

Walter Schallreuter

Einführung in die Physik

Erster Band

Mechanik und Akustik



VEB WILHELM KNAPP VERLAG • HALLE (SAALE)

Einführung in die Physik

Zum Gebrauch neben Vorlesungen sowie zum Selbstunterricht

Erster Band

Mechanik und Akustik

Von

Prof. Dr. Walter Schallreuter

Mit 385 Abbildungen

2. Auflage



VEB WILHELM KNAPP VERLAG · HALLE (SAALE) 1954

Vorwort

Die vorliegende „Einführung in die Physik“ ist in erster Linie für die Studierenden bestimmt, die Physik als Hilfswissenschaft betreiben, also für Chemiker, Biologen, Mediziner, Pharmazeuten, Geologen und Mineralogen. Darüber hinaus soll das Werk aber auch dem Physiker als erste Einführung in sein Wissensgebiet dienen, und dementsprechend sind zahlreiche Abschnitte — durch Kleindruck gekennzeichnet — eingeschaltet, in denen stoffliche Erweiterungen und ergänzende, vertiefte Darstellungen wichtiger Gesetze und Beziehungen gebracht werden.

Da es sich bei diesem Werke um eine erste Einführung handelt, so wurde weit weniger Wert gelegt auf Vollständigkeit in der Darstellung des Stoffes als auf breite Behandlung der Grundbegriffe und Einführung in physikalische Gedankengänge, wodurch Verständnis für allgemein wichtige Gesetzmäßigkeiten und Gewöhnung an physikalisches Denken erstrebt wurde. Dem einführenden Charakter des Buches entspricht auch die gelegentliche Erwähnung von Forschern, deren Namen mit wichtigen Gesetzen oder Entdeckungen verknüpft sind, wobei irgendwelche Vollständigkeit keineswegs beabsichtigt war.

Die Mehrzahl der Abbildungen wurde neu entworfen, einzelne nach meist älteren Vorlagen aus dem Archiv des hiesigen physikalischen Instituts; leider ließ sich in diesen Fällen der Ursprung der Bilder nicht mehr feststellen. Der Firma E. Leybolds Nachfolger, Köln-Bayental, spreche ich auch an dieser Stelle meinen Dank aus für die bereitwillige Überlassung von Abbildungsvorlagen, dergleichen dem Fachverlag Schiele & Schön, Berlin.

Die erste Auflage des Werkes (Ende 1951) verschwand schnell vom Büchermarkt und auch ein unveränderter Neudruck (1953) war rasch vergriffen. Daher konnte in der vorliegenden 2. Auflage von größeren Änderungen abgesehen werden. Neu aufgenommen wurde ein kurzer Abschnitt über den graphischen Fahrplan, eine Darstellung des Prinzips der virtuellen Verschiebungen, eine eingehendere Behandlung des Prinzips von d'Alembert und des Flüssigkeitswiderstandes. Ein Teil der Abbildungen wurde durch neue ersetzt und weiterhin kleinere Irrtümer und Versehen beseitigt.

Wiederum gilt mein Dank dem Verlag für das bereitwillige und verständnisvolle Eingehen auf alle meine Wünsche.

Greifswald, im Mai 1954.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	III
Einleitung	1
A) Allgemeine Mechanik	5
Einleitung: Die Einheiten der Länge und der Zeit	5
1. Längenmessungen	5
Die Längeneinheit	5
Abgeleitete Maße	6
Geräte zur Längenmessung	7
Der Nonius	7
Die Schublehre	8
Der Dickenmesser oder die Mikrometerschraube	8
Das Sphärometer	9
2. Zeitmessungen	9
Die Zeiteinheit	9
Mittel zur Zeitmessung	10
I. Bewegungslehre (Kinematik)	11
1. Die Bewegung	11
2. Die Geschwindigkeit	12
3. Vektoren und Skalare	15
4. Vektordifferenz	19
5. Beschleunigung	21
6. Der freie Fall	23
7. Fall auf der schiefen Ebene	26
8. Der Wurf	27
9. Konstante Radialbeschleunigung	29
10. Dimensionen	32
II. Die Lehre von den Kräften (Dynamik)	33
1. Die Kraft; das Trägheitsgesetz	33
2. Versuche zum Trägheitsgesetz	34
3. Das Grundgesetz der Mechanik	35
4. Die träge Masse	36
5. Das CGS-System	37
6. Die Einheit der Kraft	38
7. Gewicht	38
8. Dichte; spezifisches Gewicht	40
9. Vergleich von Massen	40
10. Kraft = Gegenkraft	41
11. Anwendungen der Grundgleichung	43

	Seite
III. Zentralkräfte, Gravitation	47
1. Schwingungen	47
2. Harmonische Bewegung	49
3. Das mathematische Pendel	51
4. Gedämpfte und ungedämpfte Schwingungen	52
5. Zentralbewegung	53
6. Die Keplerschen Gesetze	54
7. Das Gravitationsgesetz	55
8. Träge und schwere Masse	58
9. Die Gravitationskonstante	59
10. Masse von Erde und Sonne	61
11. Ebbe und Flut	62
IV. Arbeit, Energie, Bewegungsgröße	63
1. Arbeit	63
2. Beschleunigungsarbeit	66
3. Arbeit bei veränderlicher Kraft	68
4. Spannarbeit	70
5. Potentielle Energie	70
6. Energieumwandlungen; der Energiesatz	72
7. Leistung	77
8. Bewegungsgröße	77
9. Der Impulssatz	79
10. Der elastische Stoß	81
11. Der unelastische Stoß	84
12. Ballistisches Pendel	85
V. Statik des starren Körpers	86
1. Der starre Körper	86
2. Verlegung des Angriffspunktes einer Kraft	87
3. Das Hebelgesetz	88
4. Parallele Kräfte	89
5. Zusammensetzung beliebiger Kräfte	91
Zusammensetzung beliebiger Parallelkräfte	91
6. Schwerpunkt	92
7. Die Guldinschen Regeln	95
8. Gleichgewicht	96
9. Satz von der Erhaltung des Schwerpunktes	98
10. Das Kräftepaar	99
11. Anwendungen	102
a) Hebel und Waage	102
b) Goldene Regel der Mechanik	104
c) Brückenwaage	105
d) Rolle und Flaschenzug	106
e) Die schiefe Ebene, der Keil, die Schraube	107
12. Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen	108
VI. Drehbewegungen	111
1. Das resultierende Moment von Drehkräften	111
2. Winkelbeschleunigung	112
3. Trägheitsmoment	113
4. Drehimpuls	115

	Seite
5. Bewegungsenergie rotierender Massen	116
6. Fortschreitende und Drehbewegung	116
7. Der Steinersche Satz	117
8. Berechnung von Trägheitsmomenten	118
a) Homogener Stab	118
b) Kreisscheibe	118
c) Homogene Kugel	120
9. Versuche zur Drehbewegung	120
10. Drehschwingungen	122
11. Das physische Pendel	123
12. Reversionspendel	125
13. Freie Achsen	126
14. Der Kreisel	128
15. Die Erde als Kreisel	134
VII. Trägheitskräfte	135
1. Das Prinzip von d'Alembert	135
2. Bewegter Beobachter	138
3. Fliehkraft	139
4. Versuche zur Fliehkraft und Anwendungen	141
5. Fliehkraft und Erdanziehung	145
6. Coriolis-Kraft	146
7. Der Foucaultsche Pendelversuch	148
8. Fallversuche zum Nachweis der Erddrehung	151
9. Der Kreiselkompaß	152
10. Absolute Bewegung	154
B) Mechanik der Festkörper, Flüssigkeiten und Gase	157
Einleitung	157
1. Der Feinbau der Körper	157
2. Die Aggregatzustände	158
3. Die Kristallsysteme	160
VIII. Elastizität, Festigkeit, Reibung	163
1. Elastische und unelastische Körper	163
2. Dehnung, Hookesches Gesetz	163
3. Querverkürzung	165
4. Spannungen in einem elastisch beanspruchten Körper	165
5. Biegung	167
6. Drillung (Torsion)	170
7. Beziehung zwischen den Elastizitätskonstanten	172
8. Festigkeit, Härte	175
9. Reibung	176
10. Anwendungen	179
IX. Mechanik ruhender Flüssigkeiten (Hydrostatik)	181
1. Allgemeine Eigenschaften der Flüssigkeiten	181
2. Der äußere Druck	184
3. Der Schweredruck	187
4. Das Archimedische Prinzip	190
5. Oberflächenspannung	195
6. Kapillarität	200

X. Mechanik ruhender Gase (Aerostatik)	204
1. Allgemeine Eigenschaften der Gase	204
2. Dichte der Luft; Luftdruck	205
3. Das Gesetz von Townley (Boyle)	209
Anwendungen des Boyleschen Gesetzes	211
a) Die Spritzflasche, der Heronsball	211
b) Wasserpumpen	212
c) Atmen	213
d) Luftpumpen	213
e) Der Heber	214
f) Die Magdeburger Halbkugeln	216
4. Barometrische Höhenmessung	216
5. Kinetische Gastheorie	221
XI. Strömungen von Flüssigkeiten und Gasen	224
1. Die Bernoullische Gleichung	224
2. Anwendungen	227
a) Die Wasserstrahlpumpe und die Dampfstrahlpumpen	228
b) Die Diffusionspumpen	228
c) Ausströmungsgesetz von Bunsen	231
d) Der Bunsenbrenner	232
e) Das hydrodynamische Paradoxon	232
3. Innere Reibung	232
4. Schlichte Strömung	234
5. Stromlinien	236
6. Turbulente Strömung	238
7. Wirbel	239
8. Der Magnus-Effekt; Tragflügelauftrieb	244
9. Flüssigkeitswiderstand	248
10. Wasserkraftmaschinen	250
C) Schwingungen und Wellen; Akustik	254
Einleitung	254
Die Bedeutung der Schwingungsvorgänge in der Natur	254
XII. Die Schwingungsvorgänge	254
1. Arten der Schwingungen	254
2. Zusammensetzung von Schwingungen	255
3. Freie Schwingungen	264
4. Erzwungene Schwingungen	264
5. Koppelschwingungen	267
6. Drillschwingungen	272
7. Fortpflanzung der Energie in einer Reihe miteinander gekoppelter Systeme; Reflexion	273
8. Fortschreitende Wellen	275
9. Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer elastischen Längswelle	278
10. Stehende Wellen	279
11. Kippschwingungen	286
XIII. Ausbreitung der Wellen	288
1. Strahlung	288
2. Oberflächenwellen	289

	Seite
3. Das Huyghenssche Prinzip	291
4. Reflexion und Brechung	295
5. Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit	298
6. Das Dopplersche Prinzip	302
7. Das Fermatsche Prinzip	304
XIV. Akustik: Die Lehre vom Schall	306
1. Die Tonempfindungen	306
2. Intervalle	310
3. Schallstärke, Lautstärke	312
4. Ausbreitung des Schalles	314
5. Überlagerung der Schallwellen	318
6. Klangfarbe	322
7. Die Tonquellen (feste Körper)	326
8. Tönende Luftsäulen	330
9. Wahrnehmung des Schalles; das Ohr	335
10. Infra- und Ultraschall	339
Namenverzeichnis	341
Sachverzeichnis	343

Einleitung

Die Physik als eine Naturwissenschaft soll der Naturerkenntnis dienen, d. h. die verwirrende Fülle der Naturerscheinungen auf einige wenige Grundgesetze zurückzuführen suchen.

Eine jede Naturwissenschaft versucht dadurch zum Verständnis der Naturerscheinungen vorzudringen, diese gewissermaßen zu „erklären“, indem sie Unbekanntes auf Bekanntes, Fremdartiges auf Gewohntes zurückzuführen sucht. Wenn z. B. die Gesetze der Akustik auf die der Mechanik, die Erscheinungen des Magnetismus auf die der Elektrizitätslehre in solcher Weise bezogen werden können, daß Akustik und Magnetismus als Teilgebiete der Mechanik bzw. der Elektrizitätslehre behandelt werden können, so sind damit Akustik und Magnetismus im physikalischen Sinne „erklärt“, aber auch der Naturerkenntnis im ganzen gedient, indem durch solche Einschränkung von Sondergebieten das physikalische Weltbild sich notwendigerweise vereinfacht.

Die Physik bildet die Grundlage aller anderer anorganischer Naturwissenschaften, indem einesteils physikalische Erkenntnisse und Tatsachen von den anderen Naturwissenschaften unmittelbar verwertet werden können bzw. zu ihrem Aufbau geradezu unentbehrlich sind, andererseits die umfassende Weite physikalischer Naturerkenntnis zahllose Berührungspunkte mit den anderen Forschungsgebieten ergibt.

Zudem hat sich die physikalische Forschungsmethode als so zweckmäßig erwiesen, daß auch aus diesem Grunde die Physik richtunggebend gewirkt hat und beispielsweise selbst in der Biologie physikalische Methoden mit Erfolg angewandt werden.

So sehen wir den Einfluß unserer Wissenschaft auf Chemie, Astronomie, Meteorologie, Geologie, Mineralogie und neue Wissenschaften entstehen, wie die physikalische Chemie, die Astrophysik, die Physik der Atmosphäre, die Geophysik und die Kristallphysik.

Aber auch zum eingehenden Verständnis der Lebensvorgänge ist eine physikalische Grundlage unentbehrlich, und so muß sich der Arzt, der Physiologe, der Biologe und der Landwirt mit den Grundsachen physikalischer Forschung vertraut machen.

Damit ist aber die Bedeutung der Physik auch nicht annähernd erschöpfend umrissen; ihr Einfluß auf die Technik, die aus ihr er-

wachsenen technischen Wissenschaften (von denen nur auf Elektrotechnik und Wärmetechnik verwiesen sei), ferner die praktische Anwendung physikalischer Ergebnisse im täglichen Leben, besonders auch in der Heilkunde, reden eine deutliche Sprache.

So groß nun auch der Wert der Physik als reine und angewandte Naturwissenschaft ist, ihre Bedeutung wird durch die Tatsache noch erhöht, daß gerade sie uns ein Weltbild vermittelt, das besonders in letzter Zeit allgemeine Beachtung gefunden hat und sich vor reinen philosophischen Spekulationen dadurch vorteilhaft auszeichnet, daß für alle physikalische Erkenntnis die Erfahrung der einzige Prüfstein bildet.

Man kann die Physik einteilen in

1. Experimentalphysik und
2. theoretische Physik.

Diese Einteilung entspricht zwei verschiedenen Arten der Naturbetrachtung: Die eine, die man die mathematische nennen kann, versucht ihre Ergebnisse mittels mathematischer Schlüsse und auf Grund einiger weniger Axiome, Grundgesetze oder Grundannahmen herzuleiten nach ähnlichen Verfahren, wie sie in der Mathematik, z. B. der Geometrie, üblich sind. Ein solcher Aufbau gewissermaßen von unten her aus wenigen Grundsteinen ist zufriedenstellend besonders in der Mechanik geglückt. Und weil er hier so erfolgreich war, versuchte diese Forschungsrichtung, als deren Vertreter man in Deutschland z. B. Kirchhoff und v. Helmholtz nennen kann, alle physikalische Naturerscheinungen auf mechanische zurückzuführen.

Die zweite Art physikalischer Naturbetrachtung wird durch die Forschungsweise von Männern, wie Faraday, Röntgen oder Lenard, gekennzeichnet; durch die Beobachtung der Naturerscheinungen will man sich die Kenntnis der physikalischen Tatsachen sichern und auf Grund dieser Beobachtungstatsachen sodann ein Bild formen von der unseren Sinnen gewissermaßen verborgenen physikalischen Wirklichkeit, d. h. den inneren Zusammenhängen, den ursächlichen Verknüpfungen, die in der äußeren Erscheinungswelt nicht offen zutage treten; denn man darf nicht etwa annehmen, daß sich die rein beobachtende Naturauffassung damit begnügen könnte, lediglich Beobachtungsergebnisse aneinanderzureihen. Der Naturforscher will ja die Natur verstehen lernen, sie erklären; deshalb bildet man sich Vorstellungen über den Zusammenhang der Erscheinungen, Erklärungsversuche, Hypothesen; Faraday z. B. seine Vorstellung der elektrischen und magnetischen Kraftlinien. Auf Grund solcher Vorstellungen stellt man dann im Verfolg physi-

kalischer Forschung Fragen an die Natur: Aus der reinen Beobachtung erwächst das Experiment, der planvoll angestellte Versuch.

Bewähren sich bei solchen Versuchen derartige Vorstellungen in der Erfahrung, so werden die Hypothesen zum Rang physikalischer Theorien erhoben, wie z. B. die Faradaysche Theorie der Kraftlinien oder die kinetische Gastheorie, die aus dem Bestreben erwuchs, das Verhalten der Gase mechanisch zu erklären; d. h. mittels der Vorstellung, die Gase bestünden aus lauter gleichartigen kleinen Teilchen, den Molekülen, deren Bewegungsgesetze sich aus der allgemeinen Mechanik herleiten. In diesem Fall besteht also die Erklärung des Verhaltens der Gase in der Zurückführung der Gasgesetze auf die Grundgesetze der Mechanik. — Als Beispiel einer besonders erfolgreichen physikalischen Theorie aus neuerer Zeit sei die berühmte Quantentheorie Plancks genannt.

Selbstverständlich kann nun auch die mathematische Physik ihrerseits solche Theorien nutzbringend verarbeiten, wie wiederum das Beispiel der Faradayschen Kraftlinienvorstellungen zeigt, die durch Maxwell eine äußerst glückliche mathematische Formulierung bzw. Deutung gefunden haben.

Die Bedeutung der Theorie reicht aber weiter: Eine gute physikalische Theorie wirkt weg- und richtungweisend und befruchtet ihrerseits die Experimentalphysik. So fanden die mathematischen Ergebnisse der eben genannten Maxwellschen Theorie ihre glänzende Bestätigung in den berühmten Experimentaluntersuchungen von Heinrich Hertz. Aber hier zeigt sich auch die Strenge physikalischer Forschung: Auch die scheinbar am festesten fundierte Theorie wird in dem Augenblick hinfällig, wo sie mit der Erfahrung in Widerspruch kommt. So galt beispielsweise noch vor etwa drei Jahrzehnten die Wellentheorie des Lichtes als eine der gesichersten aller physikalischer Anschauungen; heute sind Erscheinungen bekannt, zu deren Erklärung sie nicht mehr ausreicht.

Die Forschungsergebnisse der letzten fünfzig Jahre haben zudem eindeutig gezeigt, daß die Zurückführung aller physikalischer Erkenntnisse auf mechanische Grundsätze nicht möglich ist, jedenfalls nicht im Rahmen unserer heutigen Kenntnisse.

Infolgedessen ist es seit geraumer Zeit üblich, das Gesamtgebiet einzuteilen in die Physik der Materie und die des Äthers, wobei jene die Mechanik, Akustik und Wärmelehre, diese die Elektrizitätslehre, Optik und Magnetismus umfaßt. Diese Einteilung hat noch den tieferen Sinn, daß man Akustik und Wärmelehre mechanisch verstehen, Optik und Magnetismus als Erscheinungen elektrischer Natur deuten kann; dagegen gelingt es nicht, diese Physik des Äthers auf

rein mechanischer Grundlage aufzubauen oder umgekehrt die mechanischen Erscheinungen elektrisch zu deuten. Es gibt zwar mancherlei Beziehungen und Brücken zwischen beiden großen Teilgebieten, von denen am wichtigsten das allumfassende Prinzip der Erhaltung der Energie ist; aber die endgültige Verschmelzung der beiden großen Gebiete ist noch nicht gelungen, und daher muß die Einordnung aller physikalischer Naturerscheinungen unter einem allumfassenden Gesichtspunkt der Zukunft vorbehalten bleiben.

Zum Verständnis der Ausbreitung des Lichtes im leeren Raum und der Fernwirkung von elektrischen, magnetischen und Gravitationskräften stellte man sich den leeren Raum als angefüllt mit einer schwerelosen, unmateriellen Substanz vor, dem hypothetischen Äther, als Träger bzw. Vermittler dieser Wirkungen. Es ist jedoch nicht gelungen, diesem Äther solche Eigenschaften beizulegen (die naturgemäß und naturnotwendig unserem bisherigen Anschauungskreis entnommen oder nachgebildet waren), daß er dadurch unserem Verständnis wirklich nähergebracht, er widerspruchlos „erklärt“ werden konnte; deshalb gibt man heute die Ätherhypothese entweder vollkommen auf oder muß die Eigenschaften des Äthers mehr oder weniger offen lassen bzw. ihre Erforschung mit völlig neuartigen Hilfsmitteln versuchen.

Sondergebiete der Physik, die wir hier nur gelegentlich streifen können, sind die technische oder angewandte und die praktische Physik; jene dient, wie schon der Name sagt, den Zwecken technischer Forschung und den Anwendungen physikalischer Erkenntnisse in der Technik, diese lehrt den Umgang mit physikalischen Methoden und den Gebrauch physikalischer Geräte und Apparaturen kennen.

Die Physik ist eine Erfahrungswissenschaft, d. h. ihre Erkenntnisse werden gesammelt und geprüft durch Beobachtungen. Diese Beobachtungstatsachen bilden die eigentliche und wesentliche Grundlage unserer Wissenschaft; daher werden wir uns in dieser „Einführung“ fast ausschließlich mit den durch Beobachtung gewonnenen und an der Beobachtung prüfbareren Ergebnissen, dem eigentlichen Inhalt der „Experimentalphysik“ beschäftigen und nur gelegentlich die Theorie zu Hilfe nehmen.

A) Allgemeine Mechanik

Einleitung

Die Einheiten der Länge und der Zeit

1. Längenmessungen

Bloße Beobachtung an sich wird im allgemeinen noch nicht zur Auffindung von Naturgesetzmäßigkeiten führen, wenn nicht die beobachteten Größen messend verfolgt werden. Messen im physikalischen Sinne heißt eine Größe mit einer Einheit vergleichen. Es erscheint in hohem Maße zweckmäßig, die Vielzahl physikalischer Größen auf einige wenige Grundeinheiten zurückzuführen: die Wahl dieser und die Festlegung der jeweiligen Einheiten ist an sich willkürlich und wird vornehmlich durch praktische und geschichtliche Erwägungen bestimmt. Nach dem Vorbild von Gauß und Weber wählt man gewöhnlich als mechanische Grundgrößen die der Länge, der Zeit und der Masse.

Die Wahl einer im wissenschaftlichen und täglichen Leben häufig gebrauchten Einheit wird durch praktische Erwägungen beeinflusst werden; physikalisch wichtiger ist noch die Forderung ihrer Unveränderlichkeit und der Wunsch, sie jederzeit und überall sicher reproduzieren zu können. Gerade diese Forderungen sind bei den mechanischen Grundeinheiten schwerer zu erfüllen als z. B. bei elektrischen Grundgrößen.

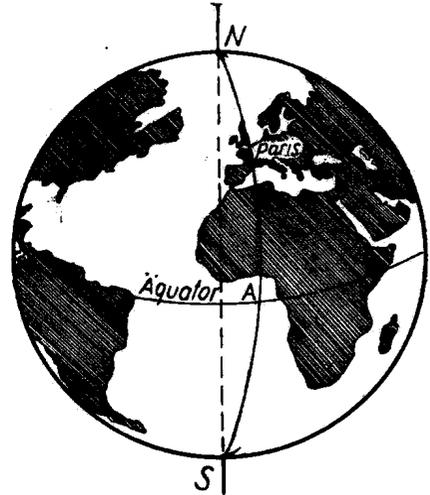


Abb. 1. Zur Festlegung der Längeneinheit. Das Meter war ursprünglich festgelegt als der 10 000 000. Teil des vom Pol bis zum Äquator reichenden, durch die Pariser Sternwarte laufenden Erdmeridianquadranten
N — A.

Gerade diese Forderungen sind bei den mechanischen Grundeinheiten schwerer zu erfüllen als z. B. bei elektrischen Grundgrößen.

Die Längeneinheit

Als Einheit der Länge dient in der Physik das Meter. Um diese grundlegende Größe gleichsam mit der Natur zu verketten und ihre Unveränderlichkeit zu gewährleisten, war das Meter ursprünglich festgelegt als der 10 000 000. Teil des durch Paris laufenden Erd-

meridianquadranten (Abb. 1), so daß also der Erdumfang, von Pol über Pol gemessen, gleich 40 Mill. m wäre. Spätere genauere Messungen haben aber geringe Abweichungen ergeben; um nun nicht nach jeder verbesserten Messung des Erdumfanges die Längeneinheit ändern zu müssen, ist man übereingekommen, den Wert des ursprünglichen Meters, des *Urmeters*, beizubehalten und hat als Einheit der Länge festgelegt den Abstand zweier Marken auf einem in Paris aufbewahrten, nach der ersten grundlegenden Vermessung des Meridians hergestellten Normalmaßstab aus Platin-Iridium (90 : 10) bei 0° C (Abb. 2).

Dieser Maßstab ist als Doppelrinne ausgebildet, um Durchbiegungen auszugleichen, und trägt in der neutralen Faser (siehe S. 167) die eingeritzten Marken.

Als physikalische Grundlängeneinheit wählt man aus praktischen Gründen häufig den hundertsten Teil des Meters, das Zentimeter, und gebraucht daneben natürlich die aus dem täglichen Leben bekannten Vielfachen und Unterteilungen des Meters, denen das Dezimalsystem zugrunde liegt, z. B. das Kilometer (km) = 1000 m; das Dezimeter (dm) = 0,1 m;

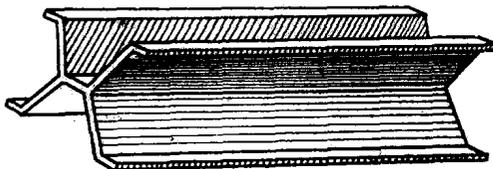


Abb. 2. Normalmaßstab für das Urmeter.

das Millimeter (mm) = 0,1 cm = 0,001 m usw. — Außerdem sind in der Physik gebräuchlich die Maßeinheiten

$$\frac{1}{1000} \text{ mm} = 1 \text{ Mikron} = 1 \mu = 10^{-6} \text{ m};$$

$$\frac{1}{1\,000\,000} \text{ mm} = 1 \text{ Millimikron} = 1 \text{ m}\mu = 10^{-9} \text{ m};$$

$$1 \text{ \AA} = 1 \text{ Angström} = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m}.$$

Abgeleitete Maße

Je weniger voneinander unabhängige Grundmaße eingeführt werden, um so höheren Wert erlangen diese und um so kleiner werden unter sonst gleichen Bedingungen die Meßfehler werden. Hinsichtlich der Flächen- und Raummaße braucht man natürlich nicht neue Grundeinheiten zu bilden, sondern leitet diese aus der Längeneinheit in bekannter Weise ab:

$$1 \text{ qm} = 1 \text{ m}^2 = 1 \text{ Quadratmeter};$$

$$1 \text{ qcm} = 1 \text{ cm}^2 = 1 \text{ Quadratcentimeter};$$

$$1 \text{ cbm} = 1 \text{ m}^3 = 1 \text{ Raum- (Kubik-) Meter};$$

$$1 \text{ ccm} = 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ Kubikcentimeter}.$$

Technische Maßstäbe werden aus Zweckmäßigkeitsgründen gewöhnlich für eine Temperatur von 20° C geeicht.

Über die Zurückführung bzw. Angleichung des Urmeters an eine unveränderliche Naturkonstante vgl. Bd. III (Optik).

Geräte zur Längenmessung

Am einfachsten gestaltet sich eine Längenmessung, wenn man den Maßstab unmittelbar an den zu messenden Gegenstand anlegen kann. Bei einem Körper der Gestalt *K* in nebenstehender Abb. 3 kann man die Endpunkte des Körpers nicht mit dem Maßstab in Berührung bringen; in solchen Fällen sind leicht Ablesefehler möglich, wenn nämlich die Linie Auge—Endpunkt nicht genau auf dem Maßstab senkrecht steht: Um diesen Parallaxenfehler zu vermeiden, legt man den Gegenstand auf einen Spiegelmaßstab.

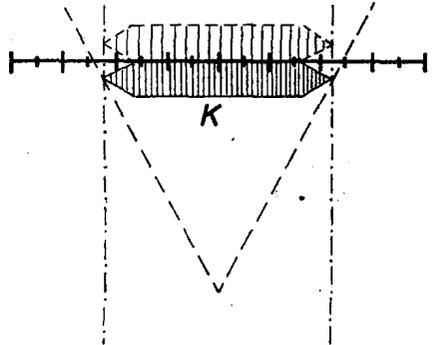


Abb. 3. Zwecks Vermeidung des Parallaxenfehlers legt man den Gegenstand auf einen Spiegelmaßstab und achtet darauf, daß Auge, Körperendpunkt und dessen Spiegelbild in einer geraden Linie liegen.

Der Nonius (Abb. 4)

Um Bruchteile des Millimeters sicher ablesen zu können, bedient man sich des Nonius, eines kleinen Maßstabes *B*, der sich längs des Hauptmaßstabes *A* verschieben läßt. Auf *B* ist die Strecke *s* gleich 9 Teilen des größeren Maßstabes und in 10 gleiche Teile geteilt, jeder Teil des Hilfsmaßstabes ist also gleich neun Zehntel des Hauptmaßstabes; in der Abb. 4 sind die Teilstriche des Grundmaßstabes um je 1 cm voneinander entfernt, mithin beträgt

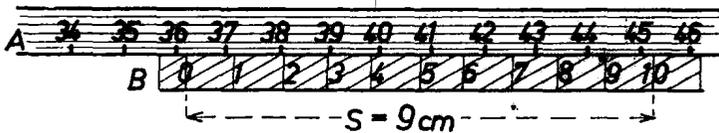


Abb. 4. Noniusablesung.

der Abstand zweier Teilstriche des Nebenmaßstabes $0,9 \text{ cm} = 9 \text{ mm}$. Meist wird der Nonius in Verbindung mit einer Millimeter-Grundteilung verwendet. — Um eine bis zum Nullstrich des Nonius reichende Länge zu messen, beobachtet man den Teilstrich des Nonius, der am genauesten mit einem Strich der Hauptteilung zusammentrifft; im Beispiel der Abb. 4 Teilstrich 3. Dann ist der vor-

hergehende Teilstrich 2 des Nonius um $\frac{1}{10}$ cm, Teilstrich 1 um $\frac{2}{10}$ cm und der Nullstrich um $\frac{3}{10}$ cm gegen den benachbarten Teilstrich des Maßstabes A verschoben. Demnach beträgt in der Abb. 4 die Ablesung 36,3 cm.

Die Schublehre (Abb. 5)

Eine Noniusteilung finden wir z. B. bei der vielgebrauchten Schublehre, bei der ein Schieber S auf einem Maßstab M entlanggleitet. Der

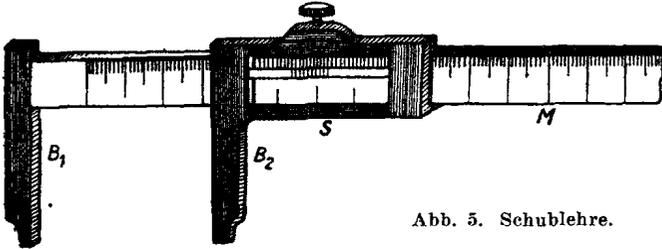


Abb. 5. Schublehre.

zu messende Gegenstand wird zwischen die Backen B_1 und B_2 eingespannt.

Der Dickenmesser oder die Mikrometerschraube

Dreht man eine Schraube einmal herum, so bewegt sie sich um eine Strecke vorwärts oder rückwärts, ihre Ganghöhe. Wird beim Dickenmesser (Abb. 6) die Schraube S an das Widerlager W ange dreht, so

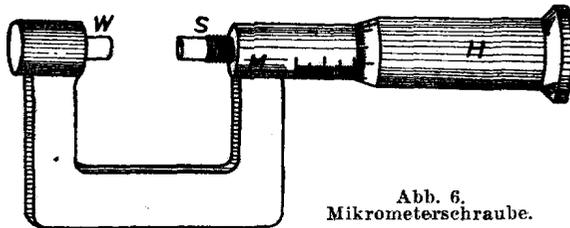


Abb. 6.
Mikrometerschraube.

soll der Rand der mit der Schraube verbundenen Hülse H an dem Teilstrich 0 der Schraubenmutter M stehen und der Teilstrich 0 der Hülse mit einer auf der Schraubenmutter angebrachten Längsmarke zusammenfallen (andernfalls muß die Abweichung berücksichtigt werden). Da der Umfang der Hülse meist in 100 gleiche Teile geteilt ist und die Ganghöhe der Schraube 1 mm beträgt, so kann man bis auf hundertstel Millimeter genau ablesen.

Auch beim Sphärometer (Abb. 7) bildet eine Schraube den wesentlichen Teil zur Längenmessung. Die Höhe eines Schraubenganges betrage 0,5 mm, der mit dem Kopf fest verbundene Teilkreis sei in 100 Teile geteilt, dann läßt sich bei Schätzung der Fünftel eine Genauigkeit bis auf 0,001 mm erreichen.

Die drei Füße des Sphärometers bilden die Ecken eines gleichseitigen Dreiecks; das Gerät dient vornehmlich zur Dickenmessung, aber auch zur Bestimmung der Krümmungshalbmesser von Linsen, Hohlspiegeln u. dgl. (vgl. S. 108, Schraube).

2. Zeitmessungen

Die Zeiteinheit

Gewisse physikalische Messungen sind abhängig von der zwischen Anfang und Ende der Messung verfloßenen Zeit (z. B. Bewegungen), andere nicht, z. B. Längenmessungen. Die Grundlage unserer Zeitmessung bildet die Bewegung der Erde; die Grundgröße ist der Sterntag, das ist die Zeit einer Umdrehung der Erde um ihre Achse im Raum, die gemessen wird durch Beobachtung der Meridiandurchgänge eines und desselben Fixsternes, d. h. durch Beobachtung zweier aufeinanderfolgender Kulminationen eines Fixsternes (Abb. 8).

Während eines einmaligen Umlaufes der Erde um die Sonne, d. h. also während eines Jahres, erkennen wir aus der Beobachtung der Fixsterne, daß sich die Erde etwa $366\frac{1}{4}$ mal um ihre Achse dreht. Während dieser

Zeit eines Jahres, d. h. eines einmaligen Umlaufes der Erde um die Sonne, dreht sie sich aber außerdem einmal um die Sonne; sie verliert also in bezug auf die Sonne eine Umdrehung, verglichen mit den Fixsternen, oder sie dreht sich scheinbar nur $365\frac{1}{4}$ mal. Anders

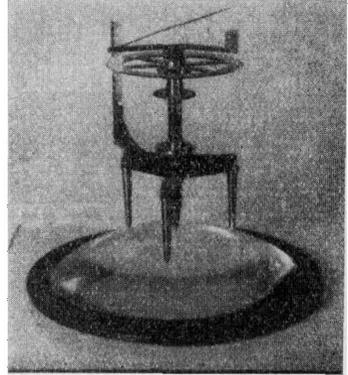


Abb. 7. Sphärometer. Berührt die Spitze der Meßschraube den zu messenden Gegenstand, so schlägt der obere Fühlhebel aus.

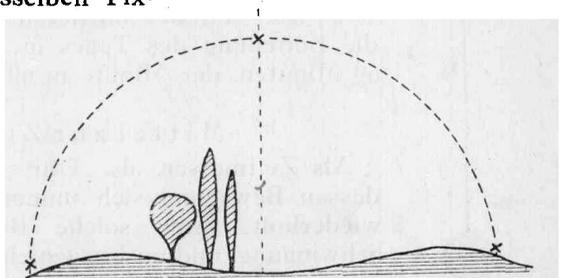


Abb. 8. Kulmination eines Sternes. Infolge der Drehung der Erde um ihre Achse beschreiben alle Sterne scheinbar Kreisbögen am Himmel. Der Scheitel- oder Kulminationspunkt dieser Kreise wird erreicht, wenn der Stern durch die Meridianebene des Beobachtungsortes hindurchgeht.