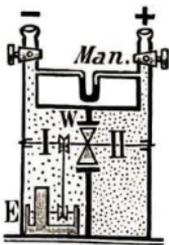


Abb. 324

3. Vergleich mit einem Luftstromapparat. In der Scheidewand W , die einen Kasten in zwei Teile I und II zerlegt, befindet sich ein Windrädchen (mit schiefgestellten Schaufeln), das durch einen Motor in dauernder Drehung erhalten wird. Dadurch wird Luft von I nach II hinüberschafft. Die Luft in I wird verdünnt, die in II verdichtet. Die verdichtete Luft strebt aber durch die Öffnungen zwischen den Flügeln des Rädchens nach I zurück. Dies wird durch die Drehung des Rädchens gehindert.

Hat aber die Verdichtung in II einen gewissen Grad erreicht, so ist der Rückdruck der verdichteten Luft so groß wie die luftbewegende (aerometrische) Kraft

des Rädchens. Wie lange also auch das Rädchen laufen mag, der **Druckunterschied**, der zwischen den Räumen *I* und *II* herrscht, wird dann nicht mehr weiter erhöht.

4. Das älteste galvanische Element ist das **Volta-Element** (Zink und Kupfer in verdünnter Schwefelsäure). **EMK = rund 1 Volt**. In der Technik beliebt sind die abgebildeten 2 **Zink-Kohle-Elemente**:

a) Das **Flaschenelement**. (Zink und Kohle in einem Gemisch von Schwefelsäure und gelblichbraunem Kaliumbichromat.) **EMK = 1,7 Volt**.

b) Das **Leclanché- oder Braunstein-Element**. (Zink und Kohle sind durch eine poröse Tonzelle getrennt; Zink steht in einer Salmiaklösung, Kohle in Braunstein.) **EMK = 1,4 Volt**. Verwendet zum Betrieb der Hausklingel; das Elementenglas ist vierkantig, um mehrere bequem nebeneinander stellen zu können.



Abb. 325
Flaschenelement

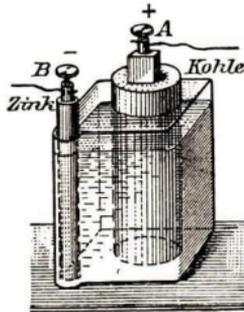


Abb. 326
Leclanché-Element



Abb. 327
Daniell-Element

Das **Daniell-Element**, das der Physiker wegen seiner Beständigkeit schätzt, enthält **Zink** in verdünnter Schwefelsäure und **Kupfer** in Kupfervitriollösung, beide getrennt durch eine poröse Tonzelle. **EMK = 1,08 Volt**.

Zink ist stets negativer Pol

5. Will man eine **höhere Spannung** erzielen, so schaltet man zwei oder mehrere galvanische Elemente **hintereinander** zu einer Batterie. Dabei muß man den positiven Pol des einen Elements mit dem negativen des folgenden verbinden (Abb. 328).

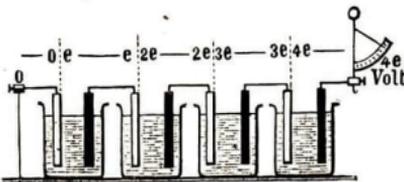


Abb. 328. Serienschaltung

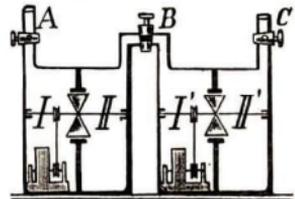


Abb. 329. Vergleich

Beispiel: 1 Akkumulator zeigt ~ 2 Volt Spannungsunterschied der Pole; zwei hintereinander geschaltete Akkumulatoren zeigen bereits 4 Volt. — **Nachweis** am Quadrantenelektrometer.

Vergleich: Werden zwei Luftstromapparate hintereinander geschaltet, wie Abb. 331 zeigt, so herrscht in II eine um e höhere Spannung als in I , ebenso in II' eine um e höhere Spannung als in I' . In II und I' herrscht aber dieselbe Spannung! Der Spannungsunterschied zwischen I und II' ist also $= 2e$, d. h. doppelt so hoch wie in einem Luftstromapparat!

6. Ein elektrischer Dauerstrom (galvanischer Strom) entsteht, wenn man die Pole eines galvanischen Elements leitend verbindet.

Vorübung: Schalte, wie Abb. 322 zeigt, eine kleine Glühlampe an einen Akkumulator! [Ergebnis: Sie brennt anhaltend.]

Es tritt im Draht fortgesetzt ein **Ausgleich** von \pm El. ein. Wie eine andauernd sprudelnde Quelle liefert dafür das Element fortgesetzt \pm El. nach; daher der Name **Stromquelle**.

Vergleich: Verbindet man die Ansatzstellen A und B des Luftstromapparates durch einen mit Watte oder Wolle lose gefüllten Schlauch und öffnet die Hähne bei A und B , so wird die Luft aus dem Raum II durch diesen Schlauch mehr oder minder rasch gegen den Raum I abströmen. Der Luftstrom ist ein andauernder, da ja das Windrädchen in steter Drehung durch den Motor erhalten wird. Ist der Schlauch eng und stark verstopft (= von großem Widerstand), so fließt wenig Luft in 1 Sekunde ab; ist der Schlauch weit, sehr locker gefüllt (= von kleinem Widerstand), so fließt viel Luft in 1 Sekunde ab.

Je höher die Spannungsdifferenz in den Räumen I und II , desto mehr wird Luft durch denselben Schlauch getrieben (Batterie).

7. Als Richtung des elektrischen Stromes gilt die Flußrichtung der positiven Elektrizität.

8. Den elektrischen Strom kann man nicht sehen; aber er macht sich durch seine **Wirkungen** kenntlich. Diese sind:

1. Licht- und Wärmewirkungen. (Denk an die elektrischen Glühlampen!)
2. Chemische Wirkungen (z. B. Verkupferung eines Schlüssels oder eines Kohlenstifts;

Abb. 331).

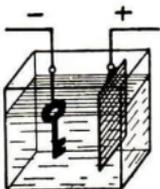


Abb. 330

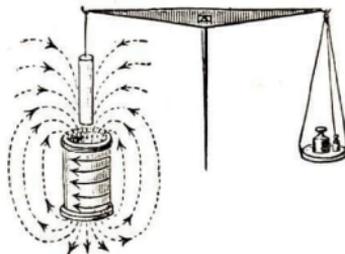


Abb. 331

Verbinde einen **Schlüssel mit dem negativen Pol**, eine Kupferplatte mit dem positiven Pol eines galvanischen Elements und setze beide in eine Lösung von Kupfervitriol! [Ergebnis: Der Schlüssel überzieht sich mit einer um so dickeren Kupferschicht, je länger man den elektrischen Strom durch das Bad gehen läßt.]

3. Magnetische Wirkungen. (Eine Drahtspule wird bei Stromdurchgang ein heftiger Magnet; Abb. 331.)
4. Motorische Wirkungen. (Denk an die elektrischen Bahnen!)

Diese Wirkungen wurden von den Physikern auf das genaueste untersucht. Wir wollen diesen Untersuchungen folgen, aber die chemischen Wirkungen voranstellen, da sie sofort zu einer sehr bequemen Strommessung führen.

Geschichtliches. Der italienische Arzt **Galvani** hatte auf dem Tisch seines Laboratoriums eine Elektrisiermaschine stehen. (Abb. 332 zeigt uns ein Bild aus *Galvanis* Bericht.) Während nun der eine

seiner Gehilfen spielenderweise daraus Funken zog, berührte der andere mit einem Messer zufällig den bloßgelegten Rückenmarksnerv eines Frosches. [Ergebnis: Der Frosch zuckte zusammen.] *Galvani* wollte diese Erscheinung zur Anzeige von Blitzen benutzen und hing dazu den Froschschenkel am Nerv mittels eines Kupferhakens an seinen eisernen Zaun. [Vermutung: Der Frosch muß zusammenzucken, wenn in der Ferne ein Blitz niedergeht.] Aber der Frosch zuckte schon jedesmal zusammen, wenn seine Zehe den Zaun berührte. [*Galvani* schloß, der Froschschenkel wäre eine mit tierischer Elektrizität geladene Leidener Flasche; der Zaun der Entlader.] — Erst **Volta** zeigte 1790, daß umgekehrt die Berührstelle zwischen Kupferhaken und Eisenzaun die Elektrizitätsquelle und der Frosch der Entlader ist.

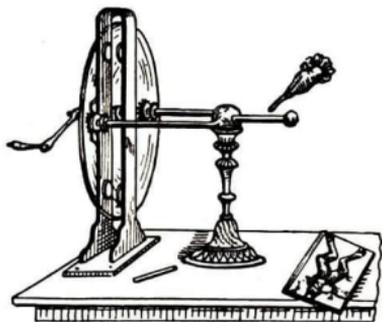


Abb. 332. Galvanis Tisch

§ 90. Chemische Wirkungen

Vorübung: Tauche die beiden Poldrähte in angesäuertes Wasser! [Es brausen sofort an beiden Drähten Gasbläschen auf.] Ergebnis:

1. Das Wasser wird vom elektrischen Strom in zwei Gase zersetzt. Zur genaueren Untersuchung dieser Gase dient der Hofmannsche Wasserzersetzungsapparat (Abb. 333).

Dieser besteht im wesentlichen aus zwei mit angesäuertem Wasser gefüllten kommunizierenden Röhren, in die von unten her zwei Platinbleche *A* und *K* ragen, Merke:

|| **Anode** heißt die mit dem **positiven** Pol verbundene Platte
 || **Kathode** „ „ „ „ **negativen** „ „ „ „

Beide Platten haben den Sammelnamen: **Elektroden**. Eine dritte Röhre wirkt nur als Ventilröhre; sie nimmt das Wasser auf, das bei der Gasentwicklung aus den beiden äußeren Röhren herausgepreßt wird.

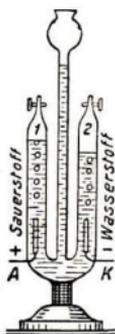


Abb. 333

Versuche: 1. Verbinde die Platinplatten *A* und *K* mit den Polen einer Batterie von 4 Volt Spannung (zwei Akkumulatoren hintereinander)! [Ergebnis: Es braust an der Anode nur **halb so viel** Gas auf als an der Kathode.] — 2. Halte in das Gas, das an der Anode entsteht, einen nur glimmenden Span! [Ergebnis: Er entflammt; das Gas ist also **Sauerstoff = Oxygenium**.] — 3. Halte ihn in das Gas, das an der Kathode entsteht! [Ergebnis: Das Gas brennt selbst mit heißer Flamme; es ist **Wasserstoffgas = Hydrogenium**.] Merke also:

a) Der elektrische Strom zerlegt das Wasser in

1 Raumteil Sauerstoff	+	2 Raumteile Wasserstoff
-----------------------	---	-------------------------

Daher die chemische Formel für Wasser H_2O .

b) Die Stärke des elektrischen Stromes heißt „**1 Ampere**“, wenn er imstande ist, in einer Minute **7 cm³** Wasserstoff abzuscheiden (bei Normalumständen). Merke also:

1 Ampere liefert in ... 1 min ... 7 cm³ Wasserstoff <small>bei 0° C und 76 cm Barom.</small>

Frage: Da sich der Wasserstoff an der **negativen** Kathodenplatte abscheidet, wie muß er geladen sein? [Antwort: Elektropositiv!] — Da der Sauerstoff an der **positiven** Platte erscheint, wie ist dieser geladen? [Antwort: Elektronegativ!] Ergebnis:

c) Das Wassermolekül H_2O besteht aus zwei **elektrischen** Teilen: dem **elektropositiven** Wasserstoff und dem **elektronegativen** Sauerstoff. Beim Eintauchen der Elektrodenplatten tritt ein Wandern dieser Teile ein. Solche wandernde, elektrisch geladene Molekülstücke heißen **Ionen**; die dabei zerlegte Flüssigkeit heißt **Elektrolyt**, die elektrische Zerlegung **Elektrolyse**.

d) Reines Wasser wird vom elektrischen Strom **nicht zersetzt**. Man muß ihm etwas Schwefelsäure zusetzen, damit die Zerlegung eintritt. Daraus schließt man, daß der elektrische Strom eigentlich nur die Schwefelsäure zersetzt.

Vorgang: Das Molekül Schwefelsäure H_2SO_4 besteht aus dem positiven H_2 -Ion, das zur Kathode wandert und dort aufbraust (\uparrow), ferner aus dem negativen (SO_4)-Ion, das sofort ein benachbartes Wassermolekül (H_2O) heftig angreift, sich mit dessen H_2 wieder zu Schwefelsäure H_2SO_4 ergänzt, wobei O frei wird, der an der Anode aufbraust.

Da hierbei die vorhandene Schwefelsäure nie weniger wird, sieht es so aus, als habe der Strom das Wasser zersetzt. Tatsächlich wurde es durch SO_4 zerlegt. (Solche Nebenprozesse heißen **sekundäre Prozesse**.)

2. Elektrolyse einer Kupfervitriollösung zwischen Kupferelektroden. Taucht man die Elektrodenplatten in eine Lösung von Kupfervitriol (CuSO_4), das bekanntlich eine schöne blaue Farbe hat, so setzt sich an der Kathode Kupfer ab. Merke:

a) Metalle und Wasserstoff wandern mit dem Strom (\rightarrow) zur negativen Platte (Kathode).

Alle Metall-Ionen sind daher positiv elektrisch.

b) Der Strom 1 Ampere liefert in 1 min $\frac{1}{50}$ g Cu.

Vorgang: (Abb. 334.) Das Molekül des Kupfersulfates CuSO_4 besteht aus dem positiven Cu-Ion, das mit dem Strom zur Kathode wandert

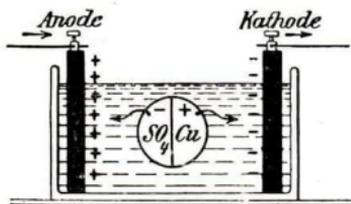


Abb. 334. Elektrolyse von CuSO_4

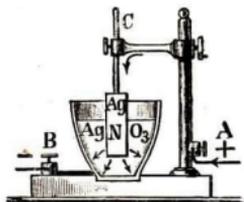


Abb. 335. Silbervoltameter

und dort sich **absetzt**; ferner aus dem negativen (SO_4)-Ion, das zur Anode wandert, dort sich mit dem Kupfer der Anode wieder zu CuSO_4 verbindet. Die Folge ist: Die Anodenplatte wird dünner, die Kathodenplatte dicker, die CuSO_4 -Lösung bleibt konzentriert.

3. Silberausscheidung (Abb. 335). Aus einem Silberbad (Silbersalzlösung) scheidet ein Strom von

1 Amp in 1 sek 1,118 mg Silber

ab. Dient zur genauen Stromstärkenmessung.

Erkläre Abb. 335! Als Anode dient ein Silberstift (warum?), als Kathode eine abnehmbare Platinschale, als Silberbad eine Lösung von Höllenstein AgNO_3 .

4. Das Wandern der Metall-Ionen zur Kathode findet Verwendung:

a) in der Metallplattierung (Galvanostegie), d. h. wenn man einen Gegenstand vergolden, versilbern, vernickeln will.

Verfahren: Hänge den Gegenstand als **Kathode** in ein Gold-, Silber-, Nickelbad (d. i. eine Lösung eines Gold-, Silber-, Nickelsalzes). Als Anode benutzt man Gold-, Silber- bzw. Nickelblech.

b) in der Galvanoplastik zur Herstellung **abnehmbarer** Kupferhohlformen von Gegenständen.

Verfahren: Stelle zunächst von der Münze usf., oder was sonst in Cu abgebildet werden soll, einen **Abdruck** in Gips oder Guttapercha her (Negativ) und bestäube diesen mit **Graphitpulver** (um ihn leitend zu machen). Diesen Abdruck hänge man als **Kathode** in ein Kupferbad. Bei Stromdurchgang bildet sich darauf eine **abnehmbare** Kupferschicht (Positiv).

c) Zur Reingewinnung von Metallen. Unreine Metalle löst man in Säuren auf und scheidet daraus durch Elektrolyse das reine Metall ab. (Reinkupfergewinnung.)

5. Herstellung eines Akkumulators (Abb. 336). Man setzt zwei Bleiplatten A, B in 15prozentige Schwefelsäure und läßt einige Zeit den



Abb. 336. Herstellung des Akkumulators

elektrischen Strom einer Batterie von zwei hintereinander geschalteten Elementen hindurchgehen. Nach Ausschaltung des Stromes ist der Akkumulator gebrauchsfertig (man sagt, er ist geladen).

Zieht man die Platten heraus, so ist die eine unverändert, die andere hat einen schokoladebraunen Überzug von **Bleisulfat** erhalten. — Grund: Die Schwefelsäure H_2SO_4 hat sich zersetzt: H_2 wandert zur Kathode und braust dort auf [Platte bleibt unverändert], das SO_4 wanderte zur Anode, verband sich mit ihr zu **PbSO₄** (Bleisulfat).

Eigentümlicherweise gibt der Akkumulator Strom ab, der dem Ladestrom entgegengesetzt ist. Es sieht so aus, als ob der Ladestrom in dem Akkumulator aufgespeichert wäre und bei der Entladung wieder entweichen möchte.

Solchen Gegenstrom nennt man **Polarisationsstrom**

Mit dem so hergestellten Akkumulator kann man schon einige Zeit „klingeln“.

§ 91. Licht- und Wärmewirkungen

1. Der elektrische Strom erwärmt den Leiter, durch den er fließt. Dies zeigt uns ja jede Glühlampe.

Versuch: (Abb. 337.) Ein etwa 1 m langer Lamettfadens wird über eine kleine mit Zeiger versehene Rolle geführt. Die freihängende Klemme B dient zur Spannung des Fadens. Leitet man Strom hindurch, so verlängert sich vermöge der Erwärmung der Draht und bewegt die Rolle.

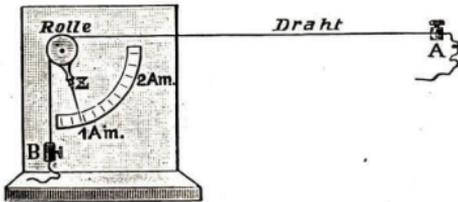


Abb. 337
Nachweis der Erwärmung

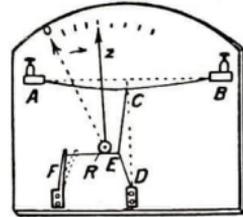


Abb. 338. Hitzdrahtinstrument

3. Bei zu großer Erwärmung schmilzt der Leiter durch. Praktisch verwendet bei den sog. Bleisicherungen.

Versuch: Man schalte in den Stromkreis einer Batterie von 4 Elementen ein 10 cm langes Stück Lamettfadens: bei Stromschluß blitzt es auf und schmilzt ab.

4. Die Lichtwirkung wurde zuerst vom Amerikaner *Edison* 1879 praktisch verwertet in der elektrischen Glühlampe. Diese beruht auf dem Glühen eines dünnen Metall- (früher Kohle-) Fadens in einer Glasbirne, die entweder luftleer gemacht ist, oder die wenigstens keinen Sauerstoff enthalten darf, damit der Faden nicht verbrennt.

a) Die Zuleitung durch das Gas hindurch geschieht mittels zweier Platindrahtstückchen, da Platin und Glas gleiche Ausdehnung haben.

b) Die gebräuchlichen Glühlampen in den Städten bedürfen zum normalen Glühen einer Spannung von **110 Volt** [= 55 Akkumulatoren]. Kürzere Stücke des Glühfadens erfordern entsprechend geringere Spannung zum Glühen. (Denk an deine kleine elektrische Taschenlampe!)

5. Das elektrische Bogenlicht entsteht, wenn man zwei in ihren Spitzen einander berührende Kohlenstäbchen mit den Polen einer

Batterie von mindestens **40 Volt** Spannung (20 Akkumulatoren) verbindet und dann auf $\frac{1}{2}$ bis 1 cm Abstand auseinanderzieht (Abb. 341). Zwischen den Spitzen bildet sich dann der **Davysche Flammenbogen**,

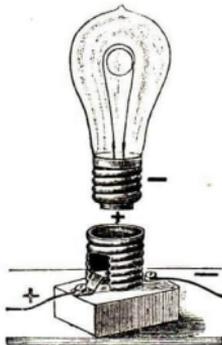


Abb. 339
Glühlampe mit Edisonfassung

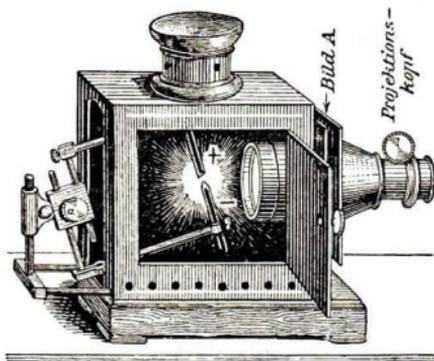


Abb. 340. Projektionsapparat mit Bogenlicht

der eine Temperatur von $\sim 3000^\circ C$ hat. Die Kohlenspitzen geraten dadurch in Weißglut und senden blendend starkes Licht aus.

Der **Davysche Flammenbogen** besteht wegen seiner Hitze aus sehr verdünntem Gas, das (wie die Versuche mit den Geißlerschen Röhren zeigen) die Elektrizität leitet.

a) Die **positive Kohle** brennt schneller ab als die negative; sie wird daher in der Praxis **dicker** gewählt als letztere.

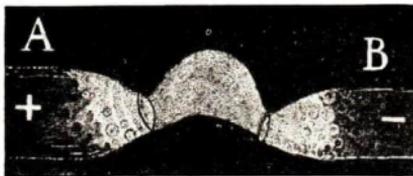


Abb. 341. Der Flammenbogen

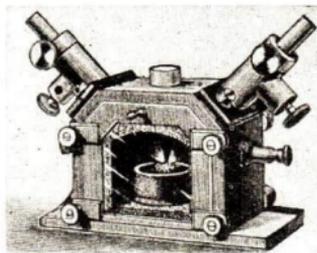


Abb. 342. Elektr. Schmelzofen

b) Wegen des Abbrandes der Kohlen muß eine stetige **Regulierung** des Kohlenabstandes durch Handbetrieb (Abb. 340) oder durch geeignete selbsttätige Vorrichtungen stattfinden.

Verwendet zur **Beleuchtung** von Straßen und Sälen und zum Betrieb der Projektionsapparate. Die Hitze des Davyschen Flammenbogens findet auch Verwendung zum **Schmelzen** (Abb. 342).

6. Zur elektrischen Zimmerheizung benutzt man Kryptolplatten (bestehend aus Graphitpulver mit Ton und Karborund vermengt), die bei Stromdurchgang heiß werden.

Die elektrischen Bügeleisen enthalten als Heizkörper einen auf Asbest gewickelten dünnen Metalldraht.

§ 92. Magnetische Wirkung

1. Hat der galvanische Strom eine magnetische Wirkung? Dazu müssen wir den Strom über eine Magnetnadel führen.

|| Ergebnis: Der Strom sucht die Nadel senkrecht zu seiner Richtung zu stellen.

(Abb. 343.) Entdeckt 1820 vom Dänen *Örsted*.



Abb. 343

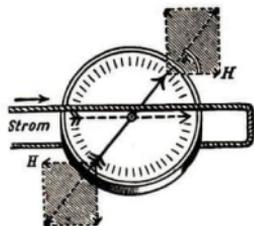


Abb. 344. Kräfte *S* und *H*

a) Die Ampèresche Schwimmregel. Der Franzose *Ampère* studierte diese Ablenkung genauer und fand folgende Regel:

„Denkt man sich mit dem elektrischen Strome schwimmend und sieht gegen die Magnetnadel, so weicht deren Nordpol nach links aus.“

b) Der Techniker benutzt lieber die Rechte Daumenregel:

Hält man die rechte Hand so, daß der Zeigefinger die Stromrichtung angibt und die innere Handfläche der Nadel zugekehrt ist, so gibt der ausgespreizte Daumen die Richtung an, nach der der Nordpol ausweicht.

Anmerkung. Die Magnetnadel kann sich bei obigem Versuch nie ganz senkrecht zum Stromleiter stellen, da auf die Nadelpole auch noch die erdmagnetische Kraft *H* wirkt (Abb. 344).

2. Das Magnetfeld kann mit Eisenfeilspänen untersucht werden (Abb. 345). Man steckt hierzu den Stromleiter durch ein Brettchen und bestreut dieses mit Eisenfeilicht. Nach Erschütterung der Unterlage ordnen sich die Späne in konzentrischen Kreisen um den Strom an. — Die Richtung der Kraftlinien erfährt man, wenn man kleine Bussolen ins Feld setzt.



Abb. 345

- a) Die **magnetischen Kraftlinien** eines galvanischen Stromes verlaufen **konzentrisch** um diesen.
 b) Ihre Richtung gibt die **Korkzieherregel** an:

Schraubt man einen Korkzieher im Sinne des Stromes im Stromleiter vorwärts, so gibt sein Drehsinn die Richtung der magnetischen Linien an.

3. Besonders kräftig ist die magnetische Wirkung einer Stromspule. Dies haben wir bereits in § 89 (Abb. 331) gesehen.



Abb. 346

Schülerübung: 1. Schließ eine Drahtspule an einen Akkumulator an! Nähere ihren Enden eine kleine Bussolle! [Ergebnis: Das eine Ende ist nordpolar, das andere südpolare.] — 2. Halte eine stählerne Schreibfeder in das Spulenninnere! [Ergebnis: Sie wird hineingezogen und schwebt darin frei.]
 Ergebnis:

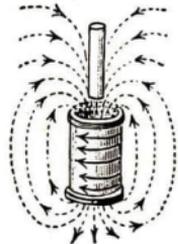


Abb. 347. Stromspule

a) Eine **Stromspule** wirkt wie ein **Magnetstab**. Ihre magnetischen Kraftlinien durchströmen das Röhreninnere, treten büschelförmig beim nordpolaren Ende aus und beim südpolaren Ende wieder ein.

b) Die **Polarität** der Enden gibt die **Uhrzeigerregel**.

Diese lautet: Der Nordpol wird vom Strom entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn umflossen.

c) Der **Vorteil der Stromspule** vor dem Magnetstab besteht darin, daß auch ihr inneres Magnetfeld frei zur Verfügung steht. Dieses wird ausgenutzt beim **Federampereometer** von *Kohlrausch* (Abb. 348).

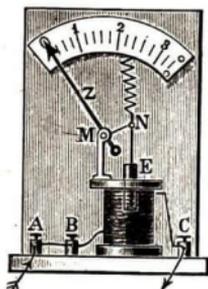


Abb. 348. Federampereometer nach Kohlrausch

Hierbei hängt ein Eisenstäbchen an einer Spiralfeder in eine Drahtspule. Bei Stromschluß wird die Spule magnetisch und zieht das Eisenstäbchen mehr oder weniger in die Spule hinein. — Eichung nach Ampère.

4. Die Wirkung der Stromspule wird **hundertfach verstärkt**, wenn man in ihr Inneres einen **Weicheisenkern** bringt. Dadurch entsteht der **Elektromagnet**.

a) **Erklärung.** (Abb. 349.) Geht ein galvanischer Strom über ein Stück Eisen, so suchen sich dessen Molekularmagnete (wie kleine Magnetnadeln) senkrecht zum Strom zu stellen. Ergebnis: Sie ordnen sich. Durch diese Ordnung der Molekularmagnete wird das Eisen zum Magnet.

b) Die **Stärke** des Elektromagnets wächst mit der Drahtwindungszahl und mit der Stärke des elektrischen Stromes.

Die Magnetisierung hat ihre **Höchstgrenze** erreicht, wenn alle Molekularmagnete des Eisens geordnet sind. Eine weitere Erhöhung der Stromstärke ist dann zwecklos.

c) Um **beide Pole zum Tragen** heranzuziehen, gibt man dem Elektromagnet entweder Hufeisenform (Abb. 350) oder Mantelform (Abb. 351).

d) **Weiches Eisen** wird bei Unterbrechung des Spulenstromes sofort wieder unmagnetisch; Stahl bleibt Dauermagnet.

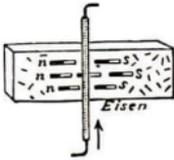


Abb. 349

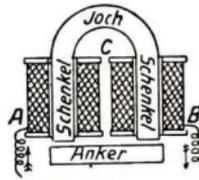


Abb. 350. Hufeisenmagnet

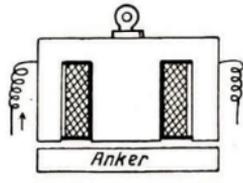


Abb. 351. Mantelmagnet

5. Legt man zwei Eisenstäbe in eine Spule, so fahren sie auseinander.

Grund: Beide werden an gleichwendigen Enden gleichpolar; gleichnamige Pole stoßen aber einander ab.

Darauf beruhen die **Uhrformamperemeter** (Abb. 352). Diese enthalten in einer pfenniggroßen Stromspule **zwei Eisenstreifen**, ein festes e_1 und ein bewegliches e_2 , an dem ein Zeiger angebracht ist. Vorgang: Bei Stromschluß wird die Spule magnetisch, also auch die beiden Eisenstreifen e_1 und e_2 in der Spule, die sich nun mit gleichen Polen abstoßen. [Eichung nach Ampère.] — Das Umfallen des Zeigers wird durch eine kleine Spiralfeder f verhindert.

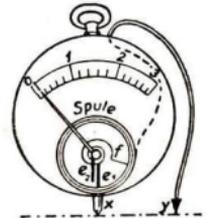


Abb. 352
Uhrforminstrument

§ 93. Galvanometer (Stromanzeiger)

1. Das **einfache Galvanoskop** (Abb. 353) besteht aus einer Drahtspule SS , die über eine Bussole führt.

Bei Gebrauch muß man das Ganze so drehen, daß der Drahtrahmen SS die Magnetnadel deckt. Sobald man nun galvanischen Strom durch die Spule schickt, weicht die Nadel nach der Ampèreschen Schwimmregel aus.



Abb. 353

2. Das **Vertikalgalvanometer** (Abb. 354) besteht aus

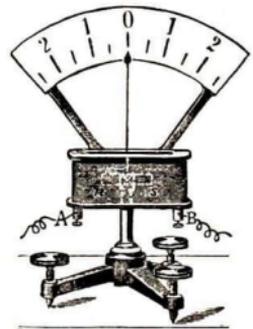


Abb. 354
Vertikalgalvanometer

einer senkrecht stehenden Drahtspule, in deren Innerem sich ein kleines Magnetstäbchen ns wie ein Waagebalken drehen kann. Am Magnetstäbchen ist ein Zeiger befestigt, der vor einer Skala spielt.

Als Zeichengeber (Taster, Schlüssel) dient ein Metallhebel, der beim Niederdrücken den elektrischen Strom schließt.

Vorgang: Schickt man einen elektrischen Strom durch die Spule, so weicht der Nordpol des Magnets gemäß der Ampèreschen Regel nach links aus. Bei **Stromumkehr** schlägt der Zeiger nach der anderen Seite aus.

Die Galvanometer geben dreierlei an: a) ob elektrischer Strom in einer Leitung fließt, b) in welcher Richtung er verläuft, c) ob er stark oder schwach ist. — Ein Galvanometer ohne Teilung heißt ein **Galvanoskop**.

§ 94. Klingel und Telegraph (1833)

1. Die elektrische Klingel weist drei Hauptteile auf:

- a) einen **Elektromagneten** E (Eisenkern E in Spule),
- b) einen **federnden Anker** (Hammer) H (der nahe der Glockenschale in einem Klöppel endigt),
- c) eine **Stellschraube** S , die (in x) den Hammer berührt.

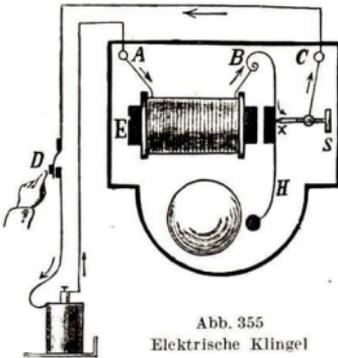


Abb. 355
Elektrische Klingel

Die **Stromleitung** führt vom positiven Pol der Batterie zur Klemme A , über die Spule des Elektromagneten dann zum Befestigungspunkte B des Ankers (= Hammers), über den Hammer zur Stellschraube S , zur Klemme C zurück zum negativen Pol der Batterie.

Vorgang: Ist der Drücker D geschlossen, so wird E magnetisch und zieht den Hammer H an. **Dadurch wird aber bei x der Strom unterbrochen**, E verliert seinen Magnetismus und läßt den Hammer H los. Dieser schwingt vermöge der Federkraft zurück und schließt den Kontakt

x von neuem. Dieser Vorgang wiederholt sich sehr rasch.

Dabei schlägt der **Klöppel** in rascher Folge gegen die Glockenschale, d. h. es klingelt. Dies währt so lange, als man den Drücker D geschlossen hält.

Läßt man Glockenschale und Klöppel weg, so entsteht der sog. **Wagnersehe Hammer** (neuerdings genannt **Summer**), der zur selbsttätigen Stromunterbrechung dient.

2. Der Schreibtelegraph nach **Morse** (1835) besteht aus zwei Teilen: dem Zeichengeber in der ersten und dem Zeichenempfänger in der zweiten Station.

Als Zeichenempfänger dient der sog. Morseschreiber, dessen Hauptteil ein Elektromagnet S ist.

Vorgang: Wird der Taster T in der ersten Station niedergedrückt, so wird der Strom geschlossen und der Elektromagnet S erregt. Indem dieser seinen Anker anzieht, wird gleichzeitig ein Schreibstift F gegen einen vorübergleitenden Papierstreifen gepreßt und so darauf ein Strich gezeichnet.

a) Der Papierstreifen wird durch zwei sich entgegengesetzt drehende Walzen WW erfaßt und von einer Papierrolle P heruntergezogen.

b) Je nachdem man den elektrischen Strom bei T längere oder kürzere Zeit geschlossen hält, entstehen auf dem Papierstreifen längere oder kürzere Striche. Letztere nennt man Punkte.

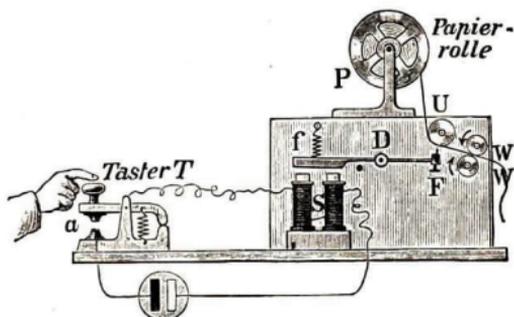


Abb. 356. Morse-Telegraph

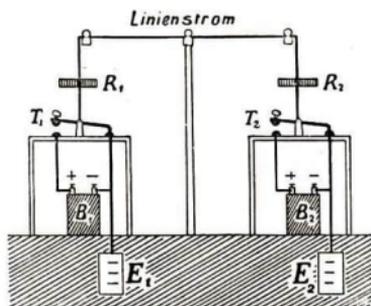


Abb. 357. Leitungsschema

Beim Telegraphieren auf größere Entfernungen wird zur Rückleitung des Stromes die Erde benutzt (**Erdleitung** entdeckt von *Steinheil 1838*).

Das **Hin- und Hertelegraphieren** erfolgt dabei gemäß Abb. 358 (R bedeutet den Morseschreiber).

Die Erdplatten E_1 und E_2 sind mit den negativen Polen der Batterien und mit den Ruhekontakten der Taster verbunden. Was geschieht, wenn man Taster T_1 niederdrückt? [Beide Morseschreiber R arbeiten.]

§ 95. Motorische Wirkung

1. Die laufende Stricknadel (Abb. 358). Man lege eine Stricknadel AB auf zwei Schienen I und II , die man mit den Polen eines Akkumulators verbindet. Sofort fließt Strom von A nach B . — Schieben wir nun über die Nadel noch einen **Hufeisenmagnet**, so haben wir zwei Magnetfelder:

a) das des Hufeisenmagnets, das in Abb. 358 von unten nach oben verläuft, b) das des Stromes, das gemäß der Korkzieherregel auf der linken Seite aufwärts, auf der rechten abwärts verläuft.

Links tritt hierbei eine **Verdichtung** der **Magnetlinien** ein, rechts eine Schwächung (bzw. Vernichtung) derselben. Es ist also zu erwarten, daß durch den größeren Druck der Magnetlinien links die Stricknadel von

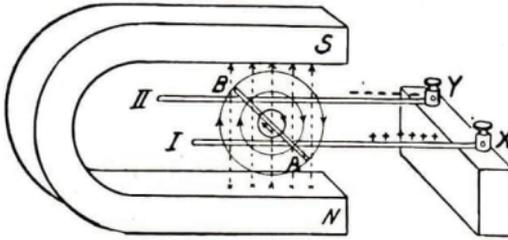


Abb. 358. Bewegung des Stromleiters AB im Magnetfeld



Abb. 359. Dreifingerregel

links nach rechts rollt. — Dies trifft zu! Diese rollende Stricknadel ist das Urbild der elektrischen Straßenbahn. Ergebnis: Ein elektrischer Strom wird senkrecht zu den Magnetlinien fortgetrieben.

Keht man die Stromrichtung oder das Magnetfeld um, so bewegt sich der Leiter entgegengesetzt. — Keht man beide zugleich um, so läuft der Leiter wieder in der früheren Richtung.

2. Die Richtung der Bewegung bestimmt der Techniker durch die Dreifingerregel für die **linke Hand** (Abb. 359).

Diese lautet: Man spreize die ersten drei Finger (Daumen, Zeigefinger, Mittelfinger) der linken Hand senkrecht voneinander und ordne ihnen nach dem Alphabet die Worte zu:

Bewegung Kraftlinie Strom.

Zeigt nun der dritte Finger die Stromrichtung, der zweite die Kraftlinienrichtung an, so gibt der erste die Richtung an, nach der sich der Leiter bewegt.

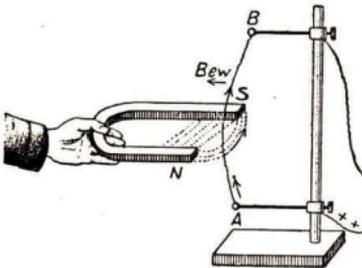


Abb. 360. Bewegung des Stromes

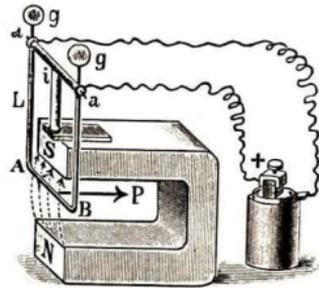


Abb. 361. Der Leiter L bewegt sich

3. Weitere einfache Versuche zeigen Abb. 360 und Abb. 361 an. Erkläre diese!

a) Abb. 360 zeigt eine Schülerübung mit einem Lamettafaden. Gib gemäß Korkzieherregel den Verlauf der Kraftlinien des Stromes in AB an! Auf welcher

Seite tritt in Abb. 360 die Verdichtung ein? Ist also der Bewegungspfeil richtig eingezeichnet?

b) Abb. 361 zeigt, wie man einen U-förmig gebogenen, in Ösen endigenden Kupferdraht L bequem zwischen den Polen eines Magnets aufhängt. Der Strom läuft von B gegen A . Korkzieherregel? Verdichtung wo? Ist der Bewegungspfeil richtig eingesetzt?

§ 96. Der Elektromotor

1. Teile. Der Elektromotor beruht auf der Bewegung eines Stromleiters in einem Magnetfeld. Er besteht aus zwei Teilen, einem Ständer und einem Läufer.

a) Der Ständer ist ein **Elektromagnet** mit festen Polen (N, S), der die Kraftlinien liefert.

b) Der Läufer oder **Anker** ist ein Eisenzylinder, der sich um eine Achse drehen kann und der eine **Drahtspule** trägt.

Der **einfachste Anker** ist der **Grammesehe Ringanker**. Dieser ist ein kurzer eiserner Rohrstutzen (Hohlzylinder; vergleichbar einer Manschette), der von innen nach außen ringsherum mit isoliertem Draht bewickelt ist. Dieser Draht bildet eine in sich geschlossene Ringspule.

c) Die **Stromzufuhr** zur Ankerspule geschieht durch zwei Bürsten oder **Schleiffedern** x, y , die auf blanken Stellen der Ankerspule schleifen (Abb. 362).

In Wirklichkeit schleifen die Schleiffedern nicht direkt auf den Windungen, sondern auf daran befestigten Kupferstreifen (**Lamellen** 1, 2, 3, 4 . . .), die auf einem kleineren Zylinder, dem **Kollektor**, angeordnet sind. Man vergleiche hierzu die Abb. 384!

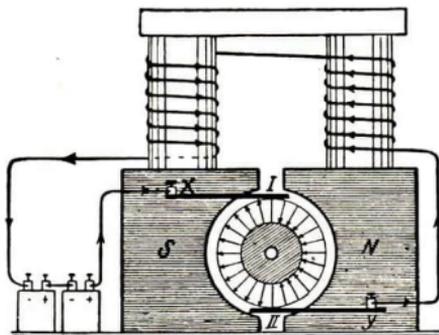


Abb. 362. Der Elektromotor mit dem Ringanker

2. Stromlauf. Der Strom geht aus vom positiven Pol der Batterie, geht durch die Schleiffeder x auf die Ringspule, wo er sich teilt. **Der eine Teil** fließt über den linken Teil der Ringspule, **der andere Teil** über den rechten Teil bis zur Schleiffeder y , von wo der Strom über die Schenkel des Elektromagnets zum negativen Pol der Batterie zurückführt.

Die Folge ist, daß in Abb. 362 der Ankerstrom vor dem Südpol S vom Beschauer weg, der Ankerstrom vor dem Nordpol N zum Beschauer her läuft. (Was erfährt jeder dieser Ströme in dem Magnetfeld, das sich zwischen N und S ausspannt? Korkzieherregel? Verdichtung wo?)

3. Vorgang. Bei Stromschluß erfahren die Drahtstücke (auf der Außenseite des Ankers) einen Antrieb in dem Magnetfeld des Elektromagneten, und zwar die Ströme vor dem **Südpol** (in Abb. 362) nach aufwärts (\uparrow), die Ströme vor dem **Nordpol** nach abwärts (\downarrow).

Diese entgegengesetzten Antriebe unterstützen einander und so kommt der Anker in Drehung.

Die **Drehung** ist anhaltend; denn verlassen die Schleiffedern ein Drahtstück, so berühren sie im nächsten Augenblick das folgende.

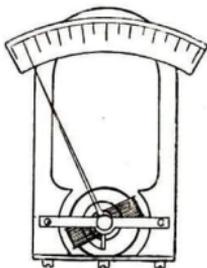


Abb. 363

Drehspulengalvanometer

4. Verwendung zum Betrieb der elektrischen Bahnen, von Handwerkermaschinen, Luftfächern (Ventilatoren) usw.

5. Das Drehspulengalvanometer (Abb. 363) enthält genau so wie ein Elektromotor eine drehbare Drahtspule zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets; nur wird hier die Drahtspule an der Dauerrotation durch eine Spiralfeder gehemmt.

Vorgang: Bei Stromdurchgang dreht sich also die Spule je nach Stromstärke um einen kleineren oder größeren Betrag. Um die Drehung sichtbar zu machen, ist am Anker ein Zeiger angebracht.

Um die **Skala gleichmäßig** zu gestalten, benutzt man hier einen festbleibenden Magnet (permanent) an Stelle des Elektromagnets des Motors.

§ 97. Motorische Wirkung von Strom auf Strom

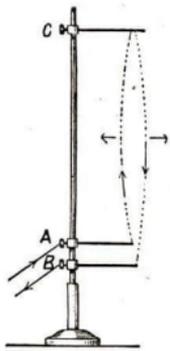


Abb. 364

1. Ampère fand das Gesetz:

- a) Parallele gleichgerichtete elektrische Ströme ziehen einander an.
- b) Parallele entgegengesetzt gerichtete elektrische Ströme stoßen einander ab.

Nachweis mit zwei stromdurchflossenen Lamettafäden gemäß Abb. 364.

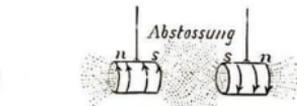


Abb. 365

2. Hierdurch kann man die **Anziehung** (bzw. **Abstoßung**) zweier stromdurchflossenen Spulen erklären. Sie ziehen einander an, wenn die

Ströme in beiden gleichgerichtet sind, stoßen einander ab, wenn die Ströme in beiden entgegengesetzt gerichtet sind.

3. *Ampères* Ansicht von einem Magnet. Da ein Magnet sich wie eine Stromspule verhält, so dachte sich *Ampère*, jedes Molekularmagnetchen sei von Natur aus stromumflossen. Magnete ziehen einander an bzw. sie stoßen sich ab, wenn ihre Ströme sich anziehen bzw. abstoßen.

Vom Ohmschen Gesetz

§ 98. Der Leitungswiderstand. 1 Ohm

* 1. Wie kann man einen galvanischen Strom schwächen?

Vorversuch. (Abb. 366.) Man schalte an eine Stromquelle ein Galvanometer und einen Vorschaltwiderstand, der gestattet, kürzere oder längere Drahtstücke in den Stromkreis einzuschalten. Ergebnis:

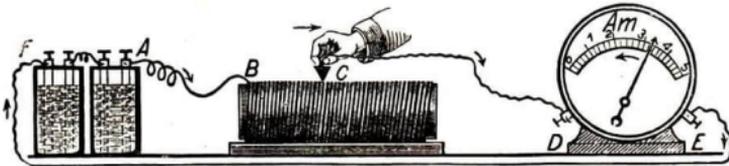


Abb. 366. Walzenrheostat

Das Galvanometer zeigt an, daß der Strom durch Einschaltung größerer Drahtlängen geschwächt wird.

2. Ein Rheostat (Vorschaltwiderstand) ist eine Vorrichtung, um rasch mehr oder weniger Draht in einen Stromkreis einschalten zu können. Abb. 366 zeigt einen Walzenrheostat, Abb. 367 einen Kurbelrheostat.

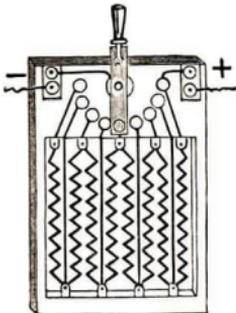


Abb. 367. Kurbelrheostat

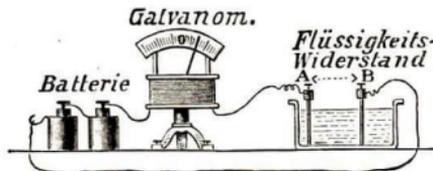


Abb. 368. Flüssigkeitswiderstand

Der Kurbelrheostat ist ein rechteckiger, mit Schiefer belegter Rahmen, auf dem Drahtspiralen im Zickzack ausgespannt sind. Diese endigen in Kontakten,

über die eine Kurbel schleift. Der Strom tritt beim 1. Kontakt ein und tritt stets durch die Kurbel aus. Je nach Stellung der Kurbel muß der Strom mehr oder weniger Spiralen durchlaufen.

3. Auch Flüssigkeitssäulen bieten dem elektrischen Strom einen Widerstand dar (Abb. 368).

1. Versuch: Entferne die Platten! [Der Leitungswiderstand wird größer.]

2. Versuch: Tauche die Platten tiefer ein! [Der Leitungswiderstand wird kleiner, d. h. durch dickere Säulen geht der Strom bequemer hindurch.]

3. Versuch: Die 2, 3... fache Länge kann absolut genau durch den 2, 3... fachen Eintauchquerschnitt ausgeglichen werden.

|| Gesetz. Der Widerstand ist der Länge direkt, dem Querschnitt umgekehrt proportional.

4. Ein Leitungsdraht hat den Widerstand 1 Ohm ($= \Omega$), wenn er denselben Widerstand hat wie ein 106 cm langer Quecksilberfaden von 1 mm² Querschnitt.

Versuch: a) Man zeige **1 Normalohm** vor! — b) Man schalte es in den Stromkreis eines Akkumulators! (wenn nötig: Beifügung eines Hilfswiderstandes). Merke den Ausschlag des Amperemeters! — c) **Ersetze** das Normalohm durch einen Eisendraht von 1 mm² Querschnitt und 10 m Länge! [Ergebnis: Derselbe Ausschlag.] — 1 m Eisendraht von 1 mm² Querschnitt hat also nur $\frac{1}{10} \Omega$ Widerstand.

5. Spezifischer Widerstand (s) ist der Widerstand eines 1 m langen Drahtes von 1 mm² Querschnitt. Merke: Der spez. Widerstand des Eisens ist $\frac{1}{10} \Omega$, des Kupfers nur $\frac{1}{55} \Omega$, einer Kupfersulfatlösung 240 000 Ω , der 15proz. Schwefelsäure 18 000 Ω . — Formel: Ein Draht von

1 m Länge und 1 mm ² Querschnitt hat den Widerstand $s \Omega$	
l m „ „ 1 mm ² „ „ „ „ „ $l \cdot s \Omega$	
l m „ „ q mm ² „ „ „ „ „ $l \cdot s : q \Omega$	

Daher die Formel zur Berechnung des elektrischen Widerstandes W :

$$W = \frac{l \cdot s}{q} (\text{Ohm})$$

Aufgaben

1. Berechne den Leitungswiderstand eines 2 mm² dicken Eisendrahtes von 10 km Länge! [Antw.: Da $l = 10000$ m, $q = 2$ mm², $s = \frac{1}{10}$, so ist $W = 500 \Omega$.]

2. Berechne ähnlich den Leitungswiderstand eines Kupferkabels von 110 km Länge und 5 mm² Querschnitt! [Antw.: 400 Ω .]

3. Wie groß ist der Widerstand eines Lamettafadens (Kupfer) von 55 cm Länge und $\frac{1}{10}$ mm² Querschnitt? [Antw.: 1,1 Ω .]
4. Wie groß ist der Widerstand eines Kupfervitriolbades, wenn die Elektrodenplatten 10 cm breit, 8 cm tief eintauchen und einen Abstand von 6 cm aufweisen? [Antw.: 1,8 Ω ; Obacht, der Eintauchquerschnitt ist in mm² zu geben!]

§ 99. Das Ohmsche Gesetz von der Stromstärke

Das *Ohmsche* Gesetz von der Stromstärke lautet (Abb. 366):

|| a) Die Stromstärke nimmt zu mit der elektromotorischen Kraft E der Stromquelle.

Je mehr Elemente man nimmt, desto größer wird der Ausschlag des Amperemeters (vgl. Abb. 366). Merke: Die Spannung im Element ist die **Triebkraft** aller elektrischen Bewegung.

|| b) Die Stromstärke nimmt ab mit der Vergrößerung des Widerstandes W der Stromleitung.

Je mehr Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet wird, desto geringer wird die Stromstärke. Der Widerstand wirkt **hemmend**.

Dabei ergab sich die einfache Rechenformel:

$$\boxed{\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}}$$

oder

$$\boxed{i = \frac{E}{W}}$$

|| Das heißt: Die Stromstärke ist gleich dem **Quotienten** aus **Spannung E** und **Widerstand W** .

Unter dem Widerstand W ist aber hier der Gesamtwiderstand des ganzen Stromkreises (wozu auch der innere Widerstand der Flüssigkeit der Elemente zählt) zu verstehen.

1. Beispiel: An einen Akkumulator schalte man eine Spule von 1 Ω und ein Amperemeter von 0,5 Ω Widerstand. Rechnung und Ablesung ergeben $i = \frac{2}{1,5} = 1,33$ Amp. Bei zwei Akkumulatoren das Doppelte. Bei Einschaltung von 2,5 Ω wird $J = 0,66$ Amp. usw.

2. Beispiel: Eine Glühlampe von 220 Ω Widerstand wird an eine Stromquelle von 110 Volt Spannung (= 55 Akkumulatoren) angeschlossen; welchen Strom läßt sie hindurch? [Antw.: $i = \frac{E}{R} = \frac{110}{120} = \frac{1}{2}$ Ampere.]

Aufgaben

1. An zwei hintereinander geschaltete Akkumulatoren (zu je 2 Volt Spannung und je 0,1 Ω innerem Widerstand) wird ein Federamperemeter von 0,8 Ω Widerstand angeschlossen. Wie groß ist die Stromstärke?

stand und ein Rheostat, der auf 3Ω eingestellt ist, geschaltet. Wie groß ist die vom Amperemeter angezeigte Stromstärke? [Antw.: 1 Ampere.]

2. Bilde selbst ein solches Beispiel für 3 Akkumulatoren.

3. Eine Metallfadenlampe hat 1100Ω Widerstand. Wieviel Strom läßt sie hindurch, wenn man sie an eine Netzspannung von 110 Volt anfügt? [Antw.: $i = 1/12$ Ampere.]

§ 100. Strom- und Spannungsmesser

1. Die Stromstärke ist in allen Teilen des Stromkreises dieselbe.

Wo man auch den Strommesser in den Stromkreis einschaltet, überall zeigt er denselben Ausschlag. — **Vergleich** mit dem Wasser in einem Ringkanal, das von einem Triebrad in Bewegung gesetzt wird.

2. Die Strommesser (Amperemeter) dürfen nur sehr geringen Eigenwiderstand haben, da sie, in den Stromkreis eingeschaltet, diesen ja durch ihren Widerstand nicht schwächen sollen.

3. Die Spannungsmesser (Voltmeter) sind gebaut wie die Amperemeter, nur zeigen sie einen ungeheuer großen Widerstand W (bis 20000Ω). Sie dürfen also nie in den Arbeitsstromkreis selbst eingeschaltet werden. Man legt sie nur im Nebenschluß an die Klemmen x, y jenes im Stromkreis befindlichen Apparates (Motor, Spule, Lampe, Heizapparat, elektrolytisches Bad), dessen Spannungsverbrauch E man gerade messen möchte. (Vgl. z. B. Abb. 370.)

Dann geht nur ein verschwindend schwacher Strom i_0 durch die 20000Ω des Messers. Wegen $i = E/W$ folgt $E = 20000 \cdot i_0$. Statt nun die sehr kleinen Amperezahlen i auf die Skala des Instrumentes zu schreiben, schreibt man darauf die 20000mal größeren Zahlen E , d. h. die Klemmenspannungen in Volt.

§ 101. Glühlampenschaltung. Watt

1. **Parallelschaltung.** Die normalen Glühlampen erfordern zum normalhellen Brennen die Netzspannung von **220 oder 110 Volt**.

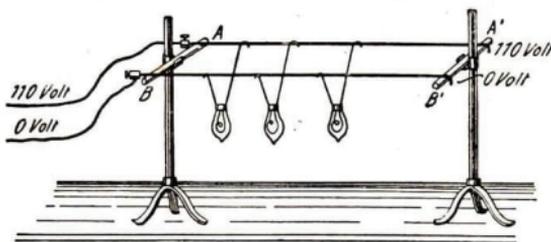


Abb. 369. Parallelschaltung von Glühlampen

Die kleinen 2-Volt-Lampen haben eben einen 110- bzw. 55mal kürzeren Faden, bedürfen also nur der 55mal kleineren Spannung von 2 Volt. Wie würdest du leicht eine 4-, 6-, 8-Volt-Lampe herstellen?

Zwischen zwei Drähten, die an eine Strom-

quelle von 110 Volt angeschlossen sind (Abb. 369), kann man nun beliebig viele gleiche **Lampenparallel** einhängen; alle brennen in normaler Helligkeit, da ja jede ihre **110 Volt Betriebsspannung** zur Verfügung hat. Dabei läßt jede den Strom:

$$i = \frac{110 \text{ Volt}}{W}$$

hindurch, wobei W der Widerstand der Lampe ist. Ist z. B. $W = 110 \Omega$, so ist $i = 1$ Ampere; eine solche Lampe heißt eine Amperelampe.

Der **Strom J in der Hauptleitung** ist dann so viele Ampere stark, als Lampen parallel geschaltet sind. Haben wir z. B. 6 Amperelampen eingeschaltet, so ist die

Spannung $E = 110$ VoltHauptstromstärke $J = 6$ Amp

2. Hintereinanderschaltung. Schaltet man aber 6 Amperelampen hintereinander, so braucht jede für sich, wenn man wünscht, daß sie normal brennen, 110 Volt; alle zusammen also **660 Volt**. Der durchgehende Strom ist dann

$$i = \frac{660 \text{ Volt}}{W + W + W + W + W + W} = \frac{110 \text{ Volt}}{W},$$

wenn wiederum $W = 110 \Omega$ ist, $i = 1$ Ampere, d. h. gerade jener Strom, den jede Lampe zum normalen Brennen braucht. Es fließt also der Strom von 1 Ampere nacheinander durch alle 6 Lampen. Die 6 Amperelampen benötigen also in der Hintereinanderschaltung die

Spannung = 6×110 VoltHauptstromstärke $J = 1$ Amp

Aufgabe: Mache dieselbe Überlegung für 10, 20, 30 Lampen!

3. Wärmeerzeugung durch Glühlampen. Die Versuche mit den Glühlampen lehren:

a) Im Fall 1 war die Spannung fest. Die Wärmewirkung kann man steigern mit der Zahl der eingehängten Glühlampen, d. h. sie wächst mit der Hauptstromstärke J .

b) Im Fall 2 war die Hauptstromstärke fest. Die Wärmewirkung kann man auch hier steigern mit der Zahl der hintereinandergeschalteten Lampen, also hier mit der verfügbaren Spannung E .

Ergebnis: Die Wärmemenge, die ein Strom liefert, wächst sowohl mit der **Stromstärke** als auch mit der **Spannung**; also kurz mit dem Produkt der

$$\text{Volt} \times \text{Ampere}$$

Statt Volt \times Ampere sagt man **Watt**.

Die 6 Amperelampen verbrauchten also in der Parallelschaltung 110 Volt \times 6 Ampere = **660 Watt**; in der Hintereinanderschaltung 660 Volt \times 1 Ampere = **660 Watt**, wie es sein muß; denn sie geben in beiden Fällen gleichviel Wärme.

4. Wieviel Wärme gibt 1 Watt? Diese Frage studierte der Engländer *Joule*; er fand (1843)

$$1 \text{ Watt} = 0,24 \text{ kleine Kalorien in 1 sek}$$

Schülerübung. (Abb. 370.) In einem mit 80 g Wasser gefüllten kleinen Zylinder befinde sich eine Heizspirale *S*. Wir schließen diese an einen Akkumulator und ein Amperemeter an. **Stromstärke $i = 3$ Amp** (siehe Abb. 370!). — Wir messen

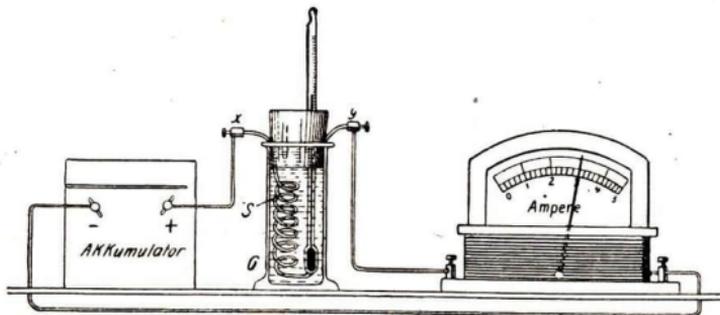


Abb. 370. Bestimmung des Wärmewertes von 1 Watt

mit einem Voltmeter die Spannung an den Klemmen *xy*; diese sei **1,2 Volt**. Wir lassen nun den Strom 10 Min. lang wirken und sehen, daß die Temperatur des Wassers um $6,5^\circ \text{C}$ steigt. Wir haben dann gewonnen in 1 sek

$$\text{die Wärmemenge} = \frac{80 \cdot 6,5 \text{ Kal}}{600 \text{ sek}} = 0,867 \text{ kal/sek}$$

$$\text{Die Zahl der Watt war} = 3 \text{ Amp.} \times 1,2 \text{ Volt} = 3,6.$$

Demnach erzeugte 1 Watt die Wärmemenge $0,867 : 3,6 = 0,24 \text{ kal/sek}$.

5. Beispiel. In einem Saal brennen 30 Stück 25kerzige $\frac{1}{2}$ -Watt-Lampen 8 Stunden lang; was betragen die Stromkosten, wenn die Kilowattstunde 50 Rpf. kostet?

Antwort: Eine 1kerzige Lampe verbraucht $\frac{1}{2}$ Watt, eine 25kerzige verbraucht $25 \cdot \frac{1}{2} = 12,5$ Watt; 30 Stück davon verbrauchen $30 \times 12,5$ Watt = 375 Watt; in 8 Stunden verbrauchen sie $375 \times 8 = 3000$ Wattstunden = **3 Kilowattstunden**. Der Strompreis ist also 3×50 Rpf. = **1,50 RM.**

Wieviel Wärme liefern diese Lampen in den 8 Brennstunden ?

Antwort: Hier müssen wir die Wattsekunden (statt Wattstunden) ermitteln. 3000 Wattstunden = $3000 \cdot 60 \cdot 60 = 10800000$ Wattsek.; also ist die erzeugte Wärme $10800000 \times 0,24 = 2592000$ kal = **2592 Kal.**

§ 102. Thermoelektrizität

Seebeck entdeckte **1821**, daß beim **Erhitzen** der Berührungsstelle zweier verschiedener Metalle eine **Trennung neutraler \pm El.** eintritt; hierbei wird das eine Metall **positiv**, das andere **negativ** elektrisch. Die

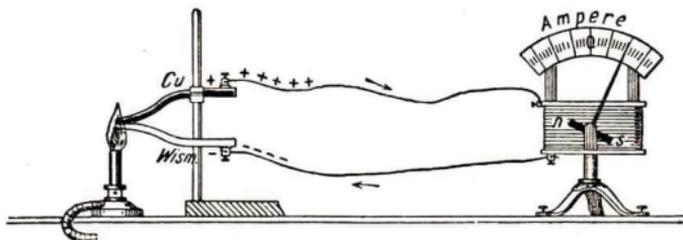


Abb. 371. Nachweis des Thermostromes

Verbindung wirkt also wie ein galvanisches Element; man nennt sie ein **Thermoelement**, den von diesem gelieferten elektrischen Strom einen **Thermostrom**.

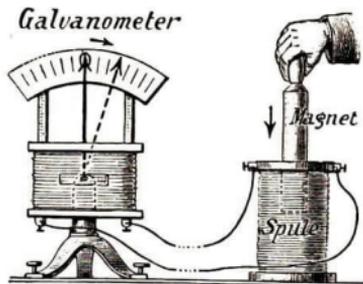
Schülerübung mit einem Thermoelement aus einem Streifen **Eisen** und einem Streifen **Neusilber**. [Ergebnis: Das Eisen wird positiv, das Neusilber negativ elektrisch.] Die EMK ist indes nur 30 Milliontel Volt für jeden Grad Celsius Erwärmung.

|| Gesetz: Ist die Berührungsstelle **wärmer** als die freien Enden, so entsteht ein Strom im einen Sinne; ist sie **kälter** als diese, ein Strom im Gegensinn.

Induktions-Elektrizität

§ 103. Neue Art der Stromerzeugung: durch Induktion (Faraday 1831)

1. Mit Magnetstab und Spule (Abb. 372). a) Stößt man einen Magnetstab rasch in eine Spule, so entsteht in letzterer ein Stromstoß, der sich an einem mit der Spule verbundenen Galvanometer meldet.



• Abb. 372. Magnetinduktion

b) Ruht der Magnetstab in der Spule, so kehrt die Nadel des Galvanometers in die Nullstellung zurück.

c) Zieht man den Magnetstab zurück, so entsteht in der Spule ein Stromstoß im entgegengesetzten Sinne.

Diesen Vorgang nennt man Induktion, die stromgebende Spule Induktionsspule, den erzielten Strom **Induktionsstrom**.

Folgerung. Von einem Magnetstab gehen Kraftlinien aus, wie von einem Besen die Borsten. Schiebt man den Magnetstab in die Spule, so durchschneiden diese Kraftlinien die Windungen der Spule. Solange dieses Schneiden andauert, wird \pm El. in den Windungen geschieden. Ergebnis:

Durchschneidet ein Drahtstück magnetische Kraftlinien, so entsteht darin ein elektrischer Strom.

Das Drahtstück wirkt demnach wie ein schwaches galvanisches Element.

a) Jede Windung der Spule wirkt stromgebend. Um große Wirkungen zu erzielen, gibt man der Spule sehr viele und daher dünne Windungen.

b) Raschere Bewegung erhöht die Wirkung ebenfalls.

2. Mit zwei Spulen P und S, genannt Primär- und Sekundärspule. Die **Primärspule P** hat dicke Windungen und enthält einen Eisenkern. Sie wird mit einer Batterie verbunden und wirkt als **Elektromagnet**. Sie liefert die Kraftlinien, die geschnitten werden sollen (Abb. 373).

Die **Sekundärspule S** dient zur Erprobung der Induktion.

Sie ist mit einem Galvanometer verbunden und trägt sehr viele (daher **dünne**) Windungen, da ja jede Windung beim Durchschneiden der Kraftlinien zum Induktionsstrom beisteuert.

Es bieten sich hier **drei Möglichkeiten**, um einen Induktionsstrom zu erzeugen. a) Durch Näherung und Entfernung von S und P .

Dabei treten dieselben Erscheinungen auf wie oben.

b) Durch Stärkung und Schwächung des Primärstromes.

Wir lassen P in S und stärken den Strom in P . [Ergebnis: Ausschlag nach der einen Seite.] — Wir schwächen den Strom in P . [Ergebnis: Ausschlag nach der anderen Seite.]

c) Durch Schließen und Unterbrechen des Stromes.

Schließen wir den Strom, so wachsen Kraftlinien aus der Stromspule P heraus und durchschneiden die Windungen von S . [Ergebnis: Ausschlag nach der einen Seite.] — Unterbrechen wir plötzlich den Strom, so erfolgt Ausschlag nach der anderen Seite.

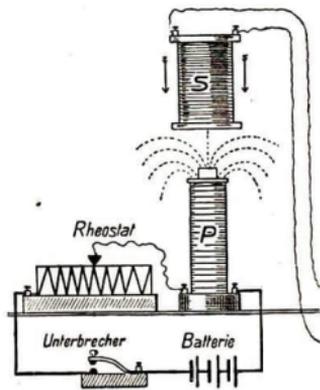


Abb. 373

Dabei ergibt sich das Induktionsgesetz von **Faraday (1831)**:

I. Wird der Primärstrom geschlossen, **verstärkt** oder genähert, so entsteht in der sekundären Leitung ein Stromstoß

im entgegengesetzten (= feindlichen) Sinn

II. Wird der Primärstrom aber unterbrochen, **geschwächt** oder entfernt, so entsteht in der sekundären Leitung Strom

im gleichen = (nachhelfenden) Sinn

3. Vor dem im Kraftfeld bewegten Leiter werden die Kraftlinien verdichtet, so daß man eine Arbeit leisten muß, um den Leiter darin zu bewegen. Dies ist das Gesetz von **Lenz**.

Vergleich: Was geschieht, wenn man mit einem Stock rasch einen Hieb durch die Luft macht? [Die Luft vor ihm wird verdichtet.]

Anwendung auf Abb. 374. Bewegt man das Drahtstück AB nach **links**, so werden links von ihm die Kraftlinien verdichtet. Damit diese Verdichtung entstehen kann, muß im Draht AB ein Strom von A gegen B auftreten; denn nach der Korkzieherregel hat dieser ein Magnetfeld, das **links** aufwärts (\uparrow) verläuft.

4. Die Richtung des Induktionsstromes ergibt die Dreifingerregel für die rechte Hand (Abb. 375), welche lautet:

Man spreize Daumen, Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand rechtwinklig voneinander! Gibt nun der erste die **Bewegungs-**, der zweite die **Kraftlinienrichtung** an, so gibt der dritte die **Stromrichtung** an. (Kurz: **B-K-S-Regel** genannt.)

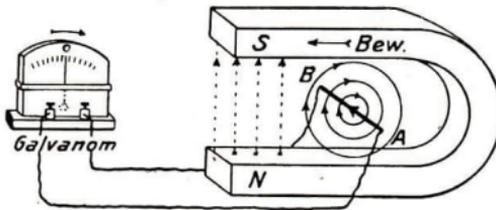


Abb. 374. Nachweis der Induktion



Abb. 375

5. Als **Selbstinduktion** bezeichnet man die Wirkung eines Leiters auf sich selbst. Diese ist besonders in Spulen stark, da jede Windung auf alle benachbarten induzierend wirkt. Merke:

Große Spulen geben starke Selbstinduktionsströme

Von besonderer Wichtigkeit sind der **Schließungs-** und der **Öffnungsstrom**.

a) Beim **Schließen** entsteht ein **hemmender** Strom, der dem Hauptstrom entgegenläuft, so daß dieser nicht sofort mit voller Stärke einsetzen kann.

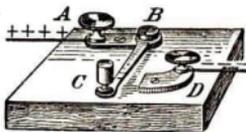


Abb. 376. Ausschalter

b) Beim **Öffnen** entsteht ein **nachhelfender** Strom, der im Sinne des erlöschenden Hauptstroms verläuft. Dieser erzeugt die oft **gewaltigen Funken** an der Unterbrecherstelle *D*, wenn sich im Stromkreis eine Spule mit recht vielen Windungen befindet.

Elektrisierung mit der elektrischen Klingel. Bringt man an den Klemmen *A* und *B* der elektrischen Klingel (Abb. 355) Ableitungsdrähte an, in deren Kreis man sich selbst einschaltet, so gehen bei tätiger Klingel die hochgespannten Selbstinduktionsströme, die bei jeder Stromunterbrechung auftreten, durch unseren Körper und verursachen ein eigentümliches Prickeln in den Gelenken [Faradisieren].

§ 104. Der Induktor

1. **Zweck.** Er soll durch fortgesetztes rasches Unterbrechen des Hauptstromes, der eine Primärspule durchfließt, in den Windungen einer umgebenden Sekundärspule rasch wechselnde Induktionsstöße hervorrufen.

Die **Unterbrechung** erfolgt bei großen Apparaten maschinell, bei kleineren durch Anlegung eines Wagnerschen Hammers an den Eisenkern der Primärspule (Abb. 377).

2. Teile. Der Induktor besteht demnach aus drei Teilen:

a) aus einer **Primärspule P** mit wenigen dicken **Windungen**, in die ein Bündel gefirnierter Eisendrähte eingeschoben ist;

b) aus der **Sekundärspule S** aus sehr vielen (bei großen Apparaten oft mehreren Tausenden) feinen, gut isolierten Windungen, die oben in zwei Elektroden endigen, zwischen denen beim Betrieb kräftige Funken überspringen;

c) aus einem **Stromunterbrecher α** für den Primärstrom (gewöhnlich einem Wagnerschen Hammer).

Im Boden stark wirkender Induktoren ist ein **Kondensator** eingebaut (Abb. 377), dessen einer Beleg mit der einen Seite und dessen anderer Beleg mit der anderen Seite des Unterbrechers α verbunden ist. Er hat die Aufgabe den Öffnungsstrom abzufangen.

3. Vorgang. Bei jedem Stromschluß entsteht in der Sekundärspule **S** ein Stromstoß im einen Sinne, bei jeder Stromunterbrechung ein Stromstoß im anderen Sinne. Ergebnis:

In der Sekundärspule entsteht ein **Wechselstrom**

Durch diesen werden die Elektrodenplatten in raschem Wechsel entgegengesetzt elektrisiert ($\pm|\mp|\pm|\dots$).

Die Windungen der Sekundärspule wirken wie hintereinander geschaltete Elemente; die Spannungsdifferenz an den Elektroden wächst daher proportional mit der Windungszahl der Sekundärspule. Eine Spannungsdifferenz von 10000 Volt gibt ungefähr 1 cm Funkenlänge. Es gibt Apparate, die meterlange Funken geben.

Mit **kleinen Apparaten** (ohne Kondensator!) kann man sich angenehm elektrisieren (genannt Faradisieren). Starke Induktionsströme wirken tödlich.

Der **Funkeninduktor** ist ein Ersatz für die Elektrisiermaschine, er gibt wie diese einen Funkenstrom. (Setze damit Papier in Brand!)

4. Verwendung zur Erzeugung von Röntgenstrahlen. Geißlersche (bzw. Crookesche) Röhren zeigen je nach dem Grad der Gasverdünnung bei Stromdurchgang folgende Erscheinungen:

Bei ~ 1 mm Gasdruck: Rötliches Lichtband von der Anode her; die Kathode ist blau umsäumt.

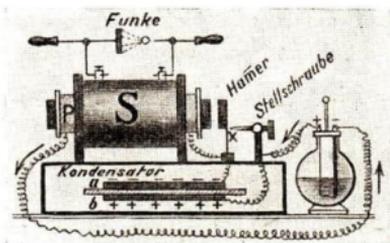


Abb. 377. Induktionsapparat

Bei $\sim 0,1$ mm Gasdruck: Das rötliche Lichtband ist geschichtet.

Bei $\sim 0,01$ mm Gasdruck: Lichtband verschwunden. Die Kathode sendet das unsichtbare Kathodenlicht aus. Wo dieses die Glaswand trifft, leuchtet diese hell auf in grünlicher Fluoreszenz.

Sehr schön lassen sich die hier geschilderten Lichterscheinungen mit der sog.

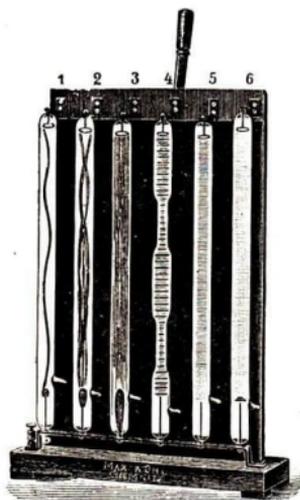


Abb. 378. Vakuumskala

Vakuumskala (Abb. 378) zeigen. Diese enthält eine Reihe von gleich langen Röhren, von welchen jede folgende eine etwas höhere Luftverdünnung aufweist.



Abb. 379

Hand durchleuchtet von Röntgenstrahlen

Röntgen entdeckte (1890), daß von der Stelle der Glaswand, wo die Kathodenstrahlen auftreffen, unsichtbare **neue Strahlen** ausgehen, für die Holz, Leder, Ebonit usw. so durchlässig sind wie Glas für gewöhnliches Licht. Treffen diese auf einen Schirm, der mit fluoreszenzfähigen Stoffen, gewöhnlich platin- oder zinkhaltigen Salzen, überzogen ist, so leuchtet dieser hell auf. Hält man die Hand davor, so erhält man auf dem Schirm ein Schattenbild der Handknochen (Abb. 379), da Fleisch für die Strahlen durchlässig ist. Wichtig für die Heilkunde (Durchleuchtung des Körpers).

§ 105. Fernsprechanlage

1. Das **Hörtelephon** (Abb. 380) besteht aus einem **Stabmagnet**, der am einen Ende eine kleine Induktionsspule mit sehr vielen feinen Windungen trägt. Als **Anker** ist dem Magnet ein federndes Eisenplättchen (die Membran) vorgelagert.

Das Telephon spricht auf Wechsel- und Hackstrom an

Vorgang. Schickt man z. B. den Wechselstrom eines kleinen Induktors durch die Spule des Telephons, so wird der Magnet im Rhythmus des wechselnden Stromes bald gestärkt, bald geschwächt; die Folge ist, daß er das Ankerplättchen im selben Wechsel bald stärker anzieht, bald losläßt. Dadurch gerät die Membran ins Schwingen (= Tönen).



Abb. 380. Telephon

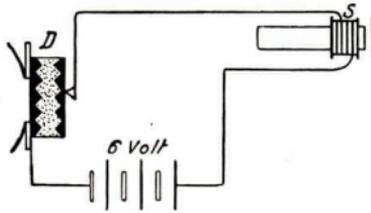


Abb. 381. Mikrofonanlage

2. Das Mikrophon ist nichts weiter als eine Dose mit Kohlenkörnern. Zum Fernsprechen schaltet man das Mikrophon in den Stromkreis einer Batterie von 6 Volt Spannung ein, an den das Telephon im einfachsten Fall direkt angeschlossen wird. Dies zeigt Abb. 381.

Vorgang. Spricht man gegen das Mikrophon, so werden die Kohlenkörner darin erschüttert und lassen bald mehr, bald weniger Strom hindurch (= Hackstrom). Dadurch wird der Magnet im Hörtelephon in entsprechendem Wechsel bald verstärkt, bald geschwächt, und dieser versetzt daher sein Ankerplättchen in entsprechendes Schwingen (Tönen).

Früher benutzte man als Mikrophon ein kleines Tannenbrettchen, auf dem zwischen zwei Kohlenleisten *x x* ein paar spitze Kohlenstäbchen lose befestigt waren. Erkläre hiernach Abb. 382!

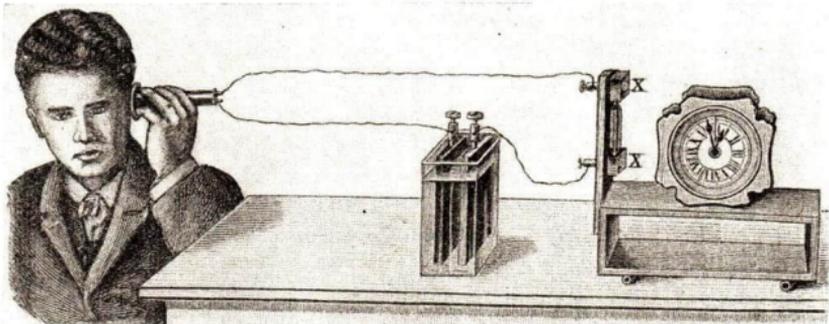


Abb. 382. Das einfache Mikrophon

Geschichtliches. Der Lehrer **Reis** in Friedrichsdorf bei Homburg baute 1860 eine Art Wagnerschen Hammer in einen Geigenkasten ein. Mit dieser Vorrichtung mußte ein Schulknabe in seinem Garten auf einen Baum steigen, von dem die elektrische Leitung zu einem gleichen Kasten in seinem Gartenhaus führte. Zupfte der Knabe die Saiten, so hörte es Reis an seinem Kasten. Damit war das Telephon im Prinzip erfunden. — Der amerikanische Taubstummenlehrer **Bell** erst gab dem Telephon die heutige bequeme Form (1876). — Das Mikrophon wurde gleichzeitig von dem Deutschen **Lüdtge** und dem Amerikaner **Hughes** erfunden (1878).

§ 106. Gleichstrom-Dynamomaschine

1. Eine Dynamomaschine ist eine Vorrichtung, um einen elektrischen Strom durch Schneiden von Magnetlinien zu erzeugen. Dazu ist Arbeit nötig.

An einer Dynamomaschine unterscheidet man 3 Teile:

- den **Feldmagnet**, der die magnetischen Kraftlinien liefert;
- den **Anker**, der Drahtwindungen trägt, mit denen man das Kraftfeld schneidet;
- eine **Vorrichtung zum Drehen** des Ankers.

Die einfachste Ankerform ist der **Grammesehe Ring**. Er ist in § 97 bereits beschrieben. Die Enden der auf ihm sitzenden Teilspulen führen zu den Lamellen des auf seiner Drehachse angebrachten **Kollektors**.

Zur Stromabnahme vom Kollektor dienen zwei **Schleiffedern** oder **Bürsten** (x, y in Abb. 383).

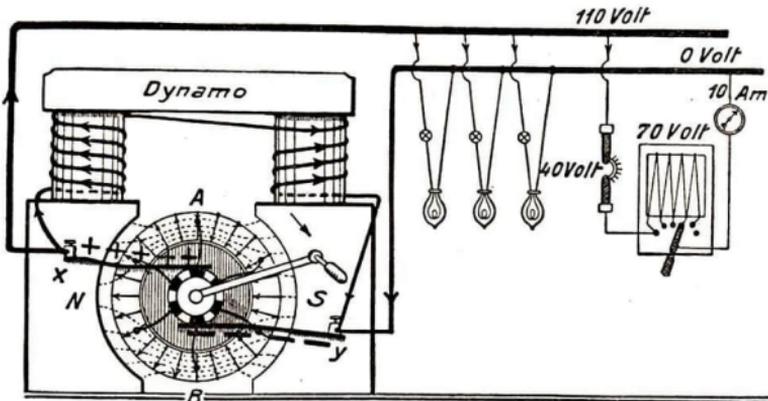


Abb. 383. Dynamomaschine mit dem Ringanker

2. Vorgang beim Drehen des Ankers. Dreht man den Anker, so durchschneiden die äußeren Randstäbe der Ankerspule die Magnet-

linien zwischen N und S und entsteht bei diesem Schneiden vor jedem Randstab eine **Kraftlinienverdichtung** (die nur durch Aufwand von Arbeit überwunden werden kann) und gleichzeitig in jedem Randstab ein elektrischer Strom. Die Ströme der einzelnen Windungen addieren sich auf der linken Ringhälfte und auf der rechten Ringhälfte und können durch die Schleiffedern x und y bei A und B , wo die Ströme zusammenlaufen, abgenommen werden.

Einfache Polregel der Techniker. (Abb. 384.) Wird der Anker im Uhrzeigersinn gedreht, so setze man vor dem **Nordpol** in den Drahtquerschnitt ein **Kreuz** (Zeichen, daß der Strom vom Beschauer wegläuft), vor dem **Südpol** einen **Punkt** (Pfeilspitze des Stromes, der auf den Beschauer zuläuft.) — Untersuche hiernach, ob die Strompfeile in Abb. 383 richtig sind!

3. Prinzip der Selbsterregung. Nach **Siemens (1867)** braucht der Feldmagnet kein permanenter zu sein, es genügt, wenn er etwas Restmagnetismus besitzt. Dann wird allerdings bei den ersten Umdrehungen des Ankers der induzierte Strom sehr schwach sein. Wenn man aber diesen (oder einen Teil von ihm, wie Abb. 383 zeigt) über die Schenkel des Feldmagnets NS leitet, wird dieser gestärkt und induziert nun seinerseits selbst stärkere Ströme in den Anker. Diese **gegenseitige Verstärkung** (= Aufschaukelung) dauert so lange an, bis der Elektromagnet seine **größte Stärke** erreicht hat (d. h. bis alle seine Molekularmagnete geordnet sind).

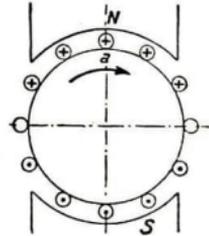


Abb. 384. Polregel

§ 107. Wechselstrommaschine

1. Eine Wechselstrommaschine erkennt man daran, daß die Schleiffedern auf zwei voneinander isolierten **Schleifringen** schleifen (Abb. 385), statt auf einem Lamellenkollektor.

2. Vorgang. Dreht man das Drahtrechteck in Abb. 386 wie angegeben, so entsteht nach der Polregel im rechten Drahtstück CD Strom nach vorn, im linken Drahtstück AB Strom nach hinten, die sich beide

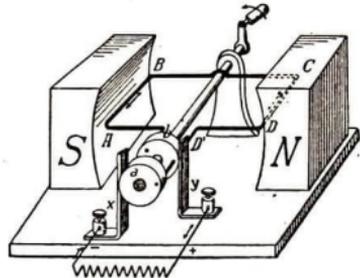


Abb. 385. Wechselstrom-Dynamomaschine

unterstützen. Daher wird

Bürste y positiver Pol

Bürste x negativer Pol

bei der Stromabnahme. — Nach einer Drehung um 180° kommt aber Draht CD vor dem Südpol vorbei, der in ihm dabei induzierte Strom kehrt also seine Richtung nun um und es wird jetzt

Bürste y negativer Pol

Bürste x positiver Pol

der Maschine. Dieser **Wechsel** wiederholt sich bei jeder Umdrehung des Ankers. Ergebnis:

Bei Verwendung des Ringkollektors wird Wechselstrom abgenommen.

3. Statt eines einzelnen Drahtrechtecks benutzt man in der Technik **Drahtspulen**, die man innerhalb eines Ständers vor einer Reihe von Nord- und Südpolen laufen läßt (Abb. 386).

Spule I (Abb. 386) hat einen Anfang und ein Ende; der Anfang ist mit dem einen Ring a , das Ende mit dem anderen Ring b des Kollektors verbunden. [a wird positiv, b negativ.] Der Techniker hat nur dafür Sorge zu tragen, daß auch die anderen Spulen mit a und b so verbunden werden, daß a ihr positives, b ihr negatives Ende in der augenblicklichen Stellung darstellen.

Die **Magnetpole des Ständers** werden in der Praxis durch eigene Gleichstrommaschinen erzeugt. Daher steht in den elektrischen Zentralen neben jeder Wechselstrommaschine noch eine Gleichstrommaschine.

Statt des Sternankers (Abb. 386) benutzt man häufig auch den Flachringanker (Abb. 387).

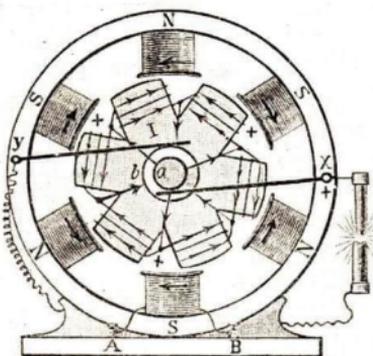


Abb. 386. 6polige Wechselstrommaschine

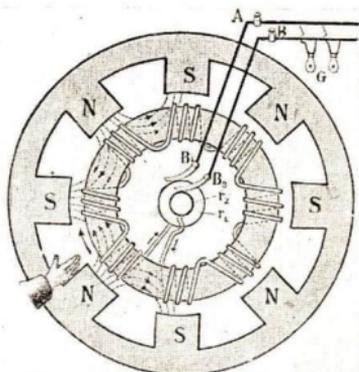


Abb. 387. Hochfrequenzmaschine

Zwei aufeinanderfolgende „Spulen“ müssen auch hier entgegengesetzt gewickelt sein, da ja die eine vor einem Nordpol, die folgende vor einem Südpol vorbeigeht. — Mache diese Wicklungen mit der Hand nach!

4. Motor. Merke: Jeder Gleichstrommotor kann auch mit Wechselstrom betrieben werden.

Grund: Bei jedem Stromwechsel wechselt gleichzeitig die Polarität der Maschinenpole. Bei diesem **Doppelwechsel** (von Strom und Feld) bleibt die Bewegungsrichtung erhalten. — Was geschähe, wenn nur der Strom im Anker seine Richtung wechselte?

§ 108. Transformatoren (Umformer)

1. Transformatoren sind Apparate, durch die Ströme von **hoher Stärke** und geringer Spannung in Ströme von **geringer Stärke** und hoher Spannung, oder umgekehrt, umgeformt werden können.

2. Wichtig sind die Wechselstromumformer (Abb. 388). Sie bestehen aus zwei Spulen *I* und *II* (der **Primär-** und der **Sekundärspule**), die auf einem gemeinsamen Eisenkern gewickelt sind. Man unterscheidet Mantel und Kernumformer.

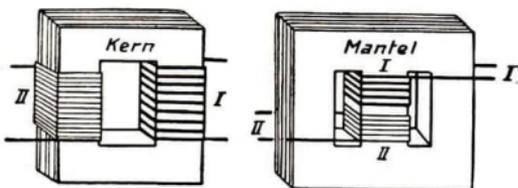


Abb. 388. Kern- und Manteltransformator

Vorgang. Sendet man durch die erste Spule einen Wechselstrom *I*, so erregt sein im Eisenkern wechselndes Magnetfeld in der anderen Spule einen Wechselstrom *II*, der (im Idealfall) dem Wechselstrom *I* an Arbeitsfähigkeit (= Wattzahl) gleich ist. Es ist also

$$E_1 \cdot i_1 = E_2 \cdot i_2$$

Übersetzung. Trägt die zweite Spule z. B. 30mal so viele Windungen wie die erste, so ist die in die zweite Spule induzierte Spannung $E_2 = 30 \cdot E_1$; dafür wird nun $i_2 = \frac{1}{30} i_1$. Allgemein ist das Übersetzungsverhältnis

$$n = \frac{\text{Zahl der sekundären Windungen}}{\text{Zahl der primären Windungen}}$$

3. Die Umformer ermöglichen erst eine wirtschaftlich günstige Übertragung der elektrischen Energie auf weite Strecken. In elektrischen Zentralen werden starke Ströme (2000 bis 5000 A) erzeugt. Um diese fortzuleiten, müßte man fast armdicke Kupferleitungen benutzen. Das

käme aber für eine Fernleitung sehr teuer. Man transformiert dann lieber in der Zentrale den Strom in einen **hochgespannten** Wechselstrom, dem dann nur ein geringes i zukommt und der zur Weiterleitung also nur dünne Drähte nötig hat. Eine solche Leitung zu berühren ist aber **lebensgefährlich**.

An der Verbrauchsstelle wird der hochgespannte Strom wieder in einen Strom von geringerer Spannung umgeformt.

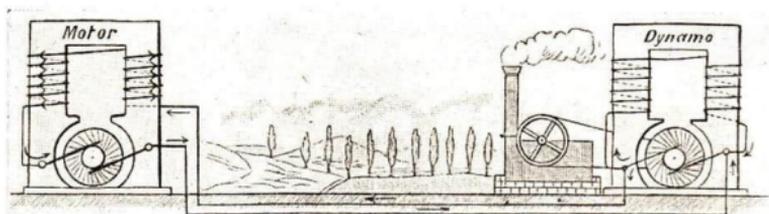


Abb. 389. Elektrische Kraftübertragung

Es ist gelungen, die bei der Transformation (z. B. durch Erhitzung des Transformators) auftretenden **Verluste** relativ gering zu machen, so daß oft 95% der induzierten Watt übertragen werden.

§ 109. Rundfunkanlage

1. Sendestelle. In dieser ist eine **Wechselstromdynamo** aufgestellt, die eine Bogenlampe (**Poulsonlampe**) oder eine Funkenstrecke betreibt. **Hertz** hat **1887** gezeigt, daß ein elektrischer Funke den ganzen umgebenden Ätherraum in Schwingung versetzt. Ähnlich wie von einer angeschlagenen Stimmgabel Schallwellen fortlaufen (Abb. 196), so laufen von einem elektrischen Funken **elektrische Wellen** fort (Abb. 390), die sich dicht aufeinanderfolgend mit ungeheurer Geschwindigkeit (Lichtgeschwindigkeit) ausbreiten.

Spricht man nun in das eingeschaltete **Mikrophon** den Kammerton \bar{a} , so wird der Wechselstrom in der Sekunde **435 mal geerdet** und daher ist in der Funkstelle die Wellenaussendung sekundlich **435 mal unterbrochen**; es legen sich dann in den feingekräuselten Wellenzug der sog. Trägerwellen sekundlich **435 neutrale Bänder** ein.

2. Empfangsstelle. Treffen die elektrischen Wellen in der Empfangsstelle auf einen geeignet ausgespannten Draht (= **Antenne**), so wird darin augenblicklich \pm El. geschieden und nach entgegengesetzten Seiten getrieben; nach dem Durchgang der Welle fluten die getrennten

Elektrizitäten wieder zurück. Dieses Hin- und Herschwanen der \pm El. in der Antenne wiederholt sich Zug um Zug bei jeder neu eintreffenden Welle. Die Folge ist, daß die Elektrizität in der Antenne in rasche Dauerschwingung versetzt wird.

An zwei Punkte einer Spule in der Antenne ist nun ein kleiner Nebenkreis gefügt, dessen \pm El. dabei auch mit ins Schwingen gerät. In diesem Kreis liegt das Hörtelefon. Der dabei in diesem Kreis auftretende, über alle Maßen rasch wechselnde Wechselstrom würde indes die Tele-

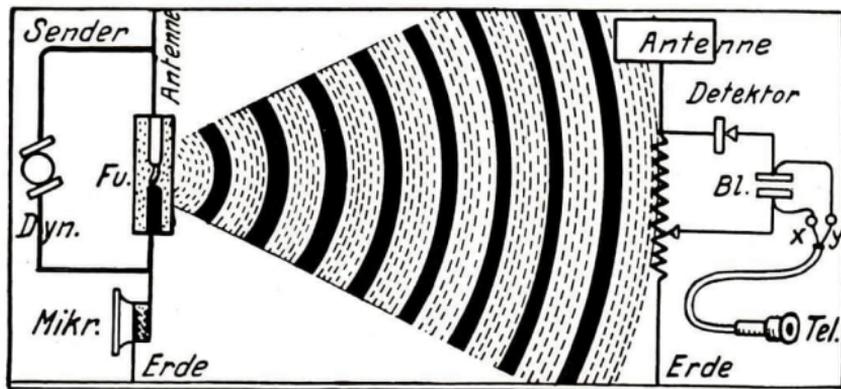


Abb. 390. Rundfunkanlage

phonmembran in so rasche Schwingungen versetzen (500 000 in 1 sek), daß man einen Ton darin nicht vernimmt, auch wenn die Membran nicht streiken würde.

Unser Ohr hört nur Töne bis zu 40 000 Schwingungen in 1 sek.

In den Nebenkreis ist nun ein **Kristalldetektor** eingeschaltet (Kristall Bleiglanz mit aufgesetzter Metalldrahtspitze), der als elektrischer Polizist wirkt: Er läßt nur Strom in einer Richtung hindurch. Der so durchgelassene Gleichstrom buchtet nun die Membran des Telefons dauernd nur nach einer Richtung aus, wie lange auch elektrische Wellen darauf treffen mögen. (Man hört also wieder keinen Ton!)

Trifft aber endlich ein **neutrales Band** auf die Antenne, so springt die Telephonmembran zurück! (Es gibt einen Knacks!) Treffen nun sekundlich 435 neutrale Bänder auf die Antenne, so macht die Telephonmembran sekundlich 435 solcher Rucke, d. h. man hört den Kamerton \bar{a} .

Viele **Rundfunkstellen** arbeiten mit Wellenlängen zwischen 300 bis 600 m; also ist ihre sekundlich ausgesandte Wellenzahl — da die Welle in 1 sek den Weg von 300 000 km zurücklegt — $300\,000 : 2,3 = 1\,000\,000$ bis 500 000.

Geschichtliche Wiederholung

I. Reibungselektrizität. *Aristoteles* kannte schon (333 v. Chr.) die elektrische Eigenschaft des Bernsteins. *Otto von Guericke* baute (1653) die erste Elektrisiermaschine. *Lichtenberg* unterscheidet erst (1737) positive und negative Elektrizität. *Kleist* erfindet (1750) die „Leidener Flasche“. *Franklin* erkennt 1752, daß der Blitz ein elektrischer Funke ist.

II. Galvanische Elektrizität. *Galvani* und *Volta* (1790) eröffnen die Frage nach dem elektrischen Strom. *Volta*-Element ältestes galvanisches Element. *Örstedt* entdeckt (1820) die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes. *Gauß* und *Weber* bauen 1833 den ersten elektrischen Telegraphen. *Jakobi* in Dorpat erfindet (1838) die Galvanoplastik. *Edison* stellt (1879) die brauchbare Glühlampe her.

III. Induktionselektrizität. *Faraday* entdeckt (1831) die Induktion. *Ruhmkorff* baut (1851) den Funkeninduktor; *Gramme* und *Siemens* bauen ab 1867 Dynamomaschinen. *Reis* und *Bell* (1877) sind die Väter des Telephons. *Hertz* entdeckt (1887) die elektrischen Wellen.

Von der Erhaltung der Energie

§ 110. Die Masse als Träger der Energie

Vorübung: **Betrachte 1 Grammstück!** Sehen kann man nur den **Stoff**, aus dem es besteht. Nicht sehen kann man sein **Gewicht**, d. h. die Kraft, die es zur Erde zieht. — Bringt man es in Wasser, so wird sein Gewicht kleiner, in Glycerin noch kleiner. — Im freien Weltraum (wenn keine Erde existierte) hätte es gar kein Gewicht. Ergebnis:

1. Unveränderlich bleibt die Stoffmenge oder Masse eines Körpers; sein Gewicht wechselt.

|| Einheit und Maß aller Massen ist das in Paris aufbewahrte
|| **Massenkilogramm.** (Dessen tausendster Teil heißt Massengramm.)

2. Was ist die Einheit des Gewichtes?

Läßt man 1 Massengramm in der Luft fallen, so wirkt darauf ein Gewicht, das man eben 1 Gewichtsgamm heißen müßte. Dieses erteilt ihm nach *Galilei* (§ 10) eine Beschleunigung von ~ 10 m (genauer 981 cm) in der Sekunde. — Läßt

man es im Wasser fallen, so wirkt nur eine kleinere Kraft darauf; er fällt langsamer, seine Beschleunigung ist geringer. — Laß ein mit genügend viel Wachs umhülltes Schrotkugelchen im Wasser fallen (Abb. 391); seine Beschleunigung kann sehr gering gemacht werden. Wirkte auf das Massengramm nur

$\frac{1}{981}$ **Gewichtsgramm Kraft**, so würde es nur die Beschleunigung **1 cm** pro Sekunde erhalten. Merke:

Die kleine Kraft von $\frac{1}{981}$ **Gewichtsgramm** nennt der Physiker **1 Dyn**. Sie ist seine Gewichtseinheit.

Von nun an sind also alle Gewichte in Dyn anzugeben. Zum Beispiel 1 cm^3 Aluminium hat in Luft ein Gewicht von $2,6 \cdot 981 = 2551 \text{ Dyn}$, in Wasser ein Gewicht von $(2,6 - 1) \cdot 981 = 1570 \text{ Dyn}$. Merke also:

Die Masse von M Gramm hat das Gewicht $M \cdot 981 \text{ Dyn}$

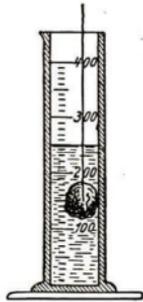


Abb. 391

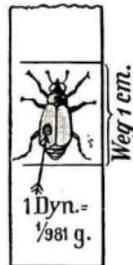


Abb. 392
Begriff d. Erg

Diese Wägung müßte an dem Ort vollzogen werden, wo die Erdbeschleunigung genau 981 cm ist, z. B. in Paris, und zwar natürlich nicht in Wasser, sondern im luftleeren Raum.

3. Was ist Einheit der Arbeit? Ein Käfer, der 1 cm hoch an der Wand emporkriecht und auf dem Flügel ein Wassertröpfchen von $\frac{1}{981} \text{ g}$ Gewicht trägt, leistet für dieses die Arbeit $1 \text{ cm} \times 1 \text{ Dyn} = 1 \text{ Erg}$.

Die Physiker messen alle Arbeiten in Erg. Merke: $10^7 \text{ Erg} = \frac{1}{981} \text{ mkg}$, also rund $\frac{1}{10} \text{ mkg}$.

4. Die bewegte Masse kann Arbeit leisten. Denke an eine Kugel!

Eine Kugel, die am Boden ruht, leistet nichts. Würde sie aber mit einer Geschwindigkeit $v = 400 \text{ m/sek}$ geschleudert, so kann sie Mauern zerschmettern. An dieser Leistung ist ihr Gewicht (d. h. die Kraft, die sie zur Erde zieht) doch nicht im geringsten beteiligt, nur ihre Masse und ihre Geschwindigkeit.

5. Wieviel Arbeit kann eine Masse mit der Geschwindigkeit v leisten? Dies lehrt uns am einfachsten der lotrechte Wurf (Abb. 393).

Wir werfen einen Stein von der Masse M Gramm mit der Geschwindigkeit $v \text{ cm/sek}$ in die Höhe. Die Anziehung der Erde nimmt ihm (nach § 9) sekundlich

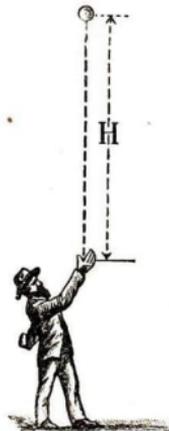


Abb. 393
Wurf nach oben

981 cm an Geschwindigkeit. Er steigt daher nur so viele Sekunden lang als 981 cm in v cm enthalten sind:

$$\text{Steigzeit} = \frac{v}{981} \text{ sek.}$$

Die mittlere Geschwindigkeit beim Steigen ist (da die Endgeschwindigkeit oben Null ist) gleich $v/2$. Daher ist die

$$\text{Steighöhe } H = \text{mittlere Geschw.} \times \text{Steigzeit} = \frac{v}{2} \cdot \frac{v}{981} \text{ (cm).}$$

Beim Steigen leistet nun der Körper Arbeit gegen sein Gewicht. Diese **Arbeit** ist

$$\begin{aligned} &= \text{Kraft} \times \text{Weg} = \text{Gewicht} \times \text{Steighöhe} \\ &= (M \cdot 981) \cdot \left(\frac{v}{2} \cdot \frac{v}{981} \right) = \frac{1}{2} Mv^2 \text{ [Erg].} \end{aligned}$$

|| Merke: Ein Körper von der Masse M und der Geschwindigkeit v kann die Arbeit $\frac{1}{2}Mv^2$ leisten.

Dieser Betrag heißt auch seine **lebendige Kraft**, Wucht oder **Bewegungsenergie**. Die Formel gibt diese Arbeit in $\frac{1}{10} \text{ mkg}$ an, wenn M in Massenkilogramm, v in Metern gemessen wird.

Beispiel: Welche Arbeitsfähigkeit besitzt eine 24pfündige Kugel von 400 m/sek Geschwindigkeit? Antwort: $M = 12 \text{ kg}$, $v = 400 \text{ m/sek}$, also Arbeitsfähigkeit $= 6 \cdot 400^2 \cdot \frac{1}{10} = 96000 \text{ mkg}$.

§ 111. Arten der Energie. Gesetz von der Erhaltung der Energie

1. **Energie ist die Fähigkeit Arbeit zu leisten.** Solche Arbeitsfähigkeit besitzen:

a) **bewegte Körper**; deren Energie heißt **Bewegungsenergie**. (Fallender Felsblock.)

b) **gespannte Körper**; in diesen ist die bei der Spannung (Hebung) aufgewendete Arbeit sozusagen als stiller Vorrat aufgespeichert. (Gespannte Feder, gehobene Wassermengen der Stauseen.) Deren Energie nennt man **Energie der Lage**.

Mit einer gespannten Feder kann man einen Pfeil abschießen.

In einem Bergsee ist Energie der Lage aufgespeichert; fällt die Hemmung fort, so kann das fallende Wasser Arbeit leisten. Die Aufspeicherung erfolgte durch die Sonne. (Die Sonne verdunstet Kilogramm für Kilogramm Wasser aus dem Meere; der Dampf steigt in die Höhe; der Wind treibt die Wolken ins Gebirge; dort fällt das Wasser als Regen nieder: Arbeitsleistung der Sonne!)

c) Die Wärme ist eine Energieform.

Denk an den Versuch mit Stahlstab und Bolzen; an das Explodieren von Dampfkesseln; an die Arbeit der Lokomotive!

d) Die Elektrizität ist eine Energieform.

Denk an den Elektromotor, in dem der galvanische Strom Arbeit leistet!

e) Das Licht ist eine Energieform.

Denk an die Zersetzung des Chlorsilbers beim Photographieren! — Läßt man Licht auf die einseitig geschwärzten Flügel des Radiometers (Abb. 394) fallen, so setzt sich dessen Flügelrad in Bewegung.

f) Chemische Energie ist in den chemischen Verbindungen aufgespeichert. Denk an das Dynamit, das gewaltige Arbeitsfähigkeit aufweist!

2. Die Umsetzung einer Energie in eine andere ist eine alltägliche Erscheinung. Beispiele: Beim Verbrennen von Holz und Kohle verwandelt sich deren chemische Energie in Wärme. — Durch die Arbeit des Reibens wird Wärme oder Elektrizität erzeugt. — Durch die Auflösung des Zinks (chemische Energie!) im Volta-Element wird galvanischer Strom erzeugt. Bei der Dynamomaschine wird elektrischer Strom durch Arbeit erzeugt. — Beim Schmelzen wird Wärme verbraucht und in Schmelzarbeit (= Trennung der Moleküle) umgesetzt.



Abb. 394
Radiometer

Auffallend sind die umkehrbaren Prozesse; z. B.: I. Man kann Arbeit in Wärme verwandeln (reibe eine Münze auf dem Tisch) und Wärme in Arbeit (Dampfmaschine). — II. Man kann Arbeit in Elektrizität verwandeln (Dynamomaschine) und Elektrizität in Arbeit (Elektromotor; beachte die elektrische Arbeitsübertragung!). — III. Man kann Elektrizität in Wärme verwandeln (elektrische Heizung, Schmelzung), aber auch Wärme direkt in Elektrizität (Thermoelement).

3. Die Umwandlung erfolgt nach festem Verhältnis. Merke:

$$0,24 \text{ kal/sek} \quad \begin{array}{c} \text{1 Watt} \\ \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \quad \frac{1}{10} \text{ mkg/sek.}$$

Genauer genommen ist 1 Watt = $\frac{1}{981}$ mkg/sek, also 1 PS = 736 Watt.

4. Satz von der Erhaltung der Energie. *Robert Mayer* (Arzt in Heilbronn 1842) und gleichzeitig *Helmholtz* kamen zu der großen Erkenntnis,

daß bei allen Umwandlungen der Energien ihr Summenwert konstant bleibt. Merke:

**Was an der einen Energie verloren wird,
wird an anderen gewonnen**

Dieser Satz krönt unsere Erkenntnis über die Natur. Er heißt der Satz von der Erhaltung der Energie.

ABC-Renner

Adhäsion 7, 55.
Akkumulator 148, 163.
Ampere, das 146. —
 Schwimmregel 151.
Amperemeter 162.
Aneroid 59.
Anode 146.
Aräometer 54.
Arbeit 31, 179.
Arbeitsübertragung, el. 175.
Archimedisches Prinzip 52.
Artesische Brunnen 51.
Atmosphärendruck 45, 57.
Auftrieb 53.

Barometer 58.
Batterie, el. 143.
Beharrungsvermögen 16.
Beschleunigung 18.
Bewegungsenergie 180.
Blitzableiter 141.
Bodendruck 46.
Bogenlicht 149.
Brechung des Lichtes 105, 111.
Brennpunkt 100, 104, 112.

Camera obscura 95.
Chemische Wirkung des el. Stromes 145.

Dampf 80.
 — -maschine 82.
Daniellsches Element 143.
Dasymeter 68.
Davyscher Flammenbogen 150.
Deklination 127.
Destillieren 81.
Dezimalwaage 40.
Dispersion 110.
Drehmoment 38.
Druckpumpe 64.
Dyn 179.
Dynamomaschine 172.
 — -meter 9.

Echo 87.
Effekt 32.
Elektrizität, atm. 140.
 —, pos. und neg. 129.
El. Wind 139.
Elektrischermaschine 135.
Elektrolyse 147.
Elektromagnet 152.
Elektrometer nach Braun 131.
Elektromotor 157.
Elektrophor 134.
Elektroskop 130.
Energie 175, 180.
Erdabplattung 24.
 — -beschleunigung 20.
 — -drehung 17.
 — -magnetismus 126.
 — -winde 41.

Expansion 3.
Extrastrom 168.

Fallgesetze 19.
Farbenzerlegung 110.
Federmanometer 45.
Federwaage 8.
Fernrohr, astr. 120.
 —, holl. 121.
Fernsprechanlage 170.
Feuchtigkeit, atm. 82.
Feuerspritze 64.
Flaschenzug 35.
Foucaultscher Pendelversuch 17.
Funkeninduktor 169.

Galv. Element 141.
Galvanometer 153.
 — -plastin 148.
Gay Lussac 75.
Gasthermometer 75.
Geißlersche Röhre 140.
Geschwindigkeit 15.
Gewicht der Luft 10.
Gleichgewicht 25.
Glühlampe 149.
Gold. Regel der Mechanik 33.
Grammescher Ring 157, 172.

Haarröhrchen 55.
Hebel 36.
Heber 65.
Hefnerkerze 95.
Heronsball 64.
Höhenmessung, bar. 60.
Hohlspiegel 100, 102.
Hydraulische Presse 45.
Hygrometer 82.

Indifferent 29.
Indifferenzzone 122.
Induktion 166.
Induktor 168.
Influenz, el. 132.
 —, magn. 124.
 — -maschine 135.
Inklination 128.
Intervall 88.
Isobaren 61.

Käfigversuch 138.
Kalorie 77.
Kältemischung 71.
Kammerton 88.
Kapillarität 55.
Kathode 146.
Keil 27.
Klingel, el. 154.
Kohäsion 7.
Kommunizier. Gefäße 50.
Kompaß 123.
Kondensation 81.
Kondensator, el. 137.

Kräfteparallelogramm 26.
Kraftlinien 125.
Kraftzerlegung 26.
Kreisbewegung 23.

Labil 30.
Leistung 32.
Leitungswiderstand 159.
Leidener Flasche 137.
Lichtgeschwindigkeit 97.
Lichtstärke 96.
Linsen 111.
Luftballon 68.
Luftdruck 57.
 — -pumpe 66.
Lupe 118.

Magnetisches Feld 125.
 — — des Stromes 151.
Magnetismus der Lage 128.
Manometer 57.
Mariottes Gesetz 61.
Massengramm 178.
Meniskus 56.
Meridian, magn. 127.
Meterkilogramm 31.
Mikrophon 171.
Mikroskop 119.
Monochord 90.

Neutraler Körper 132.

Objektiv 120.
Ohm, das 159.
Oktave 85.
Oкуляр 120.

Papinscher Topf 81.
Parallelogramm der Wege 21.
 — — Kräfte 26.
Passat 47, 60.
Pendel 13.
Pfeifen 91.
Pferdestärke 32.
Phonograph 92.
Photographenapparat 118.
Photometer 96.
Planparallele Platte 108.
Polarisation 148.
Prisma 109.
Projektionsapparat 119.

Radiometer 181.
Rechtchandregel 167.
Reibung 31.
Resonanz 91.
Resultante 26.
Rezipient 66.
Rheostat 159.
Rolle 34.
Röntgenstrahlen 169.

Römische Schnellwaage 40.
Rundfunkanlage 176.

Saiten 90.
Saugheber 65.
— -pumpe 63.
Schaltung der Elemente 143.
— der Glühlampen 162.
Schiefe Ebene 41.
Schmelzpunkt 80.
Schmelzwärme 80.
Schraubenschlüssel 43.
Schreibtelegraph 154.
Schwerpunkt 28.
Schwimmen 54.
Schwungmaschine 24.
Segnersches Wasserrad 49.
Sekundenpendel 15.
Selbsterregung 136.
Selbstinduktion 168.
Siedepunkt 81.
Sirene 87.
Spektrum 110.
Spez. Gewicht 9, 53.

Spez. Wärme 77.
— Widerstand 160.
Spiegel 97, 99.
Spitzenwirkung 139.
Springbrunnen 51.
Stahl 50.
Stechheber 65.
Stimmgabel 90.
Strahlenbrechung, atm. 106.
Stromstärke 162.

Telegraphie 154.
Telephon 170.
Thermoelektrizität 165.
Thermometer 70.
Tonleiter 88.
Torricellischer Versuch 58.
Trägheit 16.
Transformator 175.
Transformation der Arbeit 33.
Turbine 50.

Vakuum 59.
Verbrennungswärme 78.

Verdampfen 81.
Verdunstungskälte 82.
Volt 162.
Volta-Element 143.

Waagen 8, 9.
Wagnerscher Hammer 154.
Wärmeleitung 78.
— -wirkung des el. Stromes 149.
Wasserpumpen 63.
— -waage 8.
— -zersetzung 146.
Watt 162.
Wechselstromdynamo 173.
Wellrad 40.
Wetterkarte 60.
Widerstand, el. 160.
Wurflinie 22.

Zentrifugalkraft 23.
Zerlegung des Wassers 145.
— — Lichtes 109.
— der Kräfte 26.

Anhang: Chemie

§ 1. Wie erkennt man einen Stoff?

1. Um einen Stoff wiederzuerkennen, muß man sich dessen besondere Eigenschaften merken. Dann kann man z. B.

a) Verfälschungen nachweisen (Abb. 395):

Beispiel. Weizenmehl ist weiß; Gipsmehl ist weiß. Gewissenlose Händler vermischen beide; die Mischung ist auch weiß. Wie kann man die Fälschung erkennen? — Mische Weizenmehl in Wasser! [Ergebnis: Weiße Flüssigkeit.] Mische Gipsmehl in Wasser! [Ergebnis: Der Gips sinkt rasch zu Boden.] Bring das verfälschte Mehl in Wasser! [Der Gips setzt sich zu Boden (Abb. 1); die Fälschung ist erkannt.]

b) Verwechslungen vermeiden (Abb. 396):

Salzsäure ist von Essig bei Verwechslung der Flaschen schwer zu unterscheiden, da man im Zweifelsfalle daran nicht lecken soll. Taucht man aber ein Hölzchen



Abb. 395
Prüfung des Mehles



Abb. 396
Prüfung der Salzsäure



Abb. 397
Prüfung von Kohlensäuregas

in Salmiakgeist (der sich meist in der Hausapotheke befindet, Salmiakgeist dient auch zum Waschen) und hält es über Salzsäure, so bilden sich sofort **weiße Nebel** (Abb. 396). Hält man es über eine andere Flüssigkeit, so bemerkt man nichts.

Ein Mittel, durch das man einen Stoff mit Sicherheit erkennt, nennt man ein Reagens. Merke:

|| Salmiakgeist ist ein Reagens für Salzsäure.

Achtung. Stark verdünnte Salzsäure zeigt diese Erscheinung nicht mehr.

c) **Gase unterscheiden**; so z. B. die uns umgebende atmosphärische Luft (die wir einatmen) von dem Kohlensäuregas (das wir ausatmen). (Abb. 397.)

Beide Gase sind unsichtbar. — Bläst man aber Kohlensäuregas (mittels eines Gläseröhrchens) in **Kalkwasser**, so trübt sich letzteres. Nicht so, wenn wir gewöhnliche Luft (mittels eines Blasebalgs, Abb. 397) hindurchtreiben. Merke:

|| **Kalkwasser** ist ein Reagens für **Kohlensäuregas**.

2. Man unterscheidet zweierlei Eigenschaften: a) **Physikalische**; diese beziehen sich nur auf den Zustand eines einzelnen Stoffes (z. B. Farbe, Schwere, Schmelzpunkt usw.).

b) **Chemische**; diese beziehen sich auf die gegenseitige Einwirkung zweier Stoffe, wobei neue Stoffe auftreten.

Bei feuchter Luft entsteht aus Eisen **Rost**; bei Auftreten von Pilzen auf süßem Obst entsteht eine **faulende Masse** usw.

Fragen zur Wiederholung

1. Wie könnte man zeigen, daß in Selterswasser Kohlensäuregas enthalten ist? (Eingießen in ?) — 2. Wirf ein Stückchen Soda in Essig; es braust im Gas auf! Wie könnte man zeigen, daß dieses Kohlensäuregas ist? — 3. Bring Brausepulver in Wasser und gieße etwas davon in Kalkwasser; worauf deutet die Trübung hin?

§ 2. Was geschieht, wenn man zwei verschiedene Stoffe zusammenbringt?

Man bringt die zwei Stoffe am besten in feinsten Verteilung zusammen; dann können zwei Fälle eintreten:

1. **Bei der Vermischung ereignet sich nichts**; die Teilchen des einen Stoffes liegen neben den Teilchen des anderen Stoffes.

|| Man spricht dann von einem Gemenge.

Beispiel. Menge Schwefel- und Eisenpulver in einer Reibschale (Abb. 398); es ereignet sich nichts.



Abb. 398. Reibschale

a) Mit der **Lupe** kann man leicht die Eisenteilchen von den Schwefelteilchen unterscheiden. — b) Nähert man dem Gemenge einen **Magnet**, so zieht dieser nur das Eisen an sich, den Schwefel kann man wegblasen. — c) Schüttelt man das Gemenge in **Wasser**, so sammelt sich am Boden vornehmlich das Eisen und darüber der Schwefel an. (Schlämmen.)

2. **Bei der Mischung vereinigen sich beide Stoffe zu einem neuen Stoff**, der andere Eigenschaften hat als die Teile.

|| Dann liegt eine chemische Verbindung vor.

Beispiel. Mische genau vier Gewichtsteile Schwefel- mit sieben Gewichtsteilen Eisenpulver, bringe das Gemenge in ein Probier- (= Reagens-) Rohr und erhitze letzteres gelinde am Ende (Abb. 399).

Ergebnis: a) Es tritt dort ein **Erglühen der Masse** auf, das sich nach Wegnahme der Flamme von selbst im Gemisch fortpflanzt.

Die Glut ist dabei oft so stark, daß das Röhren zerspringt.



Abb. 399. Herstellung von Schwefeleisen

b) Nach dem Zerschlagen des Röhrchens findet sich ein vollkommen **neuer Stoff** vor.

Pulverisiert man ihn, so kann man weder mit der Lupe noch durch Schlämmen Schwefel und Eisen unterscheiden. Er ist unmagnetisch.

|| Die **Entscheidung** darüber, daß ein neuer Stoff entstand, bringt hier die **Salzsäure**.

Gießt man diese auf den neuen Stoff, so entsteht ein nach faulen Eiern riechendes Gas (genannt **Schwefelwasserstoff**). Dieses tritt nicht auf, wenn man die Salzsäure auf das bloße Gemenge von Schwefel und Eisen gießt.

3 **Einen neuen Stoff** bezeichnet der Chemiker meist nach den Teilen, aus dem er entstand. Der oben aus Eisen und Schwefel entstandene neue Stoff heißt demnach **Schwefeleisen**. — Den Vorgang der Vereinigung nennt man einen chemischen Prozeß oder eine chemische Reaktion.

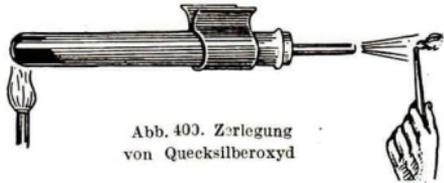


Abb. 403. Zerlegung von Quecksilberoxyd

4. Die **Herstellung neuer Stoffe** aus gegebenen Materialien ist eine erste Aufgabe der chemischen Technik. Merke:

|| Den **Aufbau** eines Stoffes aus einfacheren Teilen nennt man **Synthese (Zusammensetzung)**.

§ 3. Zerlegung

1. **Quecksilberoxyd** ist ein rotes, schweres Pulver.

Man bringt davon eine kleine Menge (z. B. 5 g) in eine (schwer schmelzbare) Glühröhre (Abb. 400), deren oberes Ende man mit feuchtem Papier umwickelt, und schließt an dieses luftdicht ein Leitungsrohr an.

Erhitzt man das Pulver, so verschwindet es allmählich; dafür treten zwei neue Stoffe auf:

a) Am gekühlten Ende scheiden sich glänzende Tröpfchen ab. Diese erweisen sich als **Quecksilber**.

b) Aus dem Rohr strömt ein Gas aus, das einen glimmenden Holzspan zu entflammen vermag. Der Chemiker nennt dieses Gas: **Sauerstoff (Oxygenium)**. Ergebnis:

|| Das rote Pulver zerfiel in Quecksilber und Sauerstoff.

Es muß also eine chemische Verbindung beider Stoffe gewesen sein. Die Verbindung eines Stoffes mit Sauerstoff nennt der Chemiker Oxyd: Daher heißt das rote Pulver folgerichtig: Quecksilberoxyd.

Merke: 5 g Quecksilberoxyd geben rund $\frac{1}{4}$ Liter Sauerstoff.

2. Die zweite Aufgabe der chemischen Technik ist die, zusammengesetzte Stoffe durch geeignete Hilfsmittel (Erhitzung, Elektrisierung) in einfachere Stoffe zu zerlegen.

|| Merke: Die Zerlegung heißt Analyse.

3. Bei der fortgesetzten Zerlegung muß man schließlich auf Stoffe kommen, die man nicht weiter zerlegen kann. Diese nennt man Grundstoffe oder chemische Elemente. Man kennt davon zur Zeit 92.

Jedem Grundstoff gibt man als Zeichen den Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens. Haben mehrere Elemente den gleichen Anfangsbuchstaben, so wird diesem ein weiterer Buchstabe angefügt.

Wasserstoff H (Hydrogenium = Wasserbildner)	Quecksilber Hg (Hydrargyrum = Wassersilber)
Sauerstoff O (Oxygenium)	Silber Ag (Argentum)
Schwefel S (Sulphur)	Gold Au (Aurum)
Kohlenstoff C (Carbon)	Eisen Fe (Ferrum)
Chlor Cl (cloros = grün)	Kupfer Cu (Cuprum)
	Blei Pb (Plumbum)

4. Aus gewaltigen Stoffmassen ist der Erdkörper aufgebaut. Denk an Gebirge, Meer und an die Lufthülle der Erde! All diese Stoffe auf die Grundstoffe zurückzuführen ist ein Triumph der Erkenntnis. Wie dies geschieht, wollen wir am Beispiel der atmosphärischen Luft, am Wasser und am Kochsalz zeigen.

Untersuchung der atmosphärischen Luft

§ 4. Die Verbrennungerscheinung (1783)

1. Bei der Verbrennung wird Luft verbraucht. Dies erkannte als erster Lavoisier 1783.

Stelle eine Kerzenflamme unter eine Glasglocke! [Ergebnis: Sie erlischt nach kurzer Zeit.] — Bedecke eine Spiritusflamme mit einem Deckel! [Sie erlischt sofort.] — Blase Luft mit einem Blasebalg gegen ein Feuer! [Ergebnis: Es brennt lebhafter.]

2. Beim Verbrennen verschwindet der Körper (die Kerze brennt ab; die Zigarre geht zu Ende). Dafür treten **Verbrennungsprodukte** auf. Diese sind entweder nur gasförmig (wie beim Verbrennen einer Kerze) oder teilweise fest, teilweise gasförmig (Zigarrenrauch und Asche) oder nur fest (wie z. B. beim Verglimmen von Eisenpulver, Abb. 402).

3. **Gewicht vor und nach der Verbrennung?** Dabei muß man sämtliche Verbrennungsprodukte berücksichtigen.

Um dies z. B. bei einer **Kerze** zu erreichen (Abb. 401), läßt man sie innerhalb eines Lampenzylinders brennen, der über einem Sieb **Ätznatron** enthält. [Letz-

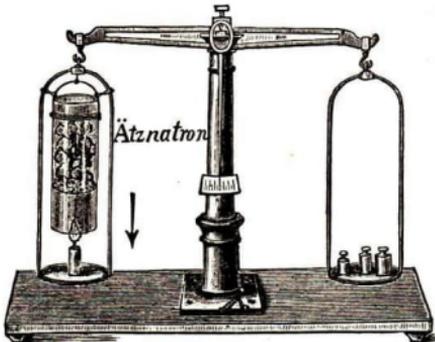


Abb. 401. Die Kerze wird schwerer

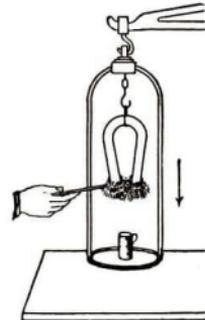


Abb. 402. Verbrennen von Eisenpulver

teres hält nämlich die aufsteigenden Verbrennungsgase zurück.] Wird die Vorrichtung auf der Waage ins Gleichgewicht gesetzt und die Kerze alsdann entzündet, so senkt sich die Schale mit der Kerze. Merke also:

|| **Ein Körper wird bei der Verbrennung schwerer.**

Einfacher läßt sich dies erweisen, wenn das Verbrennungsprodukt fest ist. Beispiel:

Bring einen kleinen **Hufeisenmagneten** (Abb. 402), der mit einem Barte von Eisenpulver versehen ist, an der Waage ins Gleichgewicht und zünde das Eisen an (wozu ein Zündholz genügt)! Ergebnis: Es senkt sich auch hier die Waage nach der Seite des verbrennenden Körpers.

4. **Folgerung.** Beim Verbrennen muß sich ein **Stoff aus der Luft** mit dem Körper vereinigt haben, der das Gewicht des Körpers vergrößert.

5. **Um festzustellen**, ob die ganze Luft oder nur ein **Teil der Luft** beim Verbrennungsprozesse wirksam ist, nimmt man die Verbrennung in einer abgeschlossenen Luftmenge vor.

a) Dazu verbrennt man am besten **Phosphor unter einer Glasglocke**, die in Wasser steht (Abb. 403). Diese schließt eine bestimmte Luftmenge ab.

Auf einer kleinen Porzellanschale, die unter der Glocke auf Wasser schwimmt, liegt etwas gelber Phosphor. Diesen entzündet man durch einen in einer Gasflamme angewärmten Metalldraht. Ergebnis: Der Phosphor verbrennt unter Bildung von weißen Rauchwolken, die sich aber bald restlos im Wasser auflösen. Dabei steigt das Wasser empor, und zwar um rund $\frac{1}{5}$ des früheren Luftinhaltes.

b) Bei genaueren Versuchen bringt man den Phosphor in eine zylindrische **Meßröhre**, die in Wasser steht (Abb. 404).

Ergebnis: Das Wasser steigt allmählich empor. — Daß es sich auch hier um eine Verbrennung handelt, die allerdings ohne Flammenteerscheinung vor sich geht, kann man an der Wärmeentwicklung merken. — Ergebnis:



Abb. 403

Verbrennen von Phosphor

Bei der Verbrennung wird nur rund $\frac{1}{5}$ der Luft verbraucht. Der Rest unterhält die Verbrennung nicht.

Beweis: Führt man bei dem ersten Versuch durch die

Öffnung der Glocke oben eine brennende Kerze hinein, so erlischt diese sofort.

Den bei der Verbrennung verschwindenden Luftbestandteil nennt man **Sauerstoff**; der Rest ist **Stickstoff**. Merke:

Die atmosphärische Luft ist ein Gemenge von
21 % Sauerstoff + 78 % Stickstoff

Daneben enthält sie noch geringe Mengen Wasserdampf und Kohlensäure, die wir ausatmen, und knapp 1% Edelgase.

6. **Geschichtliches.** Sauerstoff wurde 1774 von *Priestley* und *Scheele* entdeckt. 1783 zeigte *Lavoisier*, daß die Verbrennung der Körper in Luft den Verbindungsvorgang derselben mit Sauerstoff darstellt.

§ 5. Herstellung von reinem Sauerstoff (O)

1. Die Herstellung aus der Luft ist deshalb schwierig, weil der Stickstoff der Luft nicht leicht wegzuschaffen ist. (Letzterer geht sehr ungenen Verbindungen ein.)

2. Aus Kaliumchlorat. Dies ist ein weißes Salz, das beim Erhitzen seinen nur lose gebundenen Sauerstoff sehr leicht abgibt. Dasselbe

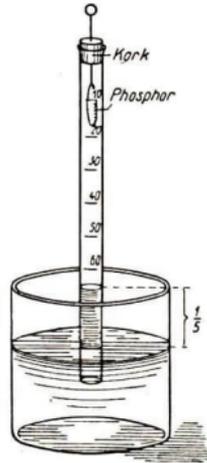


Abb. 404. Meßröhre

gilt vom **Braunstein**. Ein Gemisch beider gibt beim Erhitzen auch Sauerstoff ab. (Obacht: Erhitze mäßig!)

Der **Braunstein** bleibt bei diesem Prozeß merkwürdigerweise **unverändert**; er wirkt nur durch seine **Anwesenheit**, und zwar bewirkt er, daß das chloresaurer Kali, das seinen Sauerstoff explosiv bei 330° abgibt, schon bei bedeutend niedrigerer Temperatur und in ruhiger Weise Sauerstoff liefert. Man sagt: Der Braunstein hat nur **katalytische** [= anregende] Wirkung.

3. Auffangen des Gases (Abb. 405). Man erhitzt das Salzgemisch in einer schwer schmelzbaren Retorte und leitet das entweichende Gas in einen mit Wasser gefüllten Zylinder, der mit der Mündung nach unten in einer sog. **pneumatischen Wanne** steht.

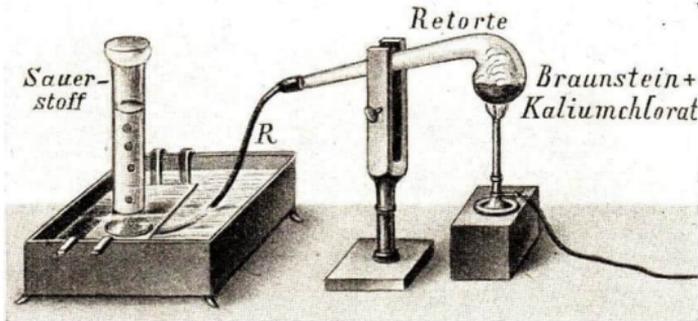


Abb. 405. Darstellung von Sauerstoff

Die pneumatische Wanne ist ein mit Wasser gefüllter Trog, in dem sich ein durchlöcherter Steg befindet. Man bringt den mit Wasser gefüllten Glaszylinder mit der verschlossenen Öffnung unter Wasser, stellt ihn auf den Steg und nimmt den Verschuß weg.

Zum **Auffangen größerer Mengen** von Sauerstoff dient der **Gasometer** (Abb. 406).

Dabei wird das Gasrohr *R* (der Abb. 405) beim Stopfen *S* (Abb. 406) in den vorher ganz mit Wasser gefüllten Gasometer eingeführt, wobei man den Hahn *b* öffnet.

4. Die Verbrennung in reinem Sauerstoff ist sehr lebhaft. Man fülle vier Flaschen mit reinem Sauerstoff. a) In die erste führe man auf einem Drahtlöffel brennenden **Schwefel** ein (Abb. 407). Er verbrennt mit großer blauer Flamme. Dabei entsteht ein Gas von stechendem Geruch. Es stellt die chemische Verbindung von **Schwefel und Sauerstoff** dar. Merke:

|| Die **chemische Verbindung** eines Stoffes mit Sauerstoff heißt **Oxyd**; der Vorgang **Oxydation**.

Der Chemiker nennt das hierbei entstehende Gas (aus gewissen rechnerischen Rücksichten) **Schwefeldioxyd**.

Ist etwas Wasser in der Flasche, so löst sich das Schwefeldioxyd im Wasser beim Schütteln der Flasche und die entstehende Flüssigkeit schmeckt sauer und heißt **schwefelige Säure**.

Reagens auf Säure. Es wäre oft sehr gefährlich, eine Säure mit der Zunge zu prüfen. Dafür benutzt der Chemiker das **blaue Lackmuspapier**:

|| Blaues Lackmuspapier wird in Säure rot.

b) In die zweite Flasche bringen wir angeglühte **Holzkohle**. Sie verbrennt mit lebhaftem Glanze (Abb. 408). Dabei entsteht in der Flasche ein Gas, das beim Schütteln mit Kalkwasser (Abb. 3) letzteres trübt, also das uns schon bekannte Kohlendioxyd. Der Chemiker nennt es **Kohlendioxyd**.

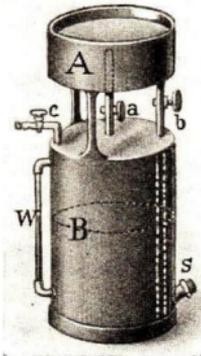


Abb. 406. Gasometer



Abb. 407. Schwefel

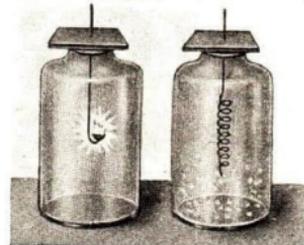


Abb. 408. Kohle Abb. 409. Eisen
Verbrennung in reinem Sauerstoff

Ist gewöhnliches Wasser in der Flasche, so verbindet sich das Kohlendioxyd mit diesem zu einer angenehm säuerlich schmeckenden Flüssigkeit; letztere heißt **Kohlensäure**.

c) In die dritte Flasche bringen wir brennendes **Natrium**.

Natrium ist ein silberweißes, wachsweches Metall, das man zum Schutz vor Oxydation unter Petroleum aufbewahrt.

Die Verbrennung erfolgt wieder mit prächtigem Glanze (Abb. 408). Der dabei entstehende weiße Rauch ist **Natriumoxyd**.

Ist in der Flasche etwas Wasser, so löst sich der Rauch beim Schütteln der Flasche darin auf; er verbindet sich chemisch mit dem Wasser. Die entstehende Flüssigkeit schmeckt aber nun **laugenartig** und heißt **Natronlauge**. Merke:

|| Rotes Lackmuspapier wird in Lauge blau.

d) In die vierte Flasche, die etwas Wasser enthält, bringen wir rasch eine an der Spitze angeglühte stählerne Uhrfeder. Diese verbrennt unter lebhaftem Funkensprühen (Abb. 409).

Die abgeschleuderten Teilchen bestehen aus **Eisenoxyd**; sie sind fest und lösen sich in Wasser nicht auf.

5. Langsame Oxydation. Der normalen Oxydation, die besonders in reinem Sauerstoff unter lebhafter Licht- und Wärmewirkung vor sich geht, steht gegenüber die langsame oder stille Oxydation, die meist schon bei geringer Temperatur und ohne jede Feuererscheinung sich abspielt.

Flüssiges Blei überzieht sich an der Luft von selbst mit einer gelblichen Haut von Bleioxyd. — Metalle, die sich bei längerem Liegen an der Luft oder beim Erhitzen mit einer Oxydschicht überziehen, nennt man kurz **unedle Metalle**. (Edelmetalle sind Silber, Gold, Platin.)

6. **Ein Beispiel langsamer Oxydation bietet der Atmungsprozeß**. Beim Einatmen der Luft kommt Sauerstoff in die Lungen; dieser wird von den roten Blutkörperchen aufgenommen und beim Blutkreislauf, der durch die Herzpumpe aufrechterhalten wird, den verschiedenen Teilen des menschlichen Körpers zugeführt. Dort findet stille Oxydation unter entsprechender Wärmeentwicklung statt. Ergebnis:

|| Mittlere Körpertemperatur **37,4° C**.

Das entstehende Kohlendioxyd wird von denselben roten Blutkörperchen aufgenommen (die sich dabei dunkel färben) und in der Lunge beim Ausatmen abgegeben. Merke:

|| Wir atmen täglich **~450 Liter Kohlendioxyd** aus.

7. **Die Pflanzen** verzehren bei Tage Kohlendioxyd und atmen Sauerstoff aus.

a) **Die Aufnahme des Kohlendioxyds** geschieht nur von den grünen Teilen der Pflanze durch winzige Spaltöffnungen und nur bei Licht. Merke: Dem **Hämoglobin** der roten Blutkörperchen entspricht das **Blattgrün** oder **Chlorophyll** der Pflanzen.

b) **Nachweis des ausgeatmeten Sauerstoffs**. Man fülle eine große Flasche (Abb. 411), die mit schwach kohlenensäurehaltigem Wasser gefüllt ist, mit Blättern (am besten empfiehlt sich Wasserpest = *Helodea canadensis*) und stelle sie ins **Sonnenlicht**. Es steigen dann fortgesetzt Gasblasen auf, die sich beim Auffangen als Sauerstoff erweisen.

Den Vorgang der Aufnahme und Verarbeitung von CO_2 durch die Pflanze nennt man **Assimilation** (Angleichung). Der in die Pflanze eintretende Kohlenstoff dient in verschiedenen Verbindungen zum Aufbau der Pflanze.

Merke: Der ganze Kohlenstoffgehalt eines Baumes stammt aus dem in der Luft enthaltenen Kohlensäuregas.

Bei Nacht hört die Wirkung des Blattgrüns auf.

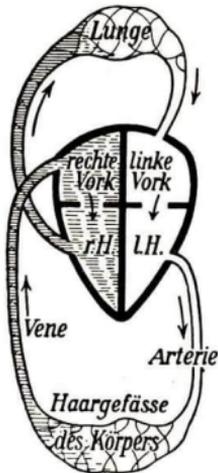


Abb. 410. Blutkreislauf
[nur schematisch]

Die „Ernährung“ durch Kohlendioxyd ist beendet. Daneben atmen die Pflanzen bei Tag und Nacht auf der Unterseite der Blätter Sauerstoff ein und Kohlendioxyd aus (genau wie Menschen und Tiere).

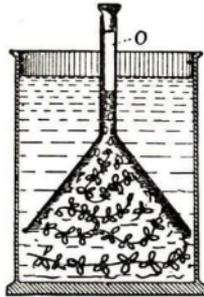


Abb. 411. Entwicklung von O_2
durch Pflanzen (am besten
eignet sich Wasserpest = Helodea)

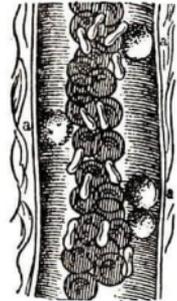


Abb. 412. Rote und weiße
Blutkörperchen in der Ader

8. Ozonreiche Luft in Wäldern? Ozon riecht man in der Nähe von Elektrisiermaschinen und Phosphorstangen. Ozon ist eine Art chemisch verdichteter Sauerstoff.

Läßt man längere Zeit den elektrischen Funken durch eine abgemessene Sauerstoffmenge gehen (Abb. 416), so verringert sich dessen Volumen auf $\frac{2}{3}$. (Aus 3 Teilen O werden 2 Teile Ozon.)

Untersuchung des Wassers

§ 6. Zerlegung des Wassers in 2 Gase

1. Wasser kann man durch den elektrischen Strom in 2 Gase zerlegen. Diese Zerlegung heißt Elektrolyse. Zur Ausführung dieser Elektrolyse dient zumeist der Wasserzersetzungsapparat nach Hofmann (Abb. 413).

Dieser besteht aus zwei kommunizierenden Glasröhren 1, 2, die oben durch Hähne verschließbar sind. In diesen Röhren sind Platinelektroden eingeschmolzen, zu welchen die Zuleitungsdrähte führen.

Eine dritte Röhre dient nur zur Aufnahme des bei der Gasentwicklung zurückgedrängten Wassers.

Das Platinblech, das mit dem **positiven Pol** der elektrischen Batterie verbunden ist, heißt **Anode**, das andere Kathode.

Den Apparat füllt man mit Wasser an, das man durch Zusatz von etwas Schwefelsäure leitend gemacht hat. Dann schließt man die Hähne und läßt den Strom durchgehen. Ergebnis: An beiden Elektroden brausen Gasblasen auf. Es zeigt sich, daß an der **Anode halb** soviel Gas ausgeschieden wird wie an der Kathode.

a) Öffnet man den Hahn über der Anode, so gibt sich das hier aus strömende Gas durch die Entflammung eines glimmenden Holzspans als **Sauerstoff** zu erkennen.

b) Öffnet man dagegen den Hahn an der Kathode, so läßt sich das austretende Gas entzünden. Das neu erkannte brennbare Gas nennt man **Wasserstoff** (chemisches Zeichen **H**, von Hydrogenium).

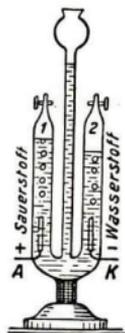


Abb. 413

Wasser besteht also aus Wasserstoff und Sauerstoff

2 Raumteile

1 Raumteil

2. Wasser kann man umgekehrt aus Wasserstoff und Sauerstoff wiederherstellen. [Synthese.]

Dies haben wir bereits ausgeführt, als wir den Wasserstoff **anzündeten**. In der Tat, halten wir ein kleines trockenes Becherglas über die Flamme brennenden Wasserstoffs (vgl. auch Abb. 424), so bemerken wir an dessen Wänden einen feuchten Beschlag, der von dem entstandenen **Wasser** herrührt.

3. Knallgas entsteht, wenn man Wasserstoff und Sauerstoff im **Volumverhältnis 2 : 1** mischt. Es ist ein höchst explosives Gemenge. Dies lehrt der Seifenblasenversuch (Abb. 414).

Versuch: Leitet man das Gasgemisch in eine Seifenlösung und entzündet die Gasblasen mit einem langen brennenden Holzspan (nachdem die Verbindung mit dem Zersetzungsapparat gelöst ist!), so erfolgt die Verbrennung unter heftigem Knall (Abb. 415).

Knallgas erhält man natürlich auch durch die Mischung von **Wasserstoff und Luft**.

Stärkste Explosion in Luft tritt ein, wenn 2 Teile H auf 1 Teil O [d. h. 5 Teile Luft] treffen.

Vorsicht. Der aus Entwicklungsapparaten strömende Wasserstoff ist nicht eher anzuzünden, als bis die Luft vollständig verdrängt ist. Da unser **Leuchtgas** an 50% Wasserstoffgas enthält, so erklärt sich die Explosionsgefahr in Räumen, in denen Leuchtgas ausgeströmt ist, wenn sie mit offenem Lichte betreten werden.



Abb. 414. Knallgas in Seifenwasser

Die Knallgasflamme ist von **bedeutender Hitze (3000° C)**. Um dies zu zeigen, dient der **Daniellsche Hahn** (Abb. 415).

Dabei wird durch ein enges Rohr der Sauerstoff, durch ein umgebendes weiteres Rohr Wasserstoff zugeführt. Die Flamme des Knallgasgebläses hat eine so gewaltige Wärmeentwicklung, daß Uhrfederstahl darin versprüht, Platindraht schmilzt, eine Kalkscheibe mit außerordentlich hellem Licht erglüht (Drummondsches Kalklicht).

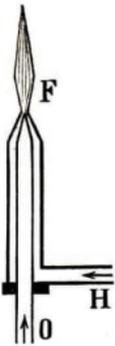


Abb. 415
Knallgasgebläse



Abb. 416
Wassersynthese

4. Verbrennt Wasserstoff, so entsteht Wasserdampf. Dieser zeigt nur $\frac{2}{3}$ des Volumens des Knallgases, aus dem er entstand. [Natürlich nur bei gleich hoher Temperatur, z. B. 100° C.]

Um dies zu zeigen, benutzt man das mit Knallgas gefüllte **Eudiometerrohr** (Abb. 416), in das oben zwei Platinspitzen eingeschmolzen sind. — **Versuch:** Erwärme zunächst das Knallgas auf 100° C (durch Wasserdampf gemäß Abb. 416). [Ergebnis: Es nimmt ein bestimmtes Volumen ein.] — Dann lasse mit Hilfe des Induktors durch die Platinspitzen einen elektrischen Funken gehen. [Ergebnis: Aufwallen des abschließenden Quecksilbers; das Volumen geht auf $\frac{2}{3}$ zurück.]

Merke: 2 Liter H + 1 Liter O = 2 Liter Wasserdampf

5. Gewöhnliches Wasser ist unrein. Es enthält meist geringe Mengen von festen und gasförmigen Körpern aufgelöst (z. B. von Gips, Kalk, Luft, Kohlensäure).

a) **Chemisch reines Wasser (Aqua destillata)** erhält man, indem man das gewöhnliche Wasser destilliert.

Dabei erhitzt man das Wasser in einem Glaskolben (Abb. 417) und leitet den entstehenden Dampf in eine gekühlte Vorlage. Die festen Beimengungen bleiben zurück, die gasförmigen entweichen. Der Wasserdampf kondensiert sich zu reinem Wasser. Dieses hat einen **faulen Geschmack**, der an den Geschmack des Regenwassers erinnert. (Grund?)

Beim Destillieren benutzt man gern den **Liebigschen Kühler** (Abb. 418). Dabei wird Kühlwasser um das Dampfrohr geleitet.

b) **Gebrauch der Filter.** Das Trinkwasser muß zuweilen vom nächsten Fluß bezogen werden. Dieser enthält allerlei Unreinigkeiten, wie Schlamm und feinste Gesteinsteilchen. Nicht verschwiegen darf werden, daß die Städte, die an Flüssen liegen, ihren Unrat und ihr Abwasser in diese

leiten. Das Flußwasser unterhalb dieser Orte ist schmutzig und ekelhaft.

Glücklicherweise sinkt der Schmutz bald unter und wird von kleinsten Lebewesen verbraucht; auch hat das Sonnenlicht die Eigenschaft, die Krankheitskeime bald zu töten.

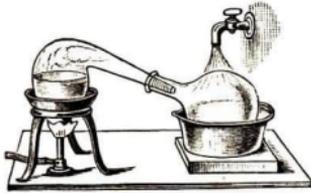


Abb. 417. Destillieren

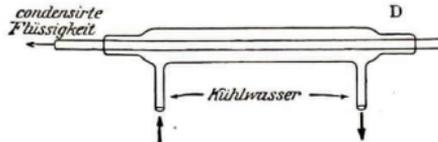


Abb. 418. Liebig'scher Kühler

Städte am Unterlauf der Flüsse müssen das benutzte Flußwasser vor dem Gebrauch filtrieren, so z. B. Hamburg.

Eine **Großfilteranlage** zeigt Abb. 419. Außerdem ist jedem Wasserhahn in der Küche ein **Berkefeldfilter** vorzuschalten (Abb. 420). Dabei muß das Wasser noch durch einen Zylinder *C* aus Kieselgur gehen.

6. a) Wasser ist ein gutes **Lösungs- und Verdünnungsmittel**. (Kaffeebrühe, Teeabsud; Bier, Milch und Wein enthalten Wasser als Lösungs-



Abb. 419. Große Filteranlage

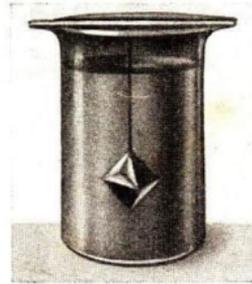
Abb. 420
Berkefeldfilter

Abb. 421. Alaun

mittel für andere Stoffe.) Die **Heilwässer der Bäder** enthalten Heilstoffe aufgelöst, z. B. Kohlendioxyd, Bittersalz, Schwefelwasserstoff, Radium.

Gießhübler; Karlsbader; Emser Wasser. — Moorbäder für Gichtleidende. — Schwefelbäder gegen Hautausschläge.

b) Aus dem Wasser scheiden sich beim Eindampfen die gelösten Stoffe oft in schöner **Kristallform** aus (Abb. 421).

Hängt man z. B. in eine konzentrierte Alaunlösung einen schön ausgebildeten kleinen Alaunkristall, so wächst dieser in dem Maße, als das Wasser abdampft, immer mehr. So züchtet man **große Kristalle**.

|| Kristalle sind Körper, die unter bestimmten Winkeln leicht spaltbar sind.

Daher ihre bestimmte geometrische Form. Sie treten häufig auch in der Natur auf (Abb. 440, 443, 449, 494).

Betrachte Kochsalz unter dem Mikroskop! [Kleine Würfelchen.]

§ 7. Herstellung von Wasserstoff (H)

1. Aus dem Wasser. Dies geschieht mit Hilfe von Metallen, die sich gierig mit Sauerstoff verbinden. Am wirksamsten sind Natrium und Kalium.

Dies sind zwei Metalle, leichter als Wasser, die unter Petroleum aufbewahrt werden müssen. An den frischen Schnittflächen zeigen beide Silberglanz, der aber rasch verschwindet. Sie sind weich wie Wachs.

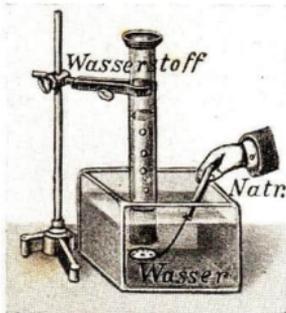


Abb. 422

Wirft man sie auf Wasser, so eilen sie in lebhafter Bewegung darauf umher, das Natrium ohne Flammerscheinung, solange es in seiner Bewegung nicht gehemmt wird, das Kalium mit violetter Flamme. Bringt man das Natrium mittels eines Sieblöffels unter einen (vollständig!) mit Wasser gefüllten Auffangzylinder (Abb. 422), so entwickelt sich aus dem Wasser lebhaft der gewünschte Wasserstoff,



Abb. 423

da sich das Natrium mit dem Sauerstoff des Wassers vereinigt. Dadurch erhält das zurückbleibende Wasser laugenartigen Geschmack (§ 5, 4c).

2. Drei Eigenschaften des Wasserstoffs. a) Der Wasserstoff ist das leichteste Gas (1 Liter wiegt im Normalzustand rd. $\frac{1}{11}$ g). Benutzt zum Füllen von kleinen Luftballons.

b) Wasserstoff brennt, aber eine Kerze erlischt darin. (Erkläre Abb. 29!) Das Verbrennungsprodukt ist Wasser.

c) Platinschwarz (d. h. fein verteiltes Platin) verdichtet in sich Wasserstoff in bedeutender Menge, wobei es erglüht und den Wasserstoff auf seine Entzündungstemperatur bringt. Praktisch verwendet bei den Gas-Selbstzündern.

3. Herstellung aus Säuren. Aus allen Säuren wird Wasserstoff frei (\nearrow), wenn man sie auf Späne von

Eisen Zink Aluminium Magnesium

wirken läßt. Meist benutzt man die billige **Salzsäure** oder **Schwefelsäure** in der Verdünnung 1:10 (Abb. 424). Sehr bequem zur Entwicklung

ist der **Kippsche Apparat** (Abb. 425).



Abb. 424. Woulsche Flasche

Dabei sind im mittleren Gefäß Metall und Säure nur so lange in Berührung, wie der Gashahn *H* geöffnet ist. Wird *H* geschlossen, so drückt der in *A* sich entwickelnde Wasserstoff die Flüssigkeit durch die Löcher im Boden *MN* über *B* nach *D*. [Ergebnis: Die Gasentwicklung hört von selbst auf.] Merke: 3 g Zink liefern rund 1 Liter Wasserstoff.

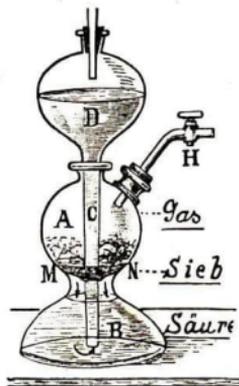


Abb. 425. Kippscher Apparat

Untersuchung von Kochsalz

§ 8. Zerlegung von Salzsäure und Kochsalz

1. Die Elektrolyse der Salzsäure (Abb. 426) ergibt neben **Wasserstoff** ein Gas von gelbgrüner Farbe, genannt **Chlor**.

Man füllt hierzu den **Hofmannschen Apparat** (Abb. 426), dessen Elektroden für diesen Zweck aus **Kohlenstäben** bestehen, mit Salzsäure. Schickt man längere Zeit bei offenen Hähnen den elektrischen Strom hindurch, so treten an beiden Elektroden Gasblasen auf; **im Schenkel der Anode färbt sich die Flüssigkeit grünlichgelb**. Schließen wir dann die Hähne, so bilden sich in beiden Schenkeln nunmehr gleiche Gasvolumina. Das Gas im Schenkel der Kathode erweist sich durch seine Brennbarkeit (halte auch ein Becherglas darüber, Abb. 423) als **Wasserstoff (H)**. Das im Schenkel der Anode auftretende Gas, das die **Lungen sehr stark angreift**, heißt nach seiner **grünlichgelben** Farbe **Chlor (Cl)**. Ergebnis:

Salzsäure ist die wässrige Lösung der gasförmigen Verbindung Chlorwasserstoff (1 Raumteil Chlor und 1 Raumteil Wasserstoff).

2. Gibt man Natrium in Salzsäure, so entweicht der Wasserstoff aus der Salzsäure. Es bleibt ein salziger Rückstand, der sich beim Eindampfen als **Kochsalz** erweist. (Kleine Kristallwürfelchen!) Ergebnis: Das **Natrium** hat sich mit dem **Chlor** verbunden.

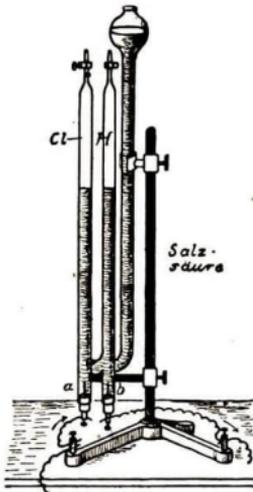


Abb. 426
Elektrolyse von Salzsäure

Kochsalz ist hiernach Chlornatrium

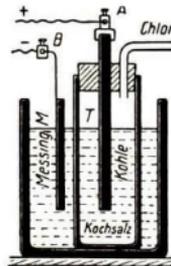


Abb. 427

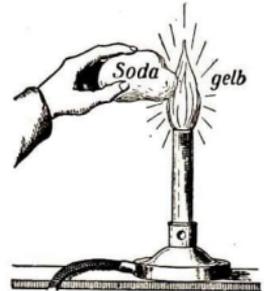


Abb. 428. Die Flammenfärbung durch Natrium

3. Die Elektrolyse des Kochsalzes ergibt wieder Chlor und Natrium.

Wird in der **Technik** im großen ausgeführt, um aus dem billigen Kochsalz **Chlorgas** herzustellen. Dieses in Kalk geleitet, gibt Chlorkalk.

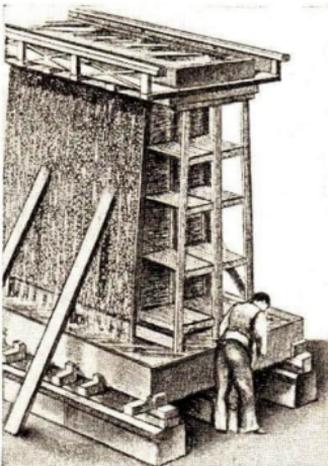


Abb. 429. Gradierwerk

Einfacher Schulversuch mit einer porösen Tonzelle *T* (Abb. 427), in die ein Kohlenstab *K* reicht. (*M* = Messingplatte.) Man scheidet damit leicht aus einer Kochsalzlösung das Chlorgas ab. [Vorsicht!]

4. Flammenprobe für Natrium.

a) Bring etwas **Natrium** in die dunkle Flamme des Bunsenbrenners! [Ergebnis: Sie leuchtet gelb.] b) Bring etwas **Kalium** in die Flamme! [Ergebnis: Sie leuchtet violett.]
Schlußfolgerung:

Gelbfärbung der Flamme deutet auf Natriumgehalt.

Probe: Bring Kochsalz in die Flamme! [Ergebnis: Sie leuchtet gelb; Kochsalz wird also Natrium enthalten.] — Prüfe ebenso ein Sodastück! (Abb. 428.) Was schließest du sofort?

5. Kochsalz wird nicht künstlich hergestellt. Es kommt in der Natur als **Steinsalz** vor, allerdings meist verunreinigt durch andere Mineralien. Berühmt sind die Salzbergwerke bei Staßfurt, Wieliczka (bei Krakau), Hallein und Berchtesgaden. Zum **Würzen** verwendet man nur Sudsalz.

Gewinnung. Man löst in Salzbergwerken Salz auf: Künstliche **Sole**. Sie wird mit Salz gesättigt und in Siedepfannen versotten. Ungesättigte natürliche Solen (Kissingen, Dürkheim) werden in Kurorten auf die **Gradierwerke** gepumpt (haushohe Gerüste, welche mit Reisig ausgefüllt sind). Die Sole sickert hindurch, wobei ein Teil Wasser verdunstet. Unten sammelt sich also eine salzreichere Sole an. Mit dem verdunstenden Wasser scheiden sich am Reisig die schwerer löslichen Körper (Gips, kohlensaurer Kalk) als **Dornstein** ab. Ist die Sole auf 20% „gradiert“, so ist sie siedewürdig; in flachen Pfannen wird der Rest des Wassers abgedampft.

Küstenbewohner gewinnen Kochsalz aus dem Meerwasser.

Dies wird in flache Gruben geleitet, wo das Wasser verdunstet. (Das bittere Magnesiumchlorid wird mit der dabei sich bildenden Mutterlauge abgeschieden.) — Würde das Meer verdunsten, so würde eine 20 m hohe Salzkruste zurückbleiben. Merke:

|| **Kochsalz kristallisiert in Würfeln.**

Ein Mensch enthält in seinem Körper rund $\frac{1}{2}$ kg Kochsalz. Die Blutflüssigkeit ist eine Kochsalzlösung. Einspritzen von Kochsalzlösung bei Choleraerkrankungen.

§ 9. Herstellung von Chlorgas (Cl)

1. Aus Kochsalz durch Elektrolyse. Schon in § 8 geschildert.

2. Aus Salzsäure, indem man diese mit **Braunstein** kocht (Abb. 430). Letzterer gibt beim Erhitzen Sauerstoff ab, der sich mit dem Wasserstoff der Säure zu Wasser verbindet. So wird aus der Salzsäure Chlor frei (↗).

Am schnellsten stellt man Chlorgas her, indem man Chlorkalk mit Salzsäure übergießt.

3. Auffangen des Gases. Meist leitet man das Chlorgas, das $\sim 2\frac{1}{2}$ mal so schwer wie Luft ist, in offene Zylinder, wo es zu Boden sinkt und die Luft daraus verdrängt (Abb. 430).

|| **Kennzeichen.** Eine in Chlorgas gesenkte Kerzenflamme rußt und brennt rötlich.

Leitet man das Gas in **Natronlauge** [= gelöstes Ätznatron], so wird es chemisch gebunden. Die Lösung dient als **Fleckwasser** (Eau de Javelle). Leitet man das Chlorgas in **gelöschten Kalk**, so entsteht der **Chlorkalk**. (Verwendet beim Waschen und Desinfizieren.)

4. Vier Versuche mit Chlorgas. a) Chlor vereinigt sich mit **Metallpulvern** unter Feuererscheinung.

Um dies zu zeigen, werfe man in einen mit Chlor gefüllten Zylinder unechtes Blattgold, Stanniol, Zinkspäne, Eisenspäne usf.

Die entstehenden Metallverbindungen nennt man **Chloride** (Kupferchlorid, Zinnchlorid, Zinkchlorid, Eisenchlorid).

b) Bringt man einen mit **Terpentin** benetzten Papierstreifen in Chlorgas, so qualmt dicker schwarzer Ruß auf; dabei zeigt sich eine tiefrot gefärbte Flamme.

Der Ruß zeigt an, daß Terpentin Kohlenstoff enthält.

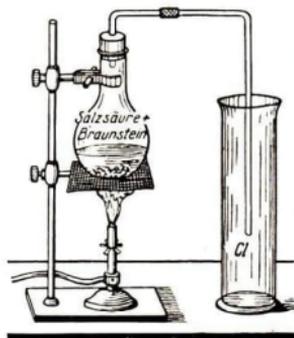


Abb. 430
Chlordarstellung

c) Die **Wasserstoffflamme** brennt in Chlorgas mit fahlem Licht weiter (Abb. 431).

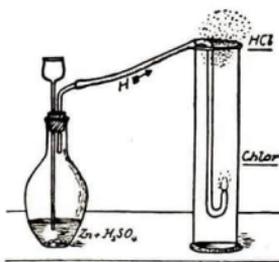


Abb. 431. Wasserstoff brennt
in Chlorgas



Abb. 432. Bleichen
im Chlorgas

Natürlich verbindet sich der Wasserstoff hier nicht mit dem Sauerstoff der Luft, sondern mit Chlor; es entstehen also hier statt Wasser- Salzsäuredämpfe. Nachweis gemäß Abb. 496.

d) **Chlor wird von Wasser absorbiert** (3 Liter Chlor von 1 Liter Wasser).

Bring Wasser in das Chlor (Abb. 432). Decke mit einer Glasplatte den Versuchszylinder ab! Schüttle! Ergebnis: Die Platte haftet nun von selbst auf dem Zylinder. (Luftleerer Raum!)

5. Vorsicht mit Chlorknallgas! Ein im Dunkeln hergestelltes Gemenge von 1 Teil Chlor + 1 Teil Wasserstoff vereinigt sich schon bei bloßer Belichtung unter lautem Knall.

6. Vorsicht mit Chlor! Chlor ist giftig und reizt zu Bluthusten.

7. Verwendung des Chlors. a) Chlor bleicht Leinwand.

Von den Wäscherinnen besonders in der Form von Chlorkalk zum Reinigen der Wäsche benutzt. Nachteil: Chlor zerstört die Pflanzenfaser; die Wäsche wird brüchig. Erkläre Abb. 432!

b) Chlor tötet Fäulniskeime (Bakterien).

Daher wird Chlorkalk zur Desinfektion von Krankenwäsche und Krankenaborten benutzt.

Chemische Formeln

§ 10. Atome und Moleküle

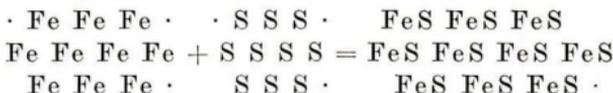
1. Beachte das Verbindungsgesetz für zwei Stoffe.

Mischt man **Schwefel-** und **Eisenpulver** in einem anderen Gewichtsverhältnis als **4:7**, so zeigt sich nach dem Versuch, daß sich beide Stoffe doch nur im Gewichtsverhältnis **4:7** vereinigt haben; der Überschuß des einen Stoffes bleibt unverbunden.

Mischt man **Wasserstoff** und **Sauerstoff** in anderem Volumverhältnis als **2:1**, so bleibt nach der Entzündung der Überschuß des einen Gases unverbunden. Ebenso verbindet sich **1** Volumteil **Chlor** mit nur **1** Volumteil **Wasserstoff** (Abb. 426) zu Chlorwasserstoff. Ergebnis:

|| **Zwei Stoffe** verbinden sich nur in **bestimmten** festen Gewichtsverhältnissen.

2. Zur Erklärung nimmt man an, daß **Eisen** und **Schwefel** (und ebenso alle **Elemente**) sich in der Weise verbinden, daß sehr kleine, nicht weiter zerlegbare Teilchen (**Atome**) der Stoffe zu Gruppen (**Molekülen**) zusammentreten. Zum Beispiel:



Verhält sich nun das Gewicht eines **Fe-Atoms** zu dem Gewicht eines **S-Atoms** wie **7:4**, so ist mit einem Schlag erklärt, warum sich diese Stoffe nur im Gewichtsverhältnis **7:4** verbinden. Sind mehr **Fe-Teilchen** da als **S-Teilchen**, so bleibt der Überschuß der **Fe-Teilchen** unverbunden.

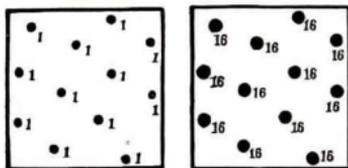


Abb. 433. Gesetz von Avogadro

Diese Betrachtung führt uns sofort auf die Wichtigkeit der **Atomgewichte**.



Abb. 434. Glaswalze

3. Die Atomgewichte ergeben sich aus dem Gesetz von **Avogadro**.

Dieses lautet: Gleiche Raumeile zweier Gase enthalten bei gleichen Umständen (Temperatur und Gasdruck) genau die gleiche Anzahl von Molekülen, wie kompliziert und schwer die Moleküle auch sein mögen.

Nun weiß man (durch genaueste Messung, z. B. mit der Glaswalze, Abb. 434):

1 Liter Wasserstoff wiegt . . . 0,09 g	1 Liter Sauerstoff 1,43 g
1 Liter Stickstoff 1,26 g	1 Liter Chlorgas 3,17 g

Die Gewichte verhalten sich wie **1 : 14 : 16 : 35,4**, also müssen sich auch die Gewichte von je 1 Molekül dieser Stoffe wie **1 : 14 : 16 : 35,4** verhalten. Nun können die Chemiker leicht beweisen, daß jedes Molekül dieser Stoffe aus 2 Atomen besteht; daher müssen auch die Atomgewichte dieser Stoffe sich wie **1 : 14 : 16 : 35,4** verhalten. Merke:

Dem Wasserstoffatom gibt man das Gewicht 1

Daher ist das Atomgewicht für Wasserstoff **1**, für Stickstoff **14**, für Sauerstoff **16**, für Chlor **35,4**.

Nachweis, daß das Chlormolekül 2 Atome hat. Man zeigt leicht, z. B. durch Wägung, daß an Gewicht:

1 Liter Wasserstoff + 1 Liter Chlor = 2 Liter Chlorwasserstoffgas.

Nehmen wir die Vol. so klein, daß sie nur 1 Mol. umschließen, so folgt:

1 Mol. Wasserstoff + 1 Mol. Chlor = 2 Mol. Chlorwasserstoff.

Daraus folgt, daß das Mol. Wasserstoffgas in 2 Teile spaltbar sein muß, von jeder Teil in eines der 2 entstehenden Mol. Chlorwasserstoff eingeht. Folgerung: **1 Mol. Wasserstoff = H₂**; ebenso **1 Mol. Chlor = Cl₂**.

4. Weitere Atomgewichte zeigt folgende Tabelle. (Merke: Das chemische Zeichen eines Stoffes bedeutet **1 Atom**.)

Aluminium	Al	27	Jod	J	126,5	Quecksilber	Hg	200
Blei	Pb	206	Kalium	K	39	Sauerstoff	O	16
Brom	Br	80	Kohlenstoff	C	12	Schwefel	S	32
Calcium	Ca	40	Kupfer	Cu	63,4	Silber	Ag	108
Chlor	Cl	35,4	Mangan	Mn	55	Silicium	Si	28
Eisen	Fe	56	Natrium	Na	23	Stickstoff	N	14
Fluor	F	19	Phosphor	P	31	Wasserstoff	H	1
Gold	Au	197	Platin	Pt	194	Zink	Zn	65

5. Die chemische Formel eines Stoffes gibt an, aus welchen Atomen sein Molekül besteht.

Daß zwei Elemente mehr als eine Verbindung bilden können, zeigt sich am besten bei Schwefel und Eisen. Aus unseren Versuchen ist uns schon das **Schwefel-eisen** bekannt, dem die Formel **FeS** zukommt. — Der messinggelbe **Schwefelkies**, der in Steinkohlenlagern sowie auf der Insel Elba vorkommt, hat mehr Schwefel; er entspricht der Formel **FeS₂**.

a) Für einige **Schwefelverbindungen** sind die Formeln:

Schwefeleisen **FeS** | Schwefelkies **FeS₂** | Schwefelwasserstoff **HS₂**

b) Für einige **Oxyde**:

Wasser H_2O		Schwefeldioxyd . . . SO_2		Eisenoxyd Fe_2O_3
Natriumoxyd Na_2O		Kohlendioxyd CO_2		Eisenoxydul FeO
Quecksilberoxyd . . HgO		Braunstein MnO_2		Phosphorpentoxyd. P_2O_5

c) Die drei wichtigsten **Säuren** sind:

Salzsäure HCl		Schwefelsäure . . H_2SO_4		Salpetersäure . . . HNO_3
----------------------------------	--	---	--	------------------------------------

d) Die wichtigsten **Hydroxyde** (Basen, Laugen) sind:

Natriumhydroxyd NaOH		Kaliumhydroxyd . KOH		Calciumhydr. . . Ca(OH)_2
-------------------------------	--	-------------------------------	--	------------------------------------

e) Drei wichtige **Salze** sind:

Kochsalz NaCl		Kupfersulfat . . . CuSO_4		Kalialpeter KNO_3
----------------------------------	--	------------------------------------	--	------------------------------------

6. Wertigkeit der Elemente. Aus der Formel des Wassermoleküls H_2O sehen wir weiter, daß ein Sauerstoffatom O je zwei Wasserstoffatome zu **binden** vermag (Abb. 435).

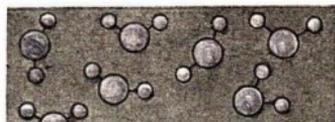


Abb. 435. Bild der Wassermoleküle

|| Wir sagen, **O** sei **zweiwertig**.

Man fand, daß es einwertige, zweiwertige, dreiwertige und noch mehrwertige Stoffe gibt, z. B.:

Einwertig sind	H, Na, K, Cl, Ag		Dreiwertig ist	Al
Zweiwertig sind	O, Fe, Cu, Zn, Hg		Vierwertig:	C, Si
Fünfwertig sind	Phosphor und Stickstoff.			

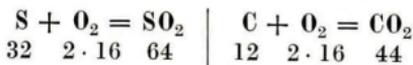
Die Wertigkeit wechselt zuweilen, so z. B. sind Fe und N manchmal auch dreiwertig.

§ 11. Die chemische Gleichung

1. Ein chemischer Vorgang besteht nur in einem **Umgruppieren** der Atome zu neuen Molekularverbänden. Ein chemischer Vorgang kann also durch eine Gleichung dargestellt werden. Zum Beispiel lautet die Gleichung:

I. Bei Herstellung von Schwefeleisen		$\text{Fe} + \text{S} = \text{FeS}$ $56 + 32 = 88$
II. Bei Zerlegung von Quecksilberoxyd		$2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2$ $2 \cdot (200 + 16) = 2 \cdot 200 + 2 \cdot 16$
III. Bei Zerlegung von Wasser		$\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{O}$ $18 = 2 + 16$

IV. Verbrennung von Schwefel und Kohle:



Hierbei kann man sehr schön das Avogadro'sche Gesetz bestätigen. (Abb. 436.) Verbrennt man diese Körper in reinem Sauerstoff, so ändert sich das Gasvolumen nicht! Die Zahl der Moleküle ist also vor und nach der Verbrennung dieselbe geblieben, d. h. aus jedem Molekül O_2 entstand nur ein Molekül CO_2 bzw. SO_2 . Die neuen Moleküle sind aber schwerer als die alten. (Gib die Gewichte an!)



Abb. 436. Avogadro

2. Jede chemische Gleichung ist eine Gewichtsgleichung, da jedes Atom ein Gewicht hat.

So z. B. besagt Gleichung II, daß man aus 432 g Quecksilberoxyd bei der Zersetzung 400 g Quecksilber und 32 g Sauerstoff gewinnt.

3. Jede chemische Gleichung ist aber auch eine Volumgleichung für die auftretenden Gase. Da

|| 1 g Wasserstoff das Volumen 11 Liter hat, so entsprechen nach *Avogadro* jedem einzeln auftretenden Atomzeichen eines beliebigen Gases auch 11 Liter, jedem Molekül (und mag es noch so schwer sein) 22 Liter, wenn nach Gramm gerechnet wird.

Die Gleichung IV sagt also zweierlei aus:

- Je 32 g Schwefel verbinden sich mit 32 g Sauerstoff zu 64 g Schwefeldioxyd.
- Je 32 g Schwefel verbinden sich mit 22 Liter Sauerstoff zu 22 Liter Schwefeldioxyd.

Die Halogene (Salzbildner)

§ 12. Die Halogene ($\overset{\text{I}}{\text{F}}$, $\overset{\text{I}}{\text{Cl}}$, $\overset{\text{I}}{\text{Br}}$, $\overset{\text{I}}{\text{J}}$)

1. Die Halogene sind einwertige Grundstoffe, die sich ähnlich wie das Chlor verhalten. Zu ihnen gehören

das Fluor	das Chlor	das Brom	das Jod
gasig (19)	gasig (35,4)	flüssig (80)	fest (126,5)
gelbgrün	gelbgrün	rotbraun, stinkend	Dampf violett

Diese Grundstoffe kommen nicht frei in der Natur vor. (Herstellung siehe unter 5.)

2. Sie verbinden sich sehr leicht mit Metallen (vgl. Chlor mit Natrium, Blattgold usw.) und bilden damit Salze, genannt

Fluoride	Chloride	Bromide	Jodide
----------	----------	---------	--------

Diese **Salze der Halogene** kommen in mächtigen Lagern in der Natur zusammen vor, zuweilen auch gelöst in Wasser (Mineralwasser). Man nennt diese Salze mit einem Sammelnamen Haloidsalze. (Wichtiger Fundort: **Stauffurt**.)

3. Behandelt man diese Salze mit Schwefelsäure (vgl. Abb. 437), so entstehen die wichtigen **Säuren der Halogene**:

HF Flußsäure	HCl Salzsäure	HBr Bromwasser- stoffsäure	HJ Jodwasser- stoffsäure
------------------------	-------------------------	---	---------------------------------------

a) Die **Flußsäure** gewinnt man aus dem **Flußspat** (CaF_2).

Man benutzt dabei eine Bleiretorte mit einem Kühlrohr aus Blei, da die Flußsäure Glas angreift. Bei **Ätzung des Glases** verwendet. Hierbei wird das Glas mit Wachs überzogen, mit dem Griffel werden die zu ätzenden Stellen freigelegt, dann läßt man die Flußsäuredämpfe darauf einwirken.

b) **Salzsäure** gewinnt man aus **Kochsalz** (NaCl).

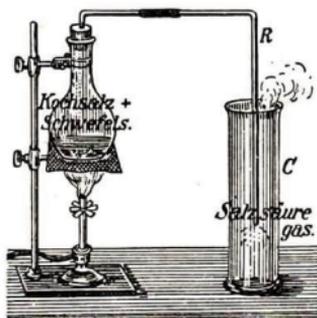


Abb. 437. Darstellung von Salzsäure

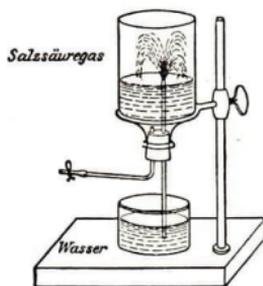


Abb. 438. Salzsäuregas wird vom Wasser absorbiert

Vorsicht! Das Gasrohr *R* (Abb. 437) darf nicht in Wasser tauchen, da sonst letzteres (wegen der Absorption) heftig in den Kolben spritzt und diesen unter Umständen zertrümmert. Merke:

|| Salzsäuregas wird von Wasser absorbiert (Abb. 438).

(Bei 0° 500 Liter von 1 Liter Wasser.) Die wässrige Auflösung des Gases heißt Salzsäure. In starker Verdünnung schmeckt sie angenehm säuerlich und wird von Ärzten für fehlende Magensäure verordnet.

4. Wie entsteht ein Salz?

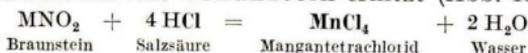
Ersetze in der Salzsäureformel (HCl) den Wasserstoff durch Natrium, so entsteht die Formel für Kochsalz (NaCl). Allgemein:

Ein Salz entsteht, wenn man den vertretbaren Wasserstoff einer Säure durch irgendein Metall von gleicher Wertigkeit ersetzt.

Beispiel: Ersetzen wir z. B. in den 4 Säuren oben den Wasserstoff durch Natrium, so entstehen die 4 Salze: NaF (Fluornatrium), NaCl (Chlornatrium, Kochsalz), NaBr (Bromnatrium), NaJ (Jodnatrium).

Übung. Man ersetze H durch die Metalle K, Ca! Formeln!

5. Die Herstellung der Elemente Brom und Jod erfolgt wie die von Chlor: a) durch Elektrolyse der Haloidsäuren (Abb. 426), b) oder indem man die Haloidsäuren mit Braunstein erhitzt (Abb. 430). Beispiel:



Das entstehende Mangantetrachlorid gibt Chlor ab ($\text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2$).

6. Von den Sauerstoffverbindungen der Halogene ist für uns nur das Kaliumchlorat KClO_3 wichtig, das beim Erhitzen Sauerstoff abgibt (Abb. 415):



Obacht. Kaliumchlorat ist explosiv. Auf Papier eine ganz kleine Probe mit wenig Zuckerstaub zerrieben, explodiert.

Weitere wichtige Grundstoffe

§ 13. Der Schwefel $\overset{\text{II}}{\text{S}} = 32$

1. Der Schwefel ist ein gelber fester Körper (spez. Gew. 2), der in Sizilien und anderen vulkanischen Gegenden in großen Lagern derb, zuweilen auch kristallisiert vorkommt (Abb. 440).

Die Grundform der Schwefelkristalle (Abb. 440) ist eine Art quadratische Doppelpyramide (Abb. 439).

Aus dem Gestein wird er durch Ausschmelzen gewonnen.

Der bei 114° geschmolzene Schwefel ist goldgelb und leichtflüchtig.

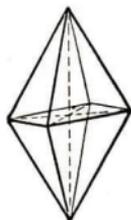


Abb. 439

Läßt man ihn (in einem Becherglase) so weit abkühlen, daß sich eine feste Haut bildet, durchsticht diese und gießt den innen befindlichen noch flüssigen Schwefel ab, so zeigen sich im Innern lange, dünne, **nadelförmige** Kristalle von anderer Kristallform wie oben.

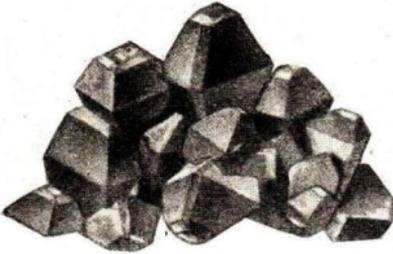


Abb. 440. Schwefelkristalle

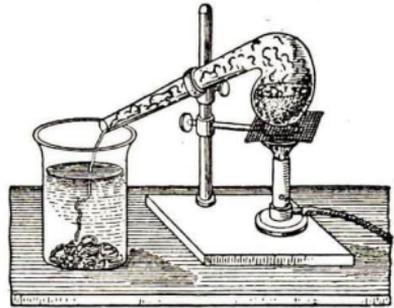


Abb. 441. Erhitzen auf 250°

Beim Erhitzen auf 250° wird er dunkelbraun, zähflüssig, fadenziehend. (Amorpher = gestaltloser Schwefel Abb. 441.)

Bei noch weiterem Erhitzen wird er wieder dünnflüssig, bei 450° löst er sich ganz in dunkelbraunen Dampf auf.

Kommt dieser an kältere Stellen, so schlägt er sich als feines hellgelbes **Pulver** nieder (**Schwefelblumen**). Letzteren Vorgang nennt man Sublimation.

2. Erhitzter Schwefel verbindet sich lebhaft mit den **Metallen** zu sog. **Sulfiden** (Abb. 442). Solche sind:

FeS	CuS	PbS	ZnS	HgS
Schwefeleisen	Schwefelkupfer	Bleiglanz	Zinkblende	Zinnober

Reibt man 1 Teil Schwefel mit 6 Teilen Quecksilber zusammen, so entsteht beim bloßen Reiben graues Schwefelquecksilber (HgS). (Als Mineral: Roter Zinnober.)

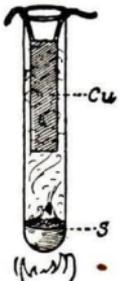


Abb. 442

Aus **Sulfiden** bestehen wichtige **Mineralien**, aus denen hütten technisch die darin enthaltenen **Metalle** gewonnen werden. Sie bilden 3 Gruppen: die **Kiese**, **Glanze** und **Blenden**. Die **Kiese** sind metallgelb.

Schwefelkies FeS_2 tritt in Gruppen von goldgelben, metal-



Abb. 443. Bleiglanz

lich glänzenden Würfeln, **Kupferkies (FeS + CuS)** in derben messinggelben Massen auf. — **Bleiglanz** kommt in bleigrauen glänzenden Würfeln kristallisiert vor. — **Zinkblende** dunkelgelb, derb oder in durchscheinenden Kristallen. — **Zinnober** ist ein rotes Mineral (Spanien), das beim Erhitzen in Luft Quecksilber abscheidet. — Der Name Schwefelkies kommt wohl von schwefelik-Is, d. h. schwefelig Eisen.

Durch **Rösten** (= Erhitzen bei Luftzutritt) der Sulfide entstehen Metalloxyde; SO_2 entweicht.

Nur beim Rösten von Zinnober ergibt sich sofort **Hg**.

3. Verhalten gegen Wasserstoff. Leite Wasserstoff über erhitzten

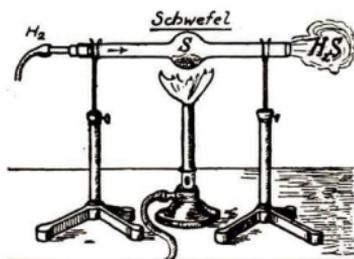


Abb. 444. Wirkung des Wasserstoffs auf flüssigen Schwefel

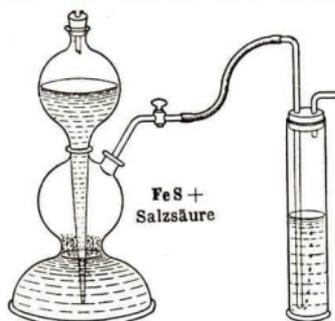


Abb. 445. Herstellung von H_2S

Schwefel (Abb. 444)! Ergebnis: Es bildet sich das nach **faulen Eiern** riechende **Schwefelwasserstoffgas (H_2S)**.

Im Laboratorium stellt man es her aus dem künstlichen Schwefel-eisen (FeS) durch Übergießen mit Salzsäure (Abb. 445):



a) Das Gas **verbrennt** mit **blauer Flamme** zu Wasser und Schwefeldioxyd $\text{H}_2\text{S} + 3\text{O} = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$.

Kühlt man die Flamme durch einen Porzellanscherben ab, so scheidet sich daran gelber Schwefel ab.

b) Es **löst sich in Wasser** (Abb. 445). Am Lichte scheidet sich in diesem Wasser milchigweißer Schwefel ab.

c) Es **schwärzt viele Metalle**. [Anlaufen von Silber.]

Tauche Eisen, Kupfer, Blei in Schwefelwasserstoffwasser! [Sie überziehen sich schwarz.] — Gieße in hellblaue Kupfervitriollösung oder in farblose Bleizuckerlösung klares Schwefelwasserstoffwasser! [Sofort tief schwarzer Niederschlag.] — **Anlaufen des Silbergerätes** in schwefelwasserstoffhaltiger Luft (z. B. neben Kaminen, Aborten); ebenso der **bleihaltigen weißen Anstrichfarben**, im Gegensatz zum Zinkweiß. — **Versuch**. Gieß auf Steinkohlenasche Wasser, sofort riecht es nach faulen Eiern.

d) Manche **Heilquellen** enthalten H_2S (Schwefelquellen).

4. Der Schwefel brennt mit bläulicher kleiner Flamme. Es entwickelt sich dabei ein stechend riechendes Gas, das **Schwefeldioxyd** (SO_2).

a) Dieses Gas löst sich in Wasser und bildet damit die **schweflige Säure**. ($\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 = \text{H}_2\text{SO}_3$.)

b) Es wirkt **bleichend** auf feuchte Gegenstände. (Bleiche damit eine Rose, Abb. 446.) Verwendet zum Bleichen von Stroh Hüten; zum Entfernen von Obstflecken aus Leinwand.

Durch Kirschen blau gefärbte, angefeuchtete Finger entfärben sich durch SO_2 . — Schwefeldioxyd wirkt auch zerstörend auf Gärungspilze; darum schwefelt man die Weinfässer, Einmachgläser, den Hopfen (Desinfektion).

c) Wirkt Schwefeldioxyd auf Schwefelwasserstoff, so entstehen Schwefel und Wasser. $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{S}$.

Wichtig für die Entstehung der Schwefellager bei den Vulkanen.



Abb. 446. Bleichen

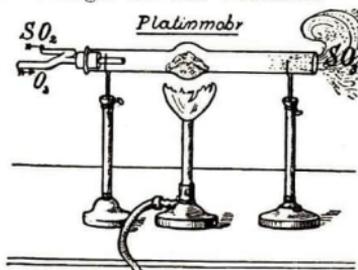


Abb. 447. Herstellung von SO_2

5. Schwefelsäure. Neben Schwefeldioxyd SO_2 gibt es noch Schwefeltrioxyd SO_3 .

Dieses stellt man her, indem man Schwefeldioxyd und zugleich Sauerstoff durch eine Glühöhre leitet, die Platinschwarz enthält (Abb. 447).

Schwefeltrioxyd verbindet sich gierig mit Wasser und bildet damit **Schwefelsäure** ($\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3 = \text{H}_2\text{SO}_4$). Diese starke Säure hat zwei vertretbare Wasserstoffatome. Ihr Säurerest ist SO_4 , ihre Salze heißen **Sulfate** (oder Vitriole).

Schwefelsäure ist eine ölige Flüssigkeit (spez. Gew. 1,84), die **Wasser** gierig aufnimmt und sich dabei **erhitzt**. Obacht!

Anwendung zum Trocknen von Gasen. Organische Substanzen (Holz, Zucker) werden durch sie verkohlt. Erkläre Abb. 448!

6. Die wichtigsten Sulfate (= schwefelsauren Salze) sind

ZnSO_4	FeSO_4	CuSO_4	MgSO_4	CaSO_4
weißer Vitriol	grüner Vitriol	blauer Vitriol	(Bittersalz)	(Gips)

Zinkvitriol ist weiß (dient sehr verdünnt äußerlich z. B. bei Augenleiden). — **Eisenvitriol** ist grün (dient zum Schwarzfärben des Leders). — **Kupfervitriol** ist blau (dient zum Verkupfern; tauche einen eisernen Schlüssel darein!, sofort über-

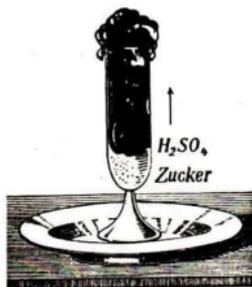


Abb. 448. Zucker

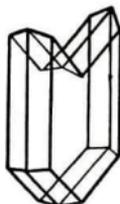
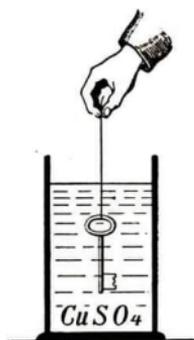
Abb. 449
Schwalben-
schwanzförmige
Gipskristalle

Abb. 450. Verkupfern

zieht er sich mit Kupfer; Abb. 450). — **Magnesiumsulfat** (Bittersalz) dient als Abführmittel (Karlsbader Salz). Ebenso **Glaubersalz** Na_2SO_4 .

Wichtig für Bauzwecke ist der **Gips** (CaSO_4). Dessen Kristalle (Abb. 449) sind wasserhell (Marienglas); sie enthalten Kristallwasser $\text{CaSO}_4 + 2 \text{ aq}$. **Alabaster** ist kristallinischer Gips.

Beim Erhitzen verliert der Gips sein Kristallwasser und zerfällt in ein weißes Pulver, den **gebrannten Gips**. Dieser ist fähig, wieder Wasser aufzunehmen und zu erhärten (Gipsabgüsse, Verband bei Knochenbrüchen). — Unsere **Schulkreide** ist keine Kreide, sondern Gips!

§ 14. Der gelbe und rote Phosphor ($\overset{\text{v}}{\text{P}} = 31$)

1. Der gelbe Phosphor wird aus Knochen gewonnen. Er kommt in Stangenform in den Handel, ist weich und leicht mit dem Messer zu schneiden.

Wegen seiner großen Neigung, sich mit dem Sauerstoff zu verbinden, bewahrt man ihn **unter Wasser** auf, wo er sich langsam mit einer weißen Oxydschicht überzieht. — An der Luft „raucht“ er (P_2O_5); im Dunkeln leuchtet er (Leuchtschrift; Phosphoreszenz). Merke:

- || a) Der gelbe Phosphor ist äußerst giftig.
- || b) Er löst sich in Schwefelkohlenstoff CS_2 .

Seine Entflammungstemperatur ist nur 60°C .

2. Schmilzt man ein Stück davon in ein Glasrohr ein und erhitzt ihn alsdann im Luftbade, so verwandelt er sich in eine Abart (Allotropie), den **roten Phosphor**. Merke:

- || a) Der rote Phosphor ist **ungiftig**.
 || b) Er löst sich **nicht** in Schwefelkohlenstoff.

Er raucht nicht an der Luft und entflammt erst bei 260° :

Merke: Phosphor ist **dimorph** [= zweigestaltig].

3. Beim Verbrennen des Phosphors (Abb. 403) entstehen weiße Flocken von **Phosphorpentoxyd** P_2O_5 (penta = fünf, Abb. 451). Dessen Auflösung in Wasser gibt die Phosphorsäure. ($P_2O_5 + 3 H_2O = 2 H_3PO_4$.)

Die Salze der Phosphorsäure heißen **Phosphate**.

Wichtig für die Landwirtschaft ist das **Calciumphosphat** als Düngmittel. Auch unsere Knochen bestehen aus Calciumphosphat. — Aus geglühten Knochen wird Phosphor destilliert. Entdeckt von *Brand* 1674.

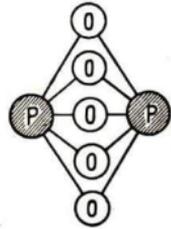


Abb. 451

§ 15. Der Stickstoff ($N = 14$)

1. Der Stickstoff ist ein chemisch träger Stoff. Wenn man vom glühenden Magnesium absieht, so ist der Stickstoff weder bei Hitze noch bei Kälte begierig, sich mit anderen Stoffen chemisch zu vereinigen. Man nennt ihn chemisch träge.

- a) Nur der **elektrische Funke** bringt ihn dazu, sich mit Sauerstoff zu Stickstoffdioxid NO_2 zu vereinigen.

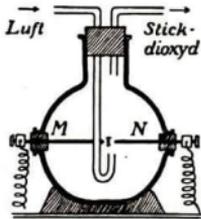


Abb. 452

Läßt man durch den Glaskolben (Abb. 452) einen schwachen Luftstrom streichen, während zwischen den beiden Metallstäben MN der Funke eines Induktionsapparates überspringt, so färbt sich der Inhalt des Kolbens vom entstehenden **Stickstoffdioxid** **braun**. Leitet man dieses Gas in Wasser, so bildet sich **Salpetersäure**, so genannt, weil sie früher nur aus dem natürlich vorkommenden **Salpeter** dargestellt werden konnte.



Abb. 453

- b) Auch durch den **Lebensprozeß** gewisser **Bakterien** wird Stickstoff mit Sauerstoff verbunden.

Von besonderer Wichtigkeit sind jene Bakterien, welche sich in den **Wurzelknöllchen** der **Schmetterlingsblütler** finden (Abb. 453), und die diesen erlauben, auch in stickstoffreichem Boden zu gedeihen, da sie ihnen den Stickstoff der Luft zuführen. Merke:

Diese Bakterien sind Oxydatoren des Stickstoffs.

Das so entstandene Stickstoffoxyd verbindet sich mit Kalium-, Natrium-, Calciumverbindungen, die sich im Erdboden (besonders in Dunghaufen) vorfinden, zu

Kalialpeter KNO₃	Natronalpeter NaNO₃	Kalkalpeter Ca(NO₃)₂
--	---	---

Große Lager von **Natronalpeter** finden sich in Peru und Chile, von **Kalialpeter** in Ungarn.

Calciumsalpeter bildet sich z. B. an den Mauern der Pferdeställe. **Künstlich** erhält man Salpeter durch Aufschichten großer Dunghaufen (Salpeterplantagen). — Bedeutung der Dunghaufen für den Landmann. Die Verwendung des Salpeters als Düngemittel beruht auf seinem Stickstoffgehalt. Alle Pflanzen benötigen zum Wachstum Stickstoff und Kali.

2. a) Salpeter gibt beim Erhitzen Sauerstoff ab (Abb. 454).

Versuch: Erhitzt man Kali- oder Natronalpeter in einem Reagensglase, so schmilzt er; dann sieht man Gasblasen aufsteigen. Wirft man ein Stückchen **Holzkohle** oder etwas **Schwefel** hinein, so verbrennen beide mit **lebhaftem Glanze**.

Verwendet wird die leichte **Sauerstoffabgabe** des Salpeters beim **Schießpulver**, einem Gemisch von Kalialpeter, Kohle und Schwefel. Beachte die violette Kaliflamme!

Natronalpeter ist hygroskopisch (zieht Wasser aus der Luft an sich), ist also für Schießpulver nicht verwendbar.

b) Salpeter gibt erhitzt mit Eisen Stickstoff ab.

Erhitze Salpeter mit Eisenfeilicht in einem schwer schmelzbaren Probegläse! In dem aufsteigenden Gas erlischt ein brennender Span!

c) Unterscheide **Kali-** und **Natronalpeter** durch die Flammenprobe! (Abb. 428.)

3. **Salpetersäure (HNO₃)** entsteht, wenn man **Salpeter** mit Schwefelsäure erhitzt (Abb. 455). Vorgang:



Man erhitzt das Gemisch in einer Retorte, über deren Hals eine mit Wasser gekühlte Vorlage geschoben ist (Abb. 455). In dieser kondensiert sich die entstandene Salpetersäure.

Die Salpetersäure ist eine schwach gelb gefärbte Flüssigkeit, die die **Finger** (Obacht!), **Seide**, **Wolle**, **Federn** **gelb färbt**.

|| **Reagens:** Salpetersäure entfärbt **Indigo**.

Indigo ist ein tiefblauer, sehr beständiger Pflanzenfarbstoff.

Diese Säure hat nur einen vertretbaren Wasserstoff (Säurerest NO_3); ihre Salze heißen Nitrate.

Das **Anhydrid** der Säure (d. h. **Säure** minus **Wasser**) erhält man, indem man hier von zwei Molekülen Säure ein Molekül Wasser abzieht. Es ist $2 \text{HNO}_3 - \text{H}_2\text{O} = \text{N}_2\text{O}_5$. Letzterer Stoff heißt Stickstoffpentoxyd. Er zeigt, daß Stickstoff fünfwertig ist.

4. Stärker wirkt die rauchende Salpetersäure, die noch das rotbraune Stickstoffdioxid (NO_2) enthält.

Herstellung: Nach Gleichung I, oben, sind ungefähr 100 g Kalisalpeter mit 100 g konzentrierter Schwefelsäure zu erhitzen. Führt man



Abb. 454
Salpeter gibt Sauerstoff ab

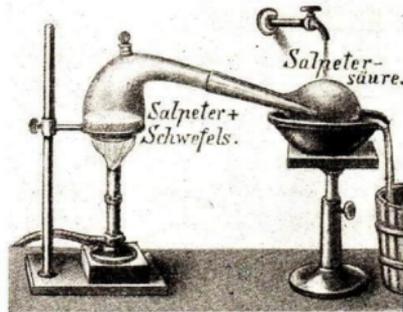
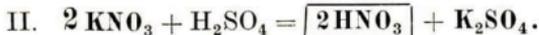


Abb. 455
Darstellung von Salpetersäure

nun die doppelte Menge Salpeter zu, so spielt sich der Vorgang anders ab. Gleichung:



Bei der erforderlichen **starken Erhitzung** zerfällt das eine Molekül Salpetersäure, wobei neben **Sauerstoff** das **rotbraune Stickstoffdioxid** NO_2 auftritt, das die Säure färbt.

Diese neue Säure **raucht stark an der Luft** und entläßt, namentlich beim Erhitzen, die gelösten rotbraunen Dämpfe. **Dabei gibt auch sie reichlich Sauerstoff ab**, so daß z. B. ausgeglühte Sprengkohle in der Flüssigkeit lebhaft weiterbrennt und Terpentinöl, das man zur Säure tropfenweise hinzufügt, unter großer Rauchentwicklung aufflammt.

5. Am stärksten wirkt das Königswasser, ein Gemisch von Salpetersäure und Salzsäure; so genannt, da es die Könige der Metalle, Gold und Platin, auflöst. (Es entsteht Gold- bzw. Platinchlorid.)

Bringt man **Gold** und **Silber** in Salpetersäure, so wird nur das Silber unter Bildung der rotbraunen NO_2 -Dämpfe aufgelöst [in $\text{AgNO}_3 = \text{Silbernitrat}$, **Höllenstein** verwandelt], das Gold bleibt. Daher heißt die Salpetersäure auch **Scheidewasser**. (Wichtig für Goldschmiede.)

Goldprobe der Goldhändler. Mach mit irgendeinem goldenen Gegenstand auf einer Schiefertafel einen Strich; betupfe diesen mit Salpetersäure! Ergebnis: An den betupften Stellen wird er dünner, da HNO_3 das beilegierte Kupfer und Silber wegfrisst. So erkennen die Goldhändler, wieviel Karat Gold der angebotene Gegenstand enthält.



6. Zwei Oxydationsstufen des Stickstoffs. Löst man Silber oder Kupferspäne in der Salpetersäure, so entweicht das **rotbraune Stickstoffdioxid NO_2** .

Leitet man dieses aber in einen mit Wasser gefüllten Auffangzylinder (Abb. 405), so erscheint dieser von einem farblosen Gas erfüllt, dem **farblosen Stickoxyd NO** .

Hebt man den mit dem Gase gefüllten Zylinder an die Luft heraus, so färbt es sich **rotbraun**; nach dem Einsenken in Wasser wird es aufs neue **farblos**, wobei Wasser nachsteigt. Man kann dieses Spiel beliebig oft wiederholen. Ergebnis:

|| NO_2 entläßt, NO bindet sehr leicht Sauerstoff.

Eine weitere Oxydationsstufe ist N_2O_5 , das Stickstoffpentoxyd.

7. Stickstoff verbindet sich mit Wasserstoff zu dem stechend riechenden **Ammoniakgas NH_3** , dessen unangenehmen Geruch man auch in Pferdeställen wahrnimmt (Mistgeruch).

Dazu braucht man nur Wasserstoff im Augenblick seines Entstehens (status nascendi) (Abb. 456) auf eine Salpeterlösung wirken zu lassen. Rieche daran!

Im Laboratorium stellt man es aus **Salmiak** her. Dies ist ein weißlicher zähfaseriger Stoff, dessen Molekül $(\text{NH}_4)\text{Cl}$ neben NH_3 noch Salzsäure HCl enthält.

Um letztere zu neutralisieren kocht man **Salmiak** mit einer Lauge, z. B. **Natronlauge** (oder einer anderen Basis). Vorgang:

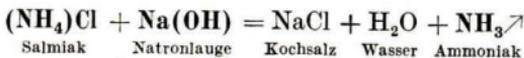
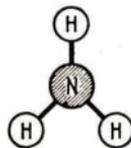
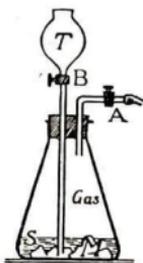


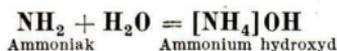
Abb. 456.

a) NH_3 wird gierig von Wasser **absorbiert** (Abb. 459).

1 Liter Wasser kann bei 18° schon 750 Liter Ammoniakgas lösen.

Abb. 457
Ammoniak

b) Die wässrige Lösung heißt **Salmiakgeist**. Rieche daran! (Stechender Geruch, zu Tränen reizend.)



Er reagiert basisch. Salmiakgeist ist ein gutes Fleckwasser zum Tilgen von Säure- und Fettflecken. (Gegen Mückenstich!)

Färbe das Wasser im Becherglas (Abb. 459) mit Lackmus rot; das ins obere Glas eindringende, mit Ammoniakgas berührte Wasser wird blau.

c) Beim **Verdampfen** entweicht das **gebundene NH₃**.

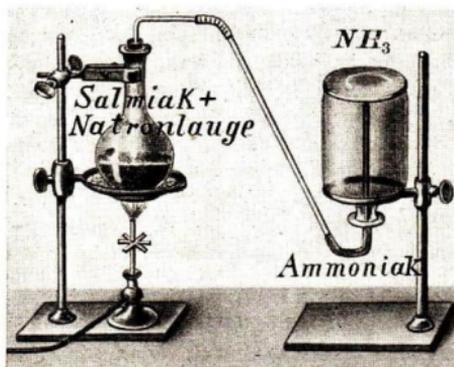


Abb. 458. Darstellung von Ammoniak

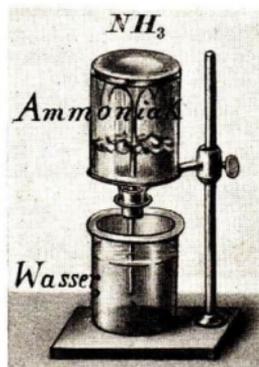


Abb. 459. Absorption

Die **Gruppe [NH₄]** in der Formel***[NH₄]OH** spielt die Rolle des Metalls **Na** in der Formel **NaOH** (Natronlauge) oder des Metalles **K** in der Formel **KOH** (Kalilauge). Man nennt die **Gruppe [NH₄]**, die fest zusammenhaltend Metalle ersetzen kann, ein **Radikal** und heißt diesen Metalleratz: **Ammonium** (= 1wertig).

d) **Ammoniakgas** in **Salzsäure** geleitet, gibt wieder Salmiaksalz.



Salmiak ist wichtig beim **Löten**, weil er in der Hitze **HCl** wieder abgibt, das die Metallflächen von Oxyden reinigt. — Hält man ein in Salmiakgeist getauchtes Stäbchen über eine offene **Salzsäure**flasche, so entstehen die bekannten **Salmiaknebel**. (Reagens auf Salzsäure; Abb. 460.)



Abb. 460. Nachweis der Salzsäure

e) **Elektrolysiere Salmiakgeist!** (Abb. 426.) Es entstehen 3 Teile Wasserstoff + 1 Teil Stickstoff; daher die Formel **NH₃**.

Umkehrung. **Verfahren von Haber.** Man mischt 3 Teile Wasserstoff + 1 Teil Stickstoff, preßt das Gemisch auf 200 at Druck zusammen und erhitzt auf 500° in eisernen Röhren, die als katalytische Substanz Uranmetall enthalten. [Ergebnis: Es entsteht $N + H_3 = NH_3$ Ammoniak.]

§ 16. Der Kohlenstoff ^{IV}(C = 12)

1. Aus reinem Kohlenstoff besteht der Ruß, der Graphit und der Diamant.

Ruß wird gewonnen, indem man z. B. über eine Kerzenflamme einen kalten Porzellanschalen hält. Er ist fein verteilter amorpher (= gestaltloser) Kohlenstoff. — Der **Graphit** ist schwarzgrau und sehr weich. (Verwendung für Bleistifte und als Ofenwische.) Lager in Sibirien und Ceylon; bei Passau. — Der **Diamant** ist kristallisierter Kohlenstoff. Er ist wasserhell und sehr hart. (Diamantsplitter dienen zum Glasschneiden.) Als Edelstein wird er sehr geschätzt und heißt in geschliffener Form Brillant. Abb. 461 zeigt den größten Brillanten der Welt, den Großmogul; er hat 270 Karat Gewicht (1 Karat = 0,205 g). — Diamantfelder in Indien und Kapland.

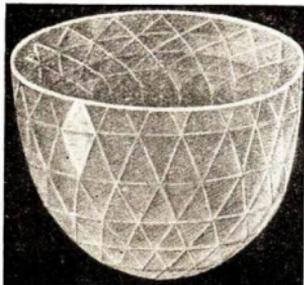


Abb. 461. Großmogul

2. Das Holz enthält viel Kohlenstoff.

Brenne einen Holzspan an der Spitze an! [Er wird dort schwarz.] Schreib damit auf ein Blatt Papier! [Der Ruß geht ab.] — Ähnlich wird die **Holzkohle** hergestellt (Abb. 462). Scheiter von Holz werden zu einem Haufen zusammen-

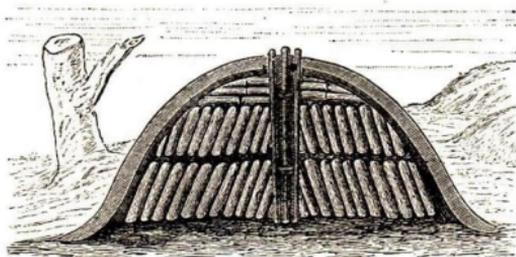


Abb. 462. Durchschnitt durch einen Kohlenmeiler



Abb. 463. Leuchtgas

gestellt, mit Rasen abgedeckt und innen entzündet. Die im Holz enthaltenen Gase entweichen, das Holz wird verkohlt, d. h. der Kohlenstoff bleibt zurück.

|| **Holzkohle** enthält 95% reinen Kohlenstoff.

3. Entstehung der Kohlenlager in der Erde (Abb. 464). Durch gewaltige Katastrophen wurden in der Urzeit ganze Wälder von heißer Lava oder

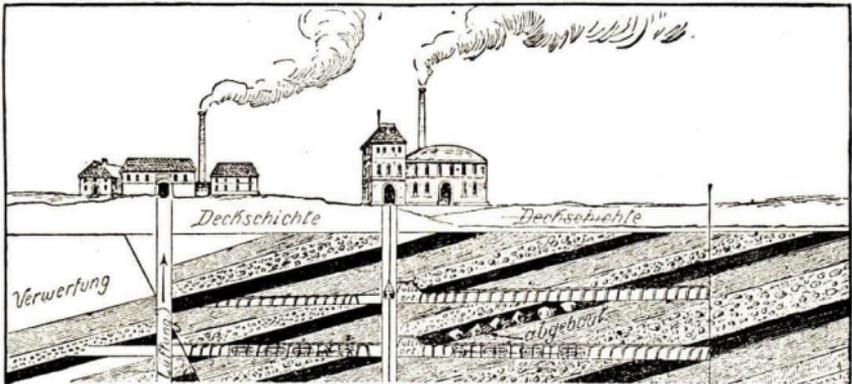
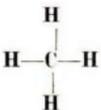


Abb. 464. Kohlenbergwerk

Schlamm überschüttet (Aschenregen) und so unter Luftabschluß zur Verkohlung gebracht. So entstanden die Kohlenlager der Erde. Aus der Parallelschichtung derselben folgt, daß sich die Katastrophen in regelmäßigen Abständen wiederholten.

Abb. 465
Grubengas

Die **Förderung der Kohlen** im Kohlenbergwerk zeigen Abb. 464 und 465. Die Kohle wird auf kleinen Wagen, den **Hunden**, fortgeschafft und in den Förderschächten emporgezogen. Zuweilen brechen Gasschwaden aus dem Gestein hervor [Grubengas CH_4], die bei Entzündung gefährliche **Explosionen** zur Folge haben. Um deren Entzündung durch die Lampe des Bergmanns zu verhindern, ist diese in ein Drahtnetz eingebaut, durch das eine Flamme bekanntlich nicht

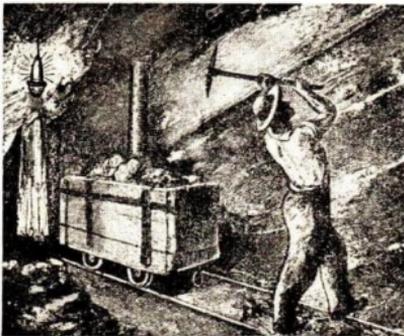


Abb. 466. Förderung der Steinkohle

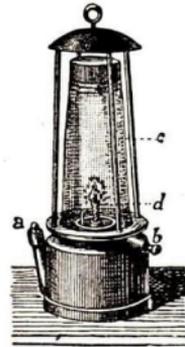


Abb. 467

hindurchbrennt. — Da die **Temperatur** im Erdinnern für je 30 m Tiefe um 1°C steigt, so kann die Kohle nur bis zu einer gewissen Tiefe abgebaut werden. Abb. 464 deutet auch die Lüftungsanlage an.

das Gas CO_2 entweicht wieder beim Erhitzen, so daß die vermutete Säure nicht vom verdünnenden Wasser isolierbar ist.

4. **Verwendung.** Kohlensaures Wasser ist angenehm zu trinken; im Haushalt stellt man es her im **Liebigschen Krug** (Abb. 469).

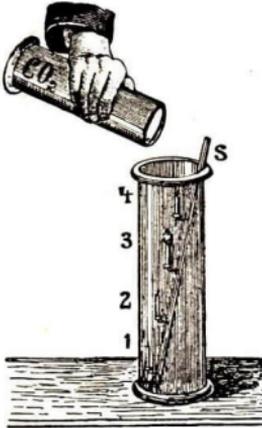
Abb. 468. Umgießen von CO_2 

Abb. 469

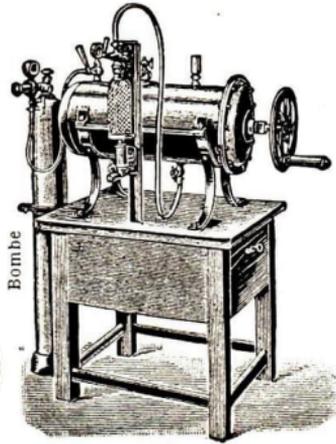
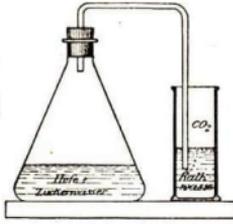
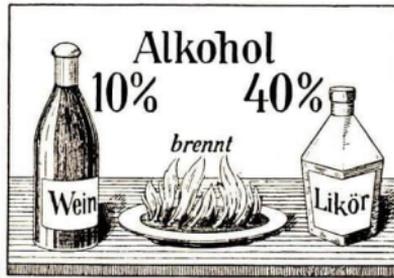


Abb. 470. Kohlensäureapparat

Abb. 471.
HefepilzeAbb. 472.
Entstehung von AlkoholAbb. 473.
Der Alkohol brennt!

In dessen unteren Teil füllt man Wasser oder **Fruchtsaft** (Trichter nötig!), in den oberen bringt man doppelkohlensaures Natron und Weinstein. Neigt man den Krug, so kommt die Flüssigkeit mit diesem „Brausepulver“ in Berührung und es entsteht CO_2 , das auf das Wasser drückt und es bei Öffnung des Hahnes oben austreibt.

Auf Jahrmärkten benutzt man Bomben, gefüllt mit flüssigem Kohlendioxyd (Abb. 470), um Brauselimonade herzustellen.

Durch Öffnen des Reduzierventils an der schmiedeeisernen Bombe entwickelt sich Kohlensäuregas von 4 at Druck. Dies strömt in den Mischraum, der Wasser

und Fruchtsaft enthält. Durch Drehen der Kurbel erfolgt die Durchmischung. Am vorn sichtbaren Abfüllapparat kann das schäumende (moussierende) Getränk abgenommen werden.

Kohlensäure Bäder erfrischen die Haut. Kohlensäurespritzen dienen zum Löschen von Bränden.

5. Kohlendioxyd entsteht beim Atmen (§ 5).

6. Kohlendioxyd entsteht auch beim Gären. Daher Vorsicht beim Betreten von Gärkellern.

Gärung tritt ein, wenn man in eine Zuckerlösung Hefepilze (Abb. 472) einbringt. [Traubensaft ist eine Zuckerlösung.] Diese kleinen Lebewesen zerlegen den Zucker in Alkohol und Kohlensäuregas. Sie sind die billigsten und natürlichsten Alkohol-fabrikanten.

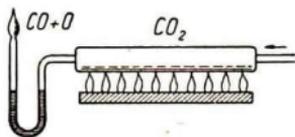


Abb. 474

7. Obacht! Bei ungenügendem Luftzutritt verbrennt die Kohle zu dem giftigen Kohlenoxyd CO .

Dieses Gas ist um so gefährlicher, da man es durch die Sinne nicht wahrnimmt. Es zerstört beim Einatmen unsere roten Blutkörperchen; diese können dann keinen Sauerstoff mehr aufnehmen, so daß der Tod eintreten muß. [Kohlen-gasvergiftung.] Man schließe keine Ofenklappe vorzeitig!

Erhitzt man Kohlendioxyd genügend stark (Abb. 474), so zersetzt es sich in Kohlenoxyd und Sauerstoff $CO_2 = CO + O$.

Das entstehende Gemisch brennt (Heizgas), während CO_2 bekanntlich nicht brennt.

§ 18. Die kohlensäuren Salze (Kalkbrennen, Kalklöschchen, Mörtel)

1. Die Salze der Kohlensäure heißen Karbonaté. Ersetzt man in der Formel der Kohlensäure H_2CO_3 den vertretbaren Wasserstoff durch die Metalle

I	I	II	II	II
<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Zn</i>	<i>Fe</i>

gemäß ihrer Wertigkeit, so entstehen die Karbonate:

Na_2CO_3	K_2CO_3	$CaCO_3$	$ZnCO_3$	$FeCO_3$
Soda (+ 10 H_2O)	Pottasche	Kalkstein Marmor	Zinkspat	Eisenspat

Ersetzt man nur ein Wasserstoffatom der Säure durch das Metall, so erhält man die sog. sauren oder Bi-Karbonate, z. B. $HNaCO_3$ = Natriumbikarbonat oder doppeltkohlensäures Natron (dient zum Abstumpfen der Magensäure).

2. Wichtig für das Baugewerbe ist das Calciumkarbonat CaCO_3 oder der **kohlensaure Kalk**. Aus diesem Kalkstein bestehen ganze Gebirge (Kalkalpen; Jurakalk).

Er kommt auf Island kristallisiert vor in glashellen Rhomboedern, die eine Schrift doppelt zeigen (Abb. 475; **Kalkspat**, doppelbrechend). — Fein kristallinisch heißt er **Marmor**; amorph [= gestaltlos] tritt er als **Kreide** auf (Kreidefelsen auf Rügen). — Die **Eier-** und die **Muschelsehalen** (Abb. 476) bestehen auch aus kohlen-saurem Kalk. Gieße Salzsäure darauf! [Es entweicht CO_2 !]



Abb. 475. Isländischer Kalkspat



Abb. 476. Kreidestaub unter dem Mikroskop

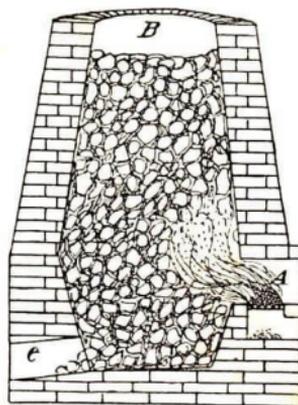


Abb. 477. Durchschnitt eines Kalkofens

a) **Kalkbrennen**. Erhitzt man Kalksteine im Kalkofen (Abb. 477), so zerfallen sie in Kohlendioxyd und in gebrannten Kalk. $\text{CaCO}_3 = \text{CO}_2 \uparrow + \text{CaO}$.

b) **Kalklöschchen**. Bringt man den gebrannten Kalk (CaO) in Wasser, so zischt er auf unter starker Wärmeentwicklung und es entsteht gelöschter Kalk. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = (\text{OH})_2\text{Ca}$; also Calciumhydroxyd.

Die Lösung in Wasser gibt eine starke Basis; in viel Wasser gelöst ergibt sich das oben benutzte Kalkwasser.

c) Der **Mörtel** besteht aus Sand und gelöschtem Kalk.

Er dient zur festen Verbindung der Ziegelsteine. Beim Auströcknen der Neubauten nimmt er CO_2 auf, wodurch sich der gelöschte Kalk wieder in festen Kalkstein (CaCO_3) verwandelt:



3. Wichtig für Wäschereien sind noch zwei Karbonate:

a) Die **Soda** ... Na_2CO_3 ... Natriumkarbonat,

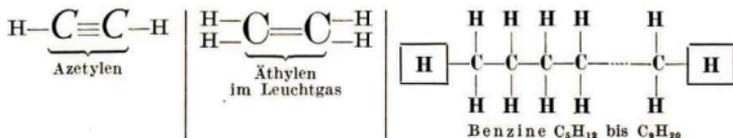
b) die **Pottasche** ... K_2CO ... Kaliumkarbonat.

Flammenfärbung? In Wasser gelöst geben beide **basische** Reaktion, man benutzt sie daher im Haushalt statt schwacher Laugen zum Waschen der Wäsche. (Laugen lösen Fett auf.)

Die Pottasche ist in der Holzbrandasche enthalten. Letztere Asche [nicht die von Steinkohlen], in Wasser ausgelaugt, kann der sparsamen Hausfrau als Lauge dienen.

§ 19. Das Heer der Kohlenwasserstoffe Leuchtgas. Petroleum. Spiritus

1. **Kohle** verbindet sich in vielen Verhältnissen mit Wasserstoff. So entsteht das Heer der Kohlenwasserstoffe. Der einfachste ist das Grubengas CH_4 [Methan]; dies haben wir schon kennengelernt (Abb. 465). Weitere sind:



Die **Benzinkette** fortgesetzt, führt auf die **Paraffinkette** $\text{C}_{22}\text{H}_{46}$ bis $\text{C}_{28}\text{H}_{58}$. Aus Paraffin bestehen die Kerzen. — Alle diese Stoffe zeigen hervorragende Brennbarkeit und spielen in der Beleuchtungstechnik die größte Rolle.

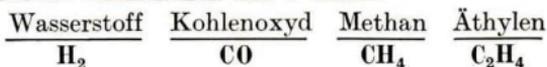
2. **Fahrradlaternen** werden mit **Azetylgas** gespeist. Dies entsteht, wenn man auf Karbidstückchen Wasser tropfen läßt.



Abb. 478

Calciumkarbid CaC_2 ist eine im elektrischen Ofen sehr einfach aus Kalk und Kohle hergestellte Verbindung CaC_2 . — Beim Übergießen mit Wasser zischt es auf unter Abgabe von **Azetylgas** (C_2H_2); der zurückbleibende Rest ist gelöschter Kalk. [$\text{CaC}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{C}_2\text{H}_2 + (\text{OH})_2\text{Ca}$.] — Erkläre Abb. 478!

3. **Leuchtgas**, heute meist Stadtgas genannt, wird in den Gasfabriken im großen hergestellt, indem man dort minderwertige Kohlen (Braun- und Steinkohlen) in eisernen Retorten unter Luftabschluß auf 800° (Rotglut) erhitzt [= **trockene Destillation bei 800°**]. Das entweichende Rohgas besteht im wesentlichen aus 4 Gasen:



Das erste (49%!) bedingt die Heizkraft, das zweite die Giftigkeit, das letzte die Leuchtkraft. Bevor es im Gasometer (Abb. 479) aufgespeichert wird, muß es von Verunreinigungen befreit werden.

Zuerst leitet man es durch die **Teervorlage** (Abb. 479); dort setzt sich der Teer ab. — Das **noch heiße Gas** wird nun durch den **Kühler** und **Waschturm** geleitet (in Abb. 479 fortgelassen). Hier wird es gekühlt und gibt **Ammoniak** an das Wasser ab. — Im **Reiniger e** befindet sich sog. Lamingsche Masse (Sägspäne und Brauneisenstein), die schließlich die Stoffe H_2S und CO_2 bindet.

Das Leuchtgas wird sowohl zur Beleuchtung wie zur Heizung verwendet. Erste Straßenbeleuchtung in London 1812.

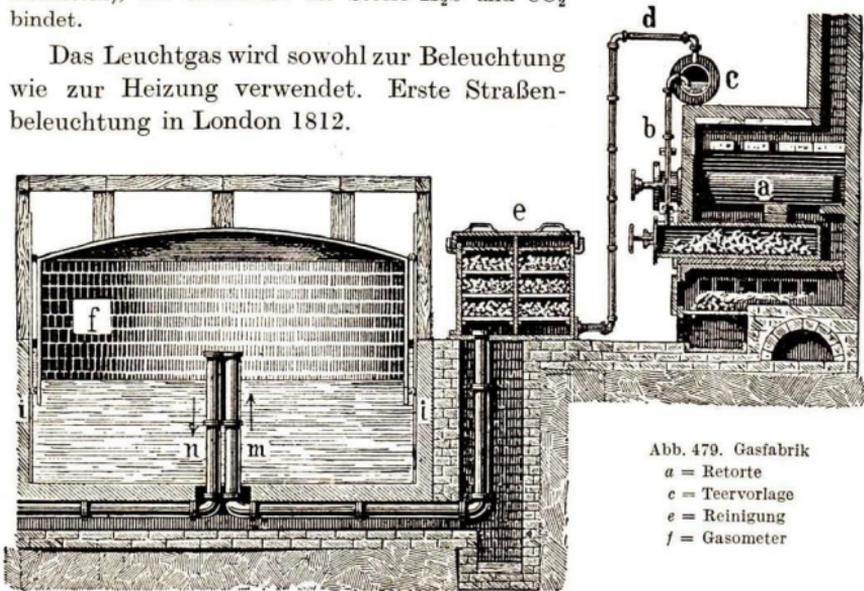


Abb. 479. Gasfabrik
 a = Retorte
 c = Teervorlage
 e = Reinigung
 f = Gasometer

Bekannt sind die **Gasherde in den Küchen** (Abb. 480), die ein sehr bequemes Kochen gestatten, da man der Mühe des Anheizens überhoben ist und durch Drehen des Gashahnes die Heizflamme beliebig auf klein oder groß einstellen kann.

4. Von ungeheurer Wichtigkeit sind dabei die **Nebenprodukte**.

a) Der in der Retorte zurückbleibende **Koks** enthält **96 % Kohle** und ist daher von gewaltiger Heizkraft.



Abb. 480. Gasherd

Koksöfen müssen gegen große Hitze widerstandsfähig sein.

b) Das durch den Waschturm gehende Wasser enthält große Mengen **Ammoniakgas NH_3** aufgespeichert.

Man bedenke: 1 Liter Wasser absorbiert an 750 Liter dieses Gases (Abb. 459). Diese **Ammoniaklösung** ist eine wichtige Lauge, eine der besten Basen des Chemikers. Sie heißt auch **Salmiakgeist**; löst **Fett** auf und tilgt **Säureflecken**.

c) Der **Teer** (früher achtlos weggeworfen) ist heute die Fundgrube der Chemiker geworden. Er ist von ungeheurer Wichtigkeit für die Farbenindustrie. Bei 100° bis 120° destilliert, gibt er das **Benzol** C_6H_6 (Abb. 481), eine ätherische Flüssigkeit, die auf Wasser schwimmt.

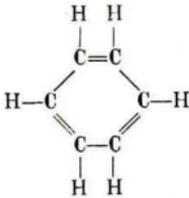


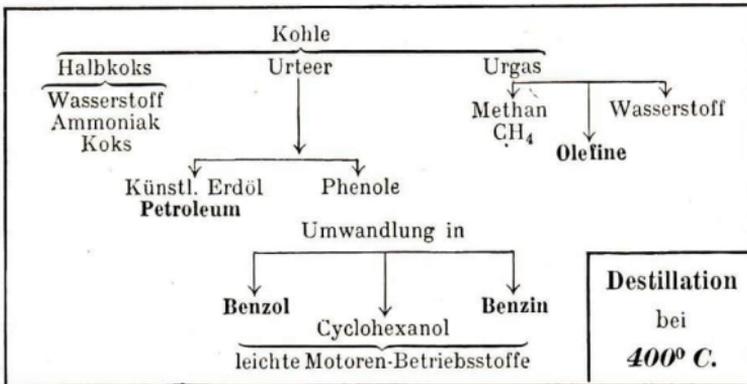
Abb. 481. Benzolring

Denkt man vom Benzolmolekül C_6H_6 und ebenso vom Ammoniakmolekül NH_3 je ein H abgesetzt und vereinigt die Reste, was den Chemikern gelingt, so entsteht das **Anilin** ($C_6H_5-NH_2$), das der Ausgangsstoff für die Herstellung der künstlichen Farben ist.

5. Neuere Verwertung der Kohle. a) Extrahiert man Braunkohle mit Benzin, so erhält man **Wachs**.

b) Verrührt man Kohle mit Wasserstoff in einem Stahlzylinder [bei 400° und 200 Atm. Druck], so verwandeln sich $80^0/0$ der Kohle in **Öl**.

c) **Destillation bei nur 400° :**

Abb. 482. Destillation bei 400°

Vorbereitung. Erhitzen auf 300° . Die Kohle trocknet und es scheidet sich die zur Heizung wertlose Kohlensäure CO_2 ab. (**Inkohlungsprozeß.**)

Erhitzung auf 400° gibt drei Teilprodukte: Urgas, Urteer und Halbkoks. Daraus ergeben sich bei weiterer Trennung **künstliches Petroleum** und andere Betriebsstoffe gemäß Abb. 482.

6. Das natürlich vorkommende Petroleum (Erdöl) ist ein Rohgemisch von allerhand Kohlenwasserstoffen.

Das Rohpetroleum (Steinöl) muß vor dem Gebrauch **raffiniert** (gereinigt) werden. Dies geschieht durch Destillation bei verschiedenen Wärmegraden (fraktionierte Destillation).

Zunächst (bei 60°) geht das gefährliche **Benzin** über; bei höherer Temperatur (220°) das **raffinierte Petroleum**; bei noch höherer **Schmieröl**. Zurück bleibt **Paraffin**. [Dient zur Herstellung der Kerzen.]

7. Jede **Kerzenflamme** ist eine kleine **Gasfabrik** (Abb. 483).

Erkläre den in Abb. 478 dargestellten Versuch! In der **Grenzzone I** zwischen Gas und atmosphärischer Luft tritt die Verbrennung ein [= Vereini-

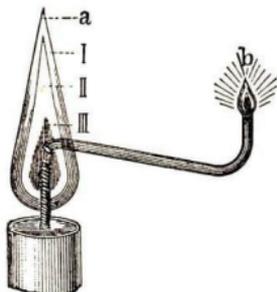


Abb. 483. Die drei Zonen

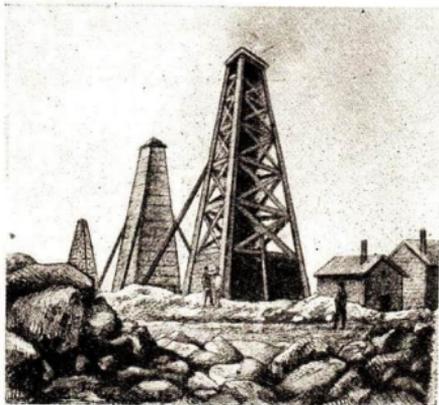
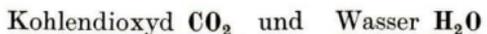


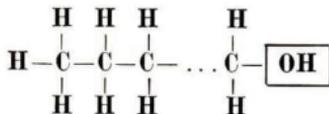
Abb. 484. Petroleumquellen bei Baku

gung mit O]. **Innen** ist die Flamme kalt, doch noch so warm, daß längs des Dochtes das Paraffin stetig vergast.

Bei der Verbrennung entstehen nur zwei Produkte:



8. Der **Spiritus** ist mit Wasser verdünnter Alkohol. Die Alkohole haben die Formel



Wodurch unterscheidet sich diese von der Benzinformel? Der Alkohol erster Stufe **CH₃(OH)** ist der **Holzgeist**, der Alkohol zweiter Stufe **C₂H₅(OH)** ist der **Weingeist** oder edle Alkohol. Der Alkohol fünfter Stufe **C₅H₁₁(OH)** ist das übelriechende **Fuselöl** usw. — Bringt man Chlorkalk in siedenden Alkohol, so entsteht das Chloroform **HCCL₃**.

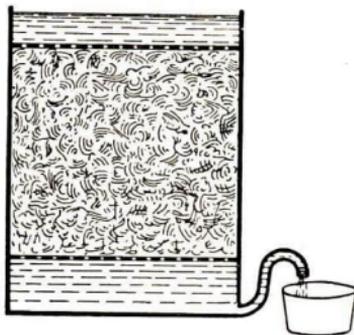


Abb. 485. Schnellseigfabrikation

9. Essig entsteht, wenn man Bier- oder Weinreste in einem Faß über Hobelspäne laufen läßt; dabei oxydiert sich der Alkohol zu Essigsäure H_3CCOOH . — Erkläre Abb. 485!

Konzentrierte Essigsäure (Eisessig) ist äußerst gefährlich; der Speiseessig ist sehr verdünnt.

§ 20. Das Metall Aluminium ^{IV} ($Al = 27$)

1. Das Aluminium ist ein weißes Metall; erst 1827 entdeckt.

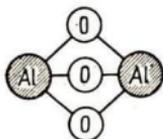


Abb. 486. Al_2O_3

a) Es ist sehr leicht (spez. Gew. 2,7) und sehr dehnbar.

b) Nachteil: Löst sich in Lauge und Säure und schmilzt schon bei $658^\circ C$.

2. Das Oxyd. Erhitzt man Aluminiumpulver an der Luft, so entsteht ein flaumiges weißes Pulver, die Tonerde Al_2O_3 (Abb. 486).

Grobes Aluminiumpulver, gemischt mit Eisenoxyd, läßt sich durch ein Sturmstreichholz entzünden und erzeugt eine solche Hitze, daß eine derartige Patrone 10 mm dicke Eisenplatten glatt durchschmilzt. (Als Thermit im Handel.)

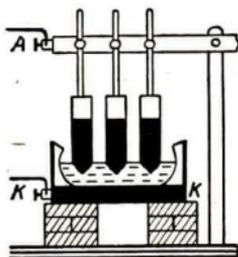


Abb. 487
Aluminiumgewinnung

3. Die Tonerde Al_2O_3 kommt in der Natur vor; zum Teil als diamanthartes Material, genannt Korund.

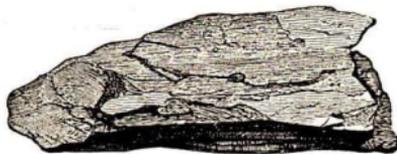


Abb. 488. Tonschiefer

Wegen seiner Härte wird unreiner Korund in fein verteiltem Zustand als Schleifmittel benutzt (Schmirgelpapier). — Edler Korund, rot gefärbt, heißt Rubin, blau gefärbt: Saphir.

Läßt man starken elektrischen Strom (bis zu 2000 Amp.) durch Tonerde Al_2O_3 gehen, so schmilzt sie und scheidet an der Kathode Aluminium (an der Anode Sauerstoff) ab.

Erkläre dies an Abb. 487! So stellt man im großen Aluminium her.

4. Ton ist eine Verbindung von Tonerde mit Wasser und Quarz (SiO_2).

Ein Molekül Ton enthält die Elemente von:



ist also kurz gesagt ein Aluminiumsilikat.

Der reinste Ton ist die **Porzellanerde** (das Kaolin), der unreinste der **Lehm**. Dazwischen liegt der **Töpfer-ton**, aus dem die irdenen Geschirre gemacht werden. Der **Tonschiefer** hat sich im Lauf der Zeit aus schlammigem Wasser schiefrig abgesetzt.

Der Ton bildet sich durch **Verwitterung der Feldspatgesteine**.

5. Alaun ist Kalium-Aluminiumsulfat $\text{KAl}(\text{S}_2\text{O}_8)$.

Die Dreiwertigkeit des Aluminiums zeigt Abb. 489. — Schöne Alaunkristalle in Oktaederform (Abb. 421). — Alaun wirkt zusammenziehend auf der Zunge;

benutzt zum Gurgeln. Dient zum Beizen der Zeuge, die man haltbar färben möchte.

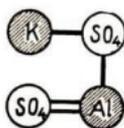


Abb. 489. Alaun

6. Der **Feldspat**, ein wichtiger Bestandteil der Ackererde, ist Kalium-Aluminiumsilikat $\text{KAl}(\text{Si}_3\text{O}_8)$.

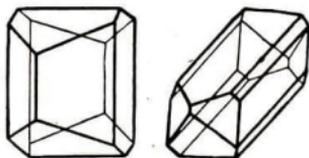


Abb. 490. Feldspatkristalle

Es gibt auch Natronfeldspat und Calciumfeldspat. — Zeigt ebenfalls hübsche Kristalle (Abb. 490). — Die meist rötliche Färbung rührt von Beimengungen her. Kalifeldspat verwittert leicht und ist so Kalilieferant der Pflanzen. [Alle Pflanzen brauchen Kali zum Gedeihen!]

§ 21. Das Silicium (Quarz und Glas)

1. Das **Silicium** ($\text{Si} = 28$) stellt der Chemiker als **braunes Pulver** dar. Es verbrennt überaus leicht. Sein Oxyd ist SiO_2 .

2. Aus diesem Oxyd SiO_2 besteht der **Quarz**, der gebirgbildend auftritt. (Erst bei 2000° schmelzbar, ritzt Glas, funkt an Stahl.) Aus zerscheuertem Quarz bestehen die **Kieselsteine** und der Sand. Durch Verbindung der Sandkörner entstand der **Sandstein**.

Der **Bergkristall** (Abb. 491) ist kristallisierter Quarz. Er zeigt sechsseitige Säulen. Violett gefärbt, heißt er **Amethyst**, bräunlich gefärbt **Rauchtopas**. — Auch der **Feuerstein** (zum Feuerschlagen) ist Quarz; ebenso der oft schön gebänderte **Achat** (Abb. 492). Denk an die unermeßlichen Mengen von See- und Wüstensand!

3. Schmilzt man **Quarz** mit **Soda**, so entsteht **Wasserglas**.

Dient zum Waschen; zum Einlegen der Eier. — Mit Kreide gemischt gibt es steinhart werdenden Kitt; mit Salzsäure: Kieselsäure.

4. Schmilzt man Quarz mit Soda und Kalkstein, so erhält man das *Fensterglas*. Statt Soda benützt man auch Pottasche.

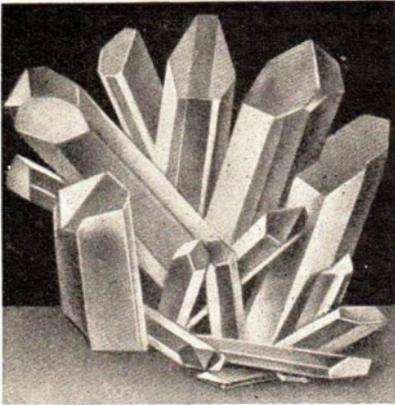


Abb. 491. Bergkristall



Abb. 492. Achat



Abb. 493. Sandstein (SiO)

Dabei entstehen die zwei Silikate des Ca und Na (bzw. des K). Merke:
Glas ist ein Doppelsilikat.

Herstellung. Die richtig gemischten Materialien werden in Eimern aus feuerfestem Ton im Glasofen zusammengeschmolzen. Aus der geschmolzenen Masse entnimmt der Glasbläser mit der „Pfeife“ (einem etwa 1½ m langen eisernen Rohre) etwas Glasmasse und gibt ihr durch

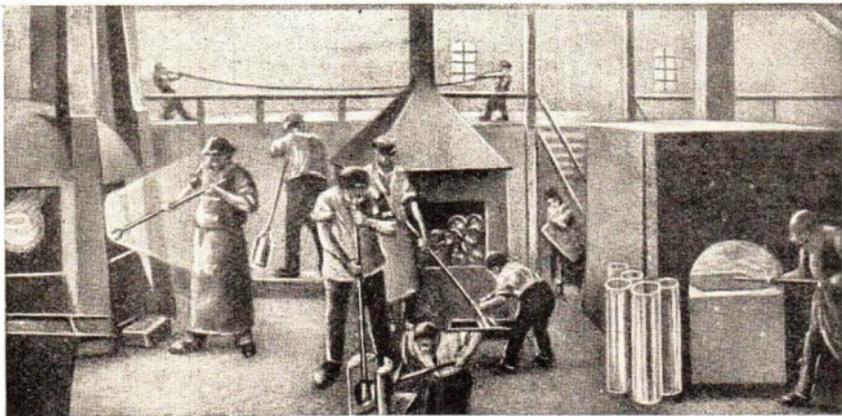


Abb. 494. Herstellung von Glaswaren

Aufblasen und geeignetes Schwenken der Pfeife die gewünschte Form. Zuweilen werden Holzformen benutzt (Abb. 494, Mitte, vorn). Größere Glasscheiben werden gegossen. Die fertigen Glasgegenstände läßt man in „Kühlöfen“ langsam abkühlen.

5. Wasser löst geringe Mengen von SiO_2 . Dies führt auf die Entstehung der **Kieselsäure** $2\text{H}_2\text{O} = \text{SiO}_2 + \text{H}_4\text{SiO}_4$.



Abb. 495. Basaltsäulen der Fingalshöhle auf Staffa

Heiße Quellen (Geiser auf Island) setzen Kieselsäure (Kieselsinter) ab. — $\text{H}_2\text{O} + \text{SiO}_2 = \text{H}_2\text{SiO}_3$ heißt Metakieselsäure.

Die Salze der Kieselsäure heißen **Silikate**.

Die Feldspate, Glimmer, Granit und Basalt erweisen sich als **Silikate**, d. h. als Salze der **Kieselsäure**.

Granit ist ein Mischgestein aus Quarz, Feldspat und Glimmer. **Basalt** ist ein vulkanisches Auswurfgestein; beide verwendet zum Straßenbau. Abb. 495 zeigt die (sechseckigen) schwarzen Basaltsäulen der Fingalshöhle. — Ebenso sind **Porphy**, **Syenit**, **Lava** und **Bimsstein** kieselsaure Eruptivgesteine.

6. Manche Pflanzen nehmen Kieselsäure auf, z.B. die Schachtelhalme. (Zinnkraut als Putzmittel.)

Kieselpanzer der Radiolarien (Urtierchen im Meere).

§ 22 Gewinnung von Eisen ^{II, III} (Fe = 56)

1. Eisen ist ein graues Metall, das vom Menschen schon seit alter Zeit benützt wird. Da es gediegen auf der Erde nicht vorkommt (Meteorsteine enthalten Spuren davon), so interessiert an erster Stelle die Frage, wie wohl der Urmensch früher reines Eisen gewonnen haben mag. Meist ist das Eisenerz oxydisch. Um Eisen daraus zu gewinnen, muß man dem Erz seinen Sauerstoff entziehen.

Vielleicht legte man Erzsteine zusammen, um einen Ofen zu bilden, in dessen Mitte Holz unter Anwendung des Blasebalgs zu heller Glut entfacht wurde. Um die zu vielen Öffnungen zwischen den Steinen zu vermeiden, wurden dieselben mit Rasen überdeckt. Da der zugeführte Sauerstoff wohl zuwenig war, um das Holz rasch genug zu verbrennen, so entzog die glühende Kohle dem Erz Sauerstoff; Eisenschmolz aus und lief unten ab, vielleicht in Form einer Stange. Damit war die erste Eisenstange gegossen.

|| Merke: Glühende Kohle ist ein Reduktionsmittel.

2. Noch heutzutage verfährt man ähnlich. Die oxydischen Erze werden zunächst zerkleinert, dann auf kleinen Karren (Hunden) an den Rand des Hochofens gefahren (Abb. 499), und hier wird abwechselnd eine Schicht Erz und eine Schicht Koks hineingeschüttet. Der Hochofen wird von unten her in Brand gesetzt. Durch ein Gebläse wird die Verbrennung der Kohle unterhalten. Die glühende Kohle bzw. das entstehende CO entziehen dem Erz den Sauerstoff. So fließt nun unten reines Eisen ab; es entsteht darüber eine Schicht von Schlacke (= geschmolzenes Gestein), die es vor Wiederoxydation schützt.

3. Oxydische Eisenerze sind: a) Der hochoxydische, schwer schmelzbare Magneteisenstein Fe_3O_4 [= Eisenoxyduloxyd], der durch seine schöne Oktaederform ausgezeichnet ist (Abb. 496).

b) Der Roteisenstein Fe_2O_3 [= Eisenoxyd, Polierrot].

Kristallisiert in glänzend schwarzen, flächenreichen Kristallen (Abb. 497), die oft bunt angelaufen sind. Kommt auch in nierenförmigen Bildungen als roter Glaskopf vor. — Rotstift!

c) Das Brauneisenerz $2Fe_2O_3 + 3H_2O$, ein rostbraunes Erz. Fundorte: Harz, Ilsede.

Natürliche Entstehung. Pflanzengrün enthält Eisen. Bei der Vermoderung, Versumpfung gelangt es in den Boden, setzt sich dort unter den Sümpfen ab unter Bindung an Sauerstoff und Wasser. (Eisenhaltiges Moorwasser.)

4. Zwei andere Eisenerze sind:

a) Der Schwefelkies FeS_2 ; er ist ein sulfidisches Erz (Abb. 498).

Verwittert an feuchter Luft zu Eisenvitriol und Schwefelsäure. Fundorte: Freiberg in Sachsen; Meggen in Westfalen.

b) Der Spateisenstein $FeCO_3$ [= Eisenkarbonat] ist kohlen-saures Eisen. Mächtige deutsche Eisenindustrie in Bochum (Siegener Land).

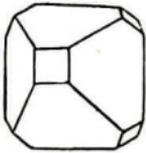


Abb. 496. Magnetitstein



Abb. 497. Eisenglanz

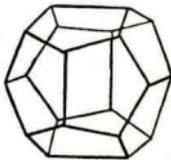


Abb. 498. Schwefelkies

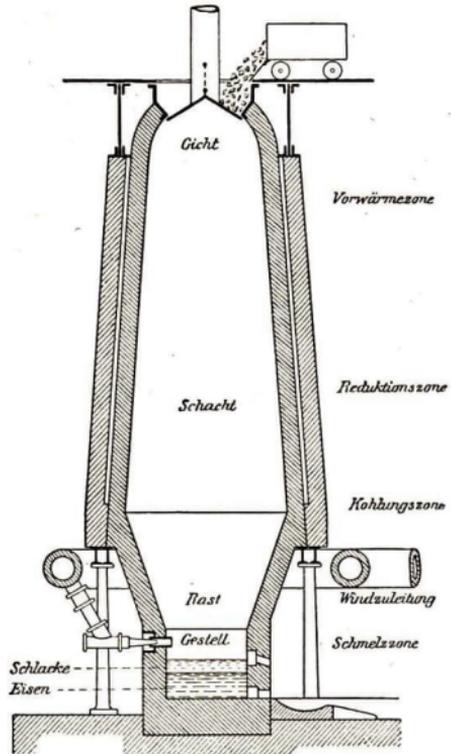


Abb. 499. Hochofen

Diese nichtoxydischen Erze müssen, bevor sie in den Hochofen kommen, **geröstet** werden; dadurch entweichen Schwefel und Kohlen-säure (genauer SO_2 , CO_2), während sich gleichzeitig das Eisen oxydiert.

|| In den **Hochofen** kommen nur **oxydische Erze**.

5. Wichtige Eigenschaften des Eisens. Glühendes Eisen hat die Eigenschaft, Kohlenstoff aufzunehmen. Merke:

|| **Gußeisen** enthält bis **6%** Kohlenstoff.

Diesem verdankt es seine Leichtflüssigkeit. Rasch gekühltes Gußeisen ist aber nicht hämmerbar; es zerbricht unter dem Hammerschlag; die Bruchflächen sind rüßig (Graphit).

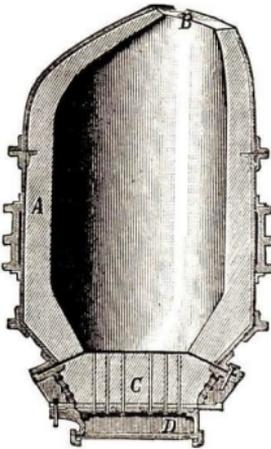


Abb. 500. Bessemerbirne im Durchschnitt

Wird es auf offenem Herde geschmolzen (**Puddelofen**) und durch Umrühren in allen seinen Teilen mit der Luft in Berührung gebracht, so verbrennt der aufgelöste Kohlenstoff bis zu einem Rest von $\frac{1}{2}\%$. Das so entstandene **Schmiedeeisen** ist geschmeidig zähe und hämmerbar. — Zwischen beiden Eisensorten steht der Stahl.

|| Stahl enthält nur $\sim 1\frac{1}{2}\%$ Kohlenstoff.

Die **Entkohlung** des Eisens kann auch in den sog. **Bessemerbirnen** geschehen (Abb. 500).

Beim **Bessemerverfahren** bringt man das flüssige Eisen in die Bessemerbirne und treibt

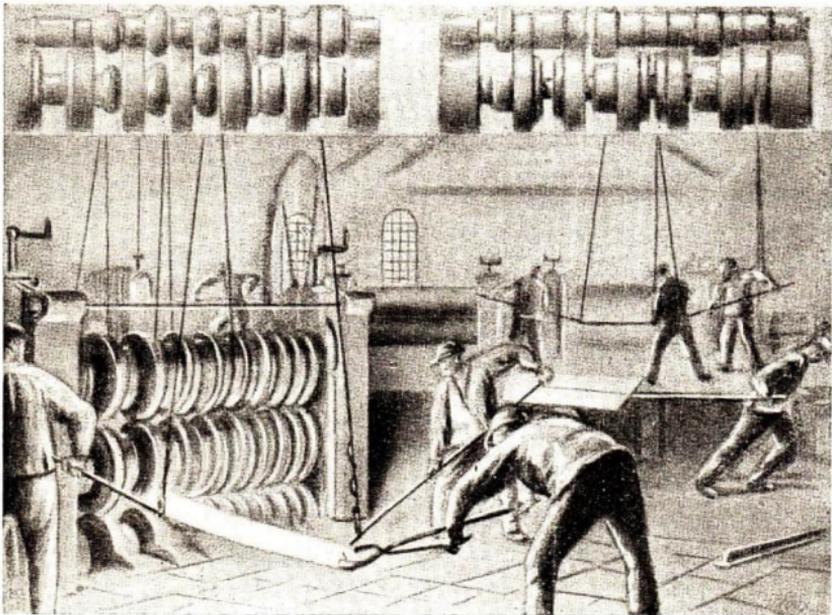


Abb. 501. Walzwerk. Der Arbeiter lenkt einen glühenden Balken durch die „Form“

von unten her Luft durch das Eisen. Diese verbrennt die Kohle. (Oben entweicht CO , das mit bläulicher Flamme brennt.)

Das glühende Eisen wird nach Bedarf in Walzwerken geformt, d. h. durch profilierte Stahlwalzen geleitet (Abb. 501).

Aufgaben. 1. Wieviel % Eisen enthält Eisenspat? Antwort: Im Grammmolekül FeCO_3 wiegt $\text{Fe} = 56$ g, $\text{C} = 12$ g, $\text{O}_3 = 48$ g, zusammen 116 g. Das heißt 116 g Eisenspat geben 56 g Eisen; 100 g Eisenspat geben dann 48 g Eisen = 48%.

2. Was enthält mehr Eisen: Magnetisenstein oder Spat-eisenstein? [Antwort: Ersterer 72,4%.]

3. Wie viele Liter CO_2 entweichen beim Rösten von 1 Grammmolekül Eisenkarbonat? Antwort: Aus FeCO_3 bildet sich 1 Mol. CO_2 , also geben 116 g Eisenkarbonat 22 Liter CO_2 . [§ 11.]

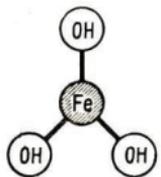


Abb. 502. Eisenrost



Abb. 503. Lötrohr

6. Eisen hat einen Nachteil: Es rostet leicht in feuchter Luft, der Rost ist ein Eisenhydroxyd $\text{Fe}(\text{OH})_3$. [Eisen dreiwertig.] Der Rost bröckelt ab; das Rosten geht weiter.

Schutz durch Anstrich, Verzinnung, Verzinkung.

7. Glühende Kohle reduziert auch die meisten anderen Metalloxyde; d. h. sie entzieht ihnen den Sauerstoff: das reine Metall bleibt zurück.

Bringt man eine Messerspitze voll **Bleioxyd** auf ein Stück Kohle und bläst mit dem Lötrohr (Abb. 503) die Flamme dagegen, so verbindet sich die Kohle mit dem Sauerstoff des Oxyds und **reines Blei** bleibt zurück.

§ 23. Das Kupfer ^{I, II} ($\text{Cu} = 63,4$)

1. Das Kupfer ist ein rotes Metall.

Der Kupferschmied stellt aus Kupfer Herdeinfassungen, Dachbeläge, Kessel, Geschirre her; der Gelbgießer macht daraus Messing, Bronze [Glockenguß]. — Kupfer wird jetzt in riesigen Mengen zur Herstellung elektrischer Leitungen verwendet.

2. Wichtige Legierungen (= Mischungen) des Kupfers sind:

Messing	= Kupfer + 25—40 % Zink (Geschirre)
Bronze	= Kupfer + 10 % Zinn (Denkmäler)
Neusilber	= Kupfer + 30 % Zink + 10 % Nickel (Löffel)

Der Name **Messing** wird abgeleitet aus Meth + Zink; Meth heißt im Russischen Kupfer.

3. Kupferdächer oxydieren in kohlenensäurehaltiger Luft und überziehen sich dabei mit einer schönen **grünen Schicht**, **Patina** genannt.

Diese Schicht ist basisches Kupferkarbonat $\text{CuCO}_3 + \text{Cu(OH)}_2$.

4. Kupfergeschirre setzen gern **Grünspan** an.

Alle organischen Säuren (Essig, Fett) und Salzlösungen greifen das Kupfer an; daher **Vorsicht** beim Kochen in kupfernen Geschirren! Es entsteht gern **Grünspan** (= essigsäures Kupfer). Giftig!

5. Reagens auf Cu-Verbindungen ist **Salmiakgeist**. Färbt dunkelblau. — **Flammenprobe**: Grün.

Gieße in sehr verdünnte Cu-Vitriollösung Salmiakgeist! [Ergebnis: Lösung, zuerst fast farblos, wird dunkelblau.] — Halte einen CuSO_4 -Kristall in die Flamme des Bunsenbrenners! [Ergebnis: Grünfärbung.]

§ 24. Weitere Metalle

1. Zu den edlen Metallen zählen Gold, Platin und Silber.

a) **Gold** ist ein hellgelbes Metall und gilt als Wertmesser aller Produktion (Goldwährung). Hauptfundstätte: Südafrika; auch deutsche Flüsse enthalten Spuren davon. (Goldwäschereien, Rheingold.)

b) **Platin** ist ein sehr schweres weißes Metall; kommt im Uralgebirge vor; schwer schmelzbar (1775°), widersteht allen Säuren, daher verwendet zu chemischen Geräten.

c) **Silber** ist ein weißes Metall.

Verwendet zu Speisegeräten (Löffel; Tafelaufsätze usw.), zu Münzen (unter Beilegierung von Kupfer zur Härtung).

Silber löst sich leicht in Salpetersäure unter Bildung der bekannten rotbraunen Dämpfe (NO_2) zu Silbernitrat AgNO_3 [Höllenstein]. Merke:

|| **Höllenstein** ist ein Reagens für **Chloride**.

Bringt man ein beliebiges Chlorid herein, so bildet sich ein charakteristischer weißer, käsiger Niederschlag von Silberchlorid. — Die photographischen Platten sind mit Jod- bzw. Bromsilber überzogen.

2. Weitere häufig benützte Metalle sind Quecksilber, Zinn, Zink und Blei.

a) **Quecksilber (Hg)** ist ein flüssiges weißes Metall. Es wird aus Zinnober HgS durch Erhitzen an der Luft gewonnen. $\text{HgS} + \text{O}_2 = \text{Hg} + \text{SO}_2 \uparrow$.

Zinnober ist ein rotes Mineral; Fundstätten: Almaden in Spanien; Idria in Krain. — Die Quecksilbersalze sind sehr giftig. — Quecksilberchlorid [Sublimat HgCl_2] verwendet in der Medizin.

b) **Blei (Pb)** ist weiches graues Metall.

Aus **Blei** bestanden früher die Wasserleitungsröhren; jetzt wegen der Giftigkeit des Bleies und seiner Salze untersagt. Blei hat zwei Oxyde: **Bleioxyd PbO** [= Bleiglätte, gelblich] und **Bleisuperoxyd PbO₂**; daneben das Zwischenoxyd **Pb₃O₄** [= 2 PbO + PO₂] von schöner roter Farbe, genannt Mennige. (Dient zum Rotanstrich eiserner Zäune als Grundierungsfarbe.) — Bleiakumulatoren.

Aus dem nicht giftigen **Zinn** bestehen die Stanniolblättchen, mit denen die Schokoladentafelchen umhüllt sind. Zinndeckel der Krüge.

Zinkblech (oder verzinktes Eisenblech) dient zur Herstellung von Eimern und zum Dachdecken, da sich Zink ohne sonderliche äußerliche Veränderung an der Luft mit einer schützenden oxydischen Schicht überzieht.

§ 25. Wiederholung über Säuren, Basen, Salze

1. **Säuren** sind Stoffe, die **blaues** Lackmuspapier **rot** färben. Sie bestehen aus **Säurewasserstoff** und **Säurerest**. Die drei für uns wichtigsten Säuren sind die

Salzsäure HCl	Schwefelsäure H₂SO₄	Salpetersäure HNO₃
--------------------------------	--	--

1. Hat die Säure 1, 2, 3... vertretbare Wasserstoffatome, so heißt sie 1-, 2-, 3-basisch.

2. Säurerest kann sein: a) ein Nichtmetall, z. B. Cl, F, Br, J, oder b) die Sauerstoffverbindung eines Nichtmetalls, z. B. (**SO₄**), (**NO₃**), (**CO₃**).

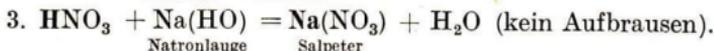
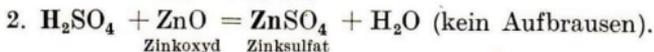
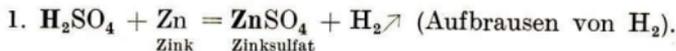
2. **Basen** färben **rotes** Lackmuspapier **blau** (§ 5.4). Sie entstehen durch chemische Auflösung von **Metallen** oder **Metalloxyden** in Wasser (Laugen oder Hydroxyde). Sie bestehen aus dem **Metall** und dem **Radikal (OH)**, dem **Hydroxyl**. Die drei für uns wichtigsten Laugen sind:

Natronlauge Na(OH) + aq. <small>(Ätznatron)</small>	Kalilauge K(OH) + aq. <small>(Ätzkali)</small>	Kalkwasser Ca(OH)₂ + aq. <small>(gelöschter Kalk)</small>
---	--	--

a) Beim Auflösen von **Na**-Metall im Wasser (Abb. 422) zeigt das Wasser basische Eigenschaft. Grund: $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na(OH)} + \text{H} \rightarrow$.

b) Löse „gebrannten“ Kalk (§ 18.2), d. i. Calciumoxyd CaO, in Wasser auf; es entsteht Kalkwasser. Grund: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca(OH)}_2$.

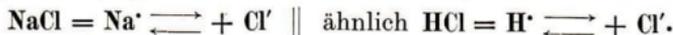
3. **Salze** entstehen, wenn man den **Wasserstoff** einer Säure (ganz oder teilweise) durch ein **Metall** ersetzt. Dazu muß man a) das Metall oder b) ein Metalloxyd (-sulfid) oder c) eine Base in die Säure bringen.



Versuche: a) Man setze zu konzentrierter Natronlauge tropfenweise Salpetersäure, so entsteht unter Wärmeentwicklung kristallisierter Salpeter. b) Färbt man die Basis durch einen Tropfen Phenolphthalein rot, so verschwindet die Färbung in dem Augenblicke, wo die genügende Säuremenge zugesetzt worden ist (**Neutralisationsprodukt**).

§ 26. Ionen in Lösung. Chemische Energie

1. Löst man Kochsalz in Wasser, so schwimmen im Wasser die Kochsalzmoleküle (NaCl) umher; ein ganz bestimmter Bruchteil derselben ist zerfallen, so daß also in der Lösung auch freie Na-Atome und freie Cl-Atome umherschweben. Erstere sind, wie alle Metallatome, positiv elektrisch geladen (angedeutet durch einen Punkt), letztere negativ geladen (angedeutet durch einen Strich). Die Teile heißen **Ionen**.

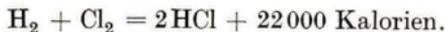


2. Das elektrisch geladene Na'-Atom hat aber einen ganz anderen chemischen Wirkungsgrad als das neutrale Na₂-Molekül. Dies sieht man ja daran, daß es das Wasser nicht zersetzt (§ 7). Man sagt, es hat weniger Energie.

3. Die Temperatur erhöht die Geschwindigkeit, mit der sich die Gasatome bewegen; sie erhöht ihren Energieinhalt.

Treffen Moleküle mit höherer Geschwindigkeit aufeinander, so können sie sich leichter zerschmettern und die Teile sich leichter umgruppieren. Daher erhöht sich die Reagenzfähigkeit mit der Temperatur.

4. Bei der Umgruppierung wird fast stets Wärme abgegeben; manchmal wird solche auch gebunden. Jede chemische Gleichung ist also eigentlich als Energiegleichung zu lesen; z. B.



Der Kalorienbetrag heißt Wärmetönung.

Zeittafel

Seit den ältesten Zeiten sind bekannt der Quarz (als Feuerstein; Steinzeitalter), dann die Metalle Kupfer, Zink, Bronze (Bronzezeitalter). Später erst lernte man Eisen, Schwefel, Blei, Gold und

Silber kennen und schätzen. — Steinkohle kam erst seit dem Dreißigjährigen Kriege 1600 in den Gebrauch und wird in rd. 1000 Jahren verbraucht sein. Die wissenschaftliche Chemie ist erst ~150 Jahre alt.

Jahr		Entdecker	Jahr		Entdecker
1400	Zinn	—	1807	Kalium	Davy
1674	Phosphor	Brand	1808	Calcium	Davy
1750	Platin	Rutherford	1812	Jod	Courtois
1772	Stickstoff	Watson	1823	Silicium	Berzelius
1774	Sauerstoff	Priestley	1826	Brom	Balard
		Scheele	1827	Aluminium	Wöhler
1774	Chlor	Scheele	1886	Fluor	Moissan
1783	Wasserstoff	Lavoisier	1894	Argon	Ramsay
1807	Natrium	Davy	1898	Radium	Curie

Man kennt zur Zeit 92 Grundstoffe.

