

7962184

Studienmaterial für die Erwachsenenbildung

Einführung in die
PHYSIK



04
E3
E11

7962184

Studienmaterial für die Erwachsenenbildung

Einführung in die

PHYSIK

Mechanik — Kalorik — Elektrik — Optik

11. Auflage

Mit 137 Bildern, 73 Lehrbeispielen, 130 Übungen mit Lösungen
und einer Beilage



E7962184

f

VEB FACHBUCHVERLAG LEIPZIG

Verfaßt von
Fachschuldozent Dipl.-Phys. Dietmar Mende, Ingenieurschule für
Walzwerk- und Hüttentechnik, Riesa
unter Verwendung von Teilen der 2. Ausgabe (Autoren Erich Dittrich,
Helmut Lindner, Hellmut Spretke)

© VEB Fachbuchverlag Leipzig 1976

11. Auflage

Lizenznummer 114-210/18/76

LSV 1102

Verlagslektor: Dipl.-Phys. Klaus Vogelsang

Printed in GDR

Satz: Druckhaus Aufwärts, Leipzig

Fotomechanischer Nachdruck: Nationales Druckhaus Berlin

Redaktionsschluß: 15. 11. 1975

Bestellnummer: 545 008 0

EVP 3,- Mark

Vorwort

Die Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft in der Deutschen Demokratischen Republik erfordert, daß sich alle Werktätigen ständig weiterbilden. Möglichkeiten dazu bieten die Kombinars- und Betriebsakademien und die große Zahl der Fach- und Hochschulen unserer Republik. Die Fachschulen setzen heute das Niveau der 10. Klasse der Polytechnischen Oberschule und eine abgeschlossene Berufsausbildung voraus. Fachschulbewerber ohne Abschluß der 10. Klasse haben die Möglichkeit, sich an den Volkshochschulen auf das Studium vorzubereiten. Doch auch Abgängern der 10. Klasse ist vor dem Besuch der Fachschule eine Auffrischung ihrer Kenntnisse zu empfehlen. Dazu wurde das vorliegende Lehrmaterial geschaffen. Es kann wegen des beschränkten Umfanges nicht den gesamten Stoff bis zur 10. Klasse bieten. Es enthält aber die wichtigsten Stoffschwerpunkte und ist in seiner methodischen Gestaltung besonders auf das Selbststudium eingerichtet.

Dieses Studienmaterial hat sich seit mehreren Jahren in den verschiedensten Formen der Erwachsenenqualifizierung bewährt und hat vor allem die Betriebsakademien in ihrer Arbeit unterstützt.

Wir hoffen, daß wir damit auch Ihnen helfen können, sich den Weg zu einer höheren Qualifikation zu ebnen, und wünschen Ihnen beim Studium viel Erfolg.

Institut für Fachschulwesen der
Deutschen Demokratischen Republik

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	9
1.1.	Weshalb Physik?	9
1.2.	Was gehört zur Physik?	9
	<i>Mechanik</i>	
2.	Physikalische Grundbegriffe	11
2.1.	Methoden der Physik	11
2.2.	Physikalische Größen und Einheiten	11
2.3.	Grundgrößen der Mechanik und ihre Einheiten	13
2.3.1.	Länge	13
2.3.2.	Zeit	17
2.3.3.	Masse	18
2.4.	Einige abgeleitete Größen	19
2.4.1.	Fläche	19
2.4.2.	Volumen	19
2.4.3.	Dichte	21
2.5.	Größengleichungen	22
2.6.	Lösen physikalischer Aufgaben	23
	Zusammenfassung	25
	Übungen 1 bis 18	25
3.	Kinematik	27
3.1.	Gleichförmige, geradlinige Bewegung	27
3.1.1.	Geschwindigkeit	28
3.1.2.	Diagramme der gleichförmigen Bewegung	31
3.1.2.1.	Weg-Zeit-Diagramm	31
3.1.2.2.	Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm	33
	Zusammenfassung	34
	Übungen 19 bis 28	34
3.2.	Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung	35
3.2.1.	Beschleunigung	35
3.2.2.	Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm der beschleunigten Bewegung	37
3.2.3.	Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung	40
3.2.4.	Freier Fall	43
	Zusammenfassung	46
	Übungen 29 bis 42	46

3.3.	Zusammensetzung einfacher Bewegungen	47
3.3.1.	Zusammensetzung paralleler Bewegungen	47
3.3.2.	Zusammensetzung von quer zueinander laufenden Bewegungen	48
	Zusammenfassung	51
	Übungen 43 bis 47	52
3.4.	Gleichförmige Drehbewegung (Rotation)	52
3.4.1.	Drehfrequenz und Umlaufzeit	52
3.4.2.	Bahngeschwindigkeit	54
3.4.3.	Winkel	57
3.4.4.	Winkelgeschwindigkeit	58
	Zusammenfassung	60
	Übungen 48 bis 55	60
4.	Dynamik	62
4.1.	Masse und Kraft	62
4.1.1.	Trägheitsgesetz	62
4.1.2.	Grundgesetz der Dynamik	63
4.1.3.	Gewicht	64
4.1.4.	Grundlagen des Internationalen Einheitensystems	65
4.1.5.	Physikalische Bedeutung der Masse	68
	Zusammenfassung	70
	Übungen 56 bis 60	70
4.2.	Kraftwirkungen an ruhenden Körpern	70
4.2.1.	Wirkung einer Kraft	70
4.2.2.	Kennzeichen einer Kraft	71
4.2.3.	Zusammensetzung von Kräften	72
4.2.3.1.	Resultierende von Kräften in einer Wirkungslinie	72
4.2.3.2.	Resultierende von Kräften mit verschiedenen Wirkungslinien	73
4.2.3.3.	Resultierende von parallelen Kräften	76
4.2.4.	Zerlegung von Kräften nach dem Parallelogrammsatz	77
	Zusammenfassung	81
	Übungen 61 bis 68	82
4.3.	Hebel und Drehmoment	83
4.3.1.	Zweiseitiger Hebel	83
4.3.2.	Einseitiger Hebel	85
4.3.3.	Drehmoment	86
4.3.4.	Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	89
4.3.5.	Arten des Gleichgewichts	90
	Zusammenfassung	94
	Übungen 69 bis 77	95
4.4.	Druck und Reibung	97
4.4.1.	Druck	97
4.4.2.	Druckeinheiten	99

4.4.3.	Haftreibung	100
4.4.4.	Gleit- und Rollreibung	103
	Zusammenfassung	105
	Übungen 78 bis 84	105
4.5.	Arbeit, Energie, Leistung	106
4.5.1.	Mechanische Arbeit	106
4.5.2.	Arbeitseinheiten	107
4.5.3.	Potentielle Energie	107
4.5.4.	Kinetische Energie	108
4.5.5.	Energiesatz der Mechanik	110
4.5.6.	Geneigte Ebene	111
4.5.7.	Rollen und Flaschenzüge	113
4.5.8.	Leistung	114
4.5.9.	Leistungseinheiten	115
4.5.10.	Wirkungsgrad	116
	Zusammenfassung	118
	Übungen 85 bis 97	118

Kalorik

5.	Temperatur	120
5.1.	Was versteht man unter Temperatur?	120
5.2.	Temperaturmessung	120
5.3.	Verhalten der Körper bei Temperaturänderung	122
5.3.1.	Ausdehnung fester Körper	122
5.3.1.1.	Längenänderung fester Körper	122
5.3.1.2.	Volumenänderung fester Körper	124
5.3.2.	Ausdehnung von Flüssigkeiten	126
5.3.3.	Verhalten der Gase bei Temperaturänderung	127
5.3.3.1.	Druck und Volumen eines Gases	128
5.3.3.2.	Ausdehnung der Gase bei konstantem Druck	129
5.3.3.3.	Drucksteigerung bei konstantem Volumen	131
5.3.3.4.	Zustandsgleichung	131
	Zusammenfassung	133
	Übungen 98 bis 105	133
6.	Wärmemenge (Wärmeenergie)	134
6.1.	Was versteht man unter Wärmemenge?	134
6.2.	Einheit der Wärmemenge	134
6.3.	Spezifische Wärmekapazität	134
	Zusammenfassung	136
	Übungen 106 bis 108	136

Elektrik

7.	Gleichstrom	137
7.1.	Stromleitung in metallischen Leitern	137

7.1.1.	Elektron und elektrische Elementarladung	137
7.1.2.	Elektrischer Strom	138
	Zusammenfassung	139
7.2.	Gleichstromkreis	139
7.2.1.	Spannung	139
7.2.2.	Stromstärke	140
7.2.3.	Widerstand	142
	Zusammenfassung	149
	Übungen 109 bis 115	149
7.3.	Arbeit und Leistung im Gleichstromkreis	149
7.3.1.	Elektrische Leistung	149
7.3.2.	Elektrische Arbeit (Energie)	151
7.3.3.	Energieumwandlungen — Energiesatz	153
	Zusammenfassung	155
	Übungen 116 bis 124	155
	<i>Optik</i>	
8.	Geometrische Optik	156
8.1.	Ausbreitung des Lichts	156
8.2.	Reflexion	156
8.2.1.	Reflexionsgesetz	156
8.2.2.	Ebener Spiegel	157
8.2.3.	Sphärische Spiegel	158
8.2.3.1.	Hohlspiegel (Konkavspiegel)	158
8.2.3.2.	Wölbspiegel (Konvexspiegel)	161
8.3.	Brechung	163
8.3.1.	Brechungsgesetz	163
8.3.2.	Totalreflexion	164
8.3.3.	Prisma	164
8.3.4.	Linse	165
8.3.4.1.	Sammellinse	166
8.3.4.2.	Zerstreuungslinse	168
	Zusammenfassung	168
	Übungen 125 bis 130	169
	Antworten und Lösungen	170
	Verzeichnis der Tafeln	188
	Sachwortverzeichnis	189
	Bedeutung der Symbole	Beilage
	Zusammenstellung der Einheiten	Beilage
	Zusammenstellung der Gleichungen	Beilage

1. Einführung

1.1. Weshalb Physik?

Im Laufe der Zeit hat es der Mensch gelernt, die Naturkräfte immer besser zu nutzen und die Gesetzmäßigkeiten ihres Wirkens kennenzulernen. Mehr als je ist heute eine gründliche Kenntnis der Naturgesetze eine notwendige Voraussetzung für jede schöpferische Arbeit in Technik und Landwirtschaft. Die Wissenschaft, deren Aufgabe darin besteht, uns die nötigen Einsichten in die Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten der Natur zu vermitteln, ist die *Physik* [von *physis* (griech.) Natur].

Daher müssen auch Sie sich ein gediegenes physikalisches Wissen aneignen. Damit bauen Sie sich das Fundament für jede spezielle technische Aufgabe, die Sie später einmal lösen wollen. Es gibt hier nichts Überflüssiges, denn immer wieder kommt es vor, daß Dinge von bisher nur theoretischer Bedeutung plötzlich auch praktischen Wert bekommen. Denken Sie nur daran, wieviel physikalische Erkenntnis gesammelt werden mußte, bis unsere heutigen Fotoapparate geschaffen werden konnten.

1.2. Was gehört zur Physik?

Der Umfang des Arbeitsgebietes „Physik“ ist recht groß. Früher bedeutete Physik soviel wie Naturlehre schlechthin. Später haben sich dann die Wissenschaften von den belebten Dingen (von den Pflanzen, Tieren und vom Menschen) selbständig weiterentwickelt; auch die Chemie gehört nicht mehr zur Physik.

Die Physik beschäftigt sich mit den Vorgängen in der unbelebten Natur, soweit sie nicht auf stofflichen Veränderungen der beteiligten Körper beruhen.

Da Sie sich im Rahmen Ihrer Vorbereitung auf das Fachschulstudium auch mit Chemie zu beschäftigen haben, soll zunächst untersucht werden, wodurch sich physikalische Vorgänge von chemischen unterscheiden.

Nehmen Sie z. B. ein Streichholz: Sie können es zerbrechen oder in kleine Späne zerschneiden. Es ändert dabei nur seine Form; die Substanz des Holzes bleibt nach wie vor dieselbe. Die Veränderung betrifft nur den *physikalischen* Zustand. Zur Entzündung gebracht, verbrennt das Streichholz, und eine tiefgreifende stoffliche Veränderung findet statt. Teils bildet sich Asche, teils ein erstickend wirkendes Gas und ein kleiner Rest verkohlten Holzes.

Wenn sich — wie in diesem Falle — das ursprüngliche Material stofflich verändert hat, handelt es sich um einen *chemischen* Vorgang.

Betrachten Sie als zweites Beispiel das Wasser: Es kann zu Eis gefrieren oder auch verdampfen. Gewiß bestehen zwischen diesen drei Zustandsformen (fest, flüssig, gasförmig) äußerlich große Unterschiede; Sie wissen aber, daß es sich nur um verschiedene Zustände ein und desselben Stoffes handelt. Das Eis kann bei

Erwärmung schmelzen und der Dampf sich bei der Abkühlung wieder zu Wasser verdichten. Letzten Endes bleibt es immer derselbe Stoff, der seinen Zustand nur vorübergehend verändert hatte. Das sind also *physikalische* Vorgänge.

Achten Sie deshalb stets darauf, ob sich der *Stoff* nach Beendigung eines Vorganges chemisch verändert hat oder nicht. Dann werden Sie selbst entscheiden können, was zu dem Bereich der Chemie oder zu dem der Physik gehört.

Die Physik umfaßt folgende Teilgebiete:

- die Lehre von der Bewegung und dem Gleichgewicht (Mechanik),
- die Wärmelehre (Kalorik),
- die Lehre vom Schall (Akustik),
- die Lehre von der Elektrizität und vom Magnetismus (Elektrik),
- die Lehre vom Licht (Optik),
- die Atomphysik (Atomistik).

Über all diese Gebiete werden Sie sich im Laufe Ihres künftigen Studiums einen Überblick verschaffen.

Das vorliegende Studienmaterial beschränkt sich auf die Behandlung der allgemeinen physikalischen Grundbegriffe und einiger Teile der Mechanik, der Kalorik, der Elektrik und der Optik. Dieses Grundwissen müssen Sie bei Beginn Ihres Fachschulstudiums besitzen.

MECHANIK

2. Physikalische Grundbegriffe

2.1. Methoden der Physik

Frei von allen persönlichen Gefühlen und Vorurteilen, d. h. objektiv, muß der Physiker die Naturerscheinungen beobachten und sie dann ebenso sachlich und auf einfachste Weise beschreiben. Zur Beschreibung der Natur müssen exakt definierte Begriffe eingeführt werden. In der Physik müssen diese Begriffe die Beobachtbarkeit bzw. Meßbarkeit einschließen. Man nennt sie **physikalische Größen**.

Wie Sie bald erkennen werden, spielt in der Physik die **Mathematik** eine außerordentlich große Rolle. Ein physikalisches Problem kann erst dann als gelöst angesehen werden, wenn der mathematische Zusammenhang zwischen den beteiligten Größen aufgefunden ist. Für den Physiker gibt es im wesentlichen drei Wege, um zu physikalischen Erkenntnissen zu gelangen:

- die Beobachtung,
- das Experiment (den Versuch),
- die Rechnung.

Die Beobachtung hat vor allem früher eine große Rolle gespielt. Manche Gesetzmäßigkeiten wurden rein zufällig beobachtet. Beim heutigen Entwicklungsstand der Physik werden keine neuen Erkenntnisse nur durch Beobachtungen gewonnen werden können. Der Physiker muß vielmehr umfangreiche Versuche anstellen. Diese Versuche werden mathematisch ausgewertet. Diese Methode wendet man in der **Experimentalphysik** an.

Die **Theoretische Physik** bevorzugt Methoden der Höheren Mathematik, um zu neuen Erkenntnissen zu gelangen. Jedoch müssen auch hier Theorie und Praxis eine Einheit bilden. Der Experimentalphysiker kommt ohne theoretische Überlegungen nicht aus, während Ergebnisse, zu denen der theoretische Physiker gelangt ist, durch Versuche geprüft werden müssen.

2.2. Physikalische Größen und Einheiten

Wir hatten oben festgestellt, daß physikalische Größen beobachtbar bzw. meßbar sein müssen. Wir haben uns daher am Anfang mit den elementaren Grundlagen der Meßkunde vertraut zu machen.

Eine physikalische Größe wird gemessen, indem man sie mit einer Einheit vergleicht.

Für jede physikalische Größe müssen Einheiten festgelegt werden. Das geschieht durch internationale Übereinkünfte; denn die Geschichte zeigt, daß es unzweckmäßig ist, wenn in jedem Land andere Einheiten gültig sind. Wir verwenden heute das in der Deutschen Demokratischen Republik durch Verordnung vom 31. 5. 1967 festgelegte Internationale Einheitensystem. Nur dieses System darf in Physik und Technik verwendet werden.

Wenn Sie eine **physikalische Größe** messen, so geben Sie das Ergebnis der Messung als Vielfaches oder Bruchteil der Einheit an. Bestimmen Sie die Länge eines Körpers mit 15 cm, so schreiben Sie $l = 15 \text{ cm}$. Dabei ist l das **Symbol** für die physikalische Größe, im vorliegenden Fall eine Länge, 15 die **Maßzahl** und cm die **Einheit**. Allgemein schreibt man dafür

$$l = \{l\} \cdot [l]$$

Hierin bedeuten:

- l die physikalische Größe,
- $\{l\}$ die Maßzahl der physikalischen Größe,
- $[l]$ die Einheit der physikalischen Größe.

Im Beispiel $l = 15 \text{ cm}$ ergibt sich also: $\{l\} = 15$; $[l] = \text{cm}$.

Merken Sie sich:

Eine physikalische Größe wird als Produkt aus einer Maßzahl und einer Einheit dargestellt.

Im obigen Beispiel hätte man die Länge auch in einer anderen Längeneinheit – z. B. in mm – messen können. Man hätte dann die Länge des Körpers mit 150 mm angeben müssen. Die Wahl der Einheit beim Messen einer Größe ist demnach willkürlich. Allgemein wählt man eine solche Einheit, die zum Messen der jeweiligen Größe am günstigsten ist, d. h. nicht zu kleine, aber auch nicht zu große Maßzahlen ergibt.

Wichtig ist, daß Ihnen die verschiedenen dezimalen Einheiten, mit denen Sie eine Größe messen können, auch geläufig sind.

Zur leichteren Unterscheidung hat man die dezimalen Vielfachen und Teile mit folgenden feststehenden Vorsätzen und Kurzzeichen gekennzeichnet.

Tafel 1: Vorsätze zur Bildung der dezimalen Vielfachen und Teile

Kurzzeichen	Vorsatz	Bedeutung	
T	Tera	$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	Einheiten
G	Giga	$10^9 = 1\,000\,000\,000$	Einheiten
M	Mega	$10^6 = 1\,000\,000$	Einheiten
k	Kilo	$10^3 = 1\,000$	Einheiten
h	Hekto	$10^2 = 100$	Einheiten
da	Deka	$10^1 = 10$	Einheiten
d	Dezi	$10^{-1} = 0,1$	Einheiten
c	Zenti	$10^{-2} = 0,01$	Einheiten
m	Milli	$10^{-3} = 0,001$	Einheiten
μ	Mikro	$10^{-6} = 0,000\,001$	Einheiten
n	Nano	$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	Einheiten
p	Pico	$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$	Einheiten
f	Femto	$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$	Einheiten
a	Atto	$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	Einheiten

¹⁾ Diese Vorsätze sollen nur noch zur Bezeichnung von solchen Vielfachen und Teilen von Einheiten verwendet werden, die bereits üblich sind, z. B. hl, cm, dm.

In Tafel 1 ist auch vermerkt, wie man die Teile und Vielfachen als Zehnerpotenzen schreibt. In der Fachliteratur finden Sie fast ausnahmslos diese verkürzte Schreibweise vor.

2.3. Grundgrößen der Mechanik und ihre Einheiten

In der Mechanik arbeitet man mit den drei Grundgrößen **Länge, Zeit und Masse**. Insgesamt gibt es sieben Grundgrößen. Später werden Sie die vier weiteren Grundgrößen (**elektrische Stromstärke, Temperatur, Stoffmenge und Lichtstärke**) kennenlernen. Alle anderen Größen (z. B. Kraft, Geschwindigkeit) werden von den Grundgrößen abgeleitet.

2.3.1. Länge

Die Grundeinheit der Länge ist das Meter (m).

An den Namen einiger Maße, wie Fuß und Elle, die heute allerdings veraltet sind, ist zu erkennen, daß die Längenmaße ursprünglich von unserem Körper abgenommen worden sind.

Die erste Vereinheitlichung des Meßwesens haben wir der Französischen Revolution zu verdanken. Im Bestreben, den Fortschritt der wissenschaftlichen Entwicklung und der Technik zu fördern, legte 1795 die Französische Nationalversammlung das Meter als die Grundeinheit der Länge fest. Sie beschloß, ein natürliches Maß einzuführen, das jederzeit wieder genau nachgebildet werden könnte.

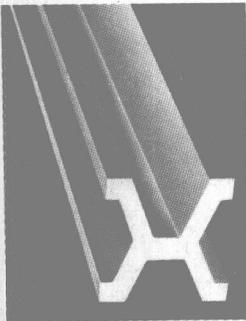


Bild 1
Querschnittsansicht
des Meterprototyps ¹⁾

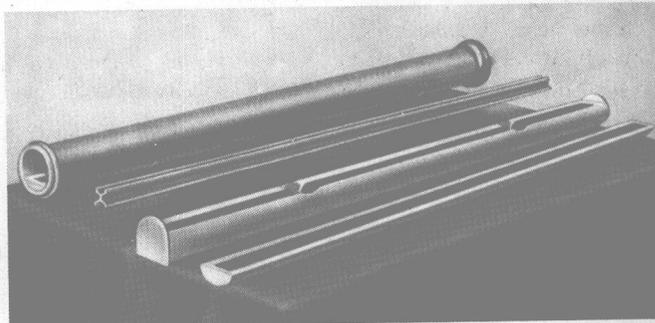


Bild 2
Die Kopie des Meterprototyps beim Deutschen Amt
für Meßwesen und Warenprüfung

So wurde als Meter der zehnmillionste Teil des Erdmeridianabschnittes zwischen Nordpol und Äquator festgelegt und diese Länge auf einem Stab aus einer Platin-Iridium-Legierung durch zwei Striche markiert. Dieses „Urmeter“ gilt heute noch für alle Länder, die sich dem Metersystem angeschlossen haben, als Längeneinheit. Es wird in Paris aufbewahrt (Bild 1).

Eine Kopie davon besitzt das Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung (ASMW) der Deutschen Demokratischen Republik (Bild 2).

¹⁾ Prototyp (griech.) Urbild, Erstanfertigung

Wie spätere Messungen ergaben, beträgt die Länge des Erdmeridianquadranten, wenn man die Entfernung der Striche auf dem Urmeterstab als die Einheit Meter benützt, in Wirklichkeit 10 000 856 m statt 10 000 000 m. Gegenüber der ursprünglichen Festlegung ist also das heute benutzte Meter zu kurz geraten (Übung 5).

Heute gilt die folgende Definition, die in der Atomphysik festgelegt wird, auf die wir aber an dieser Stelle nicht eingehen können:

Das Meter ist gleich 1 650 763,73 Vakuum-Wellenlängen der Strahlung, die dem Übergang zwischen den Niveaus $2 p_{10}$ und $5 d_5$ des Atoms Krypton 86 entspricht.

Vielfache und Teile des Meters werden mit den in Tafel 1 zusammengestellten Vorsätzen bezeichnet.

In der Seefahrt wird noch benutzt:

$$1 \text{ sm} = 1 \text{ Seemeile} = 1852 \text{ m}$$

Für Längenmessungen, bei denen mit freiem Auge abgelesen werden soll, verwendet man Bandmaße, Stahlmaßstäbe und Gliedermaßstäbe (Schmiegen).

Diese sind mit sogenannten Strichmaßen versehen, d. h., die Größe einer Einheit wird durch die Abstände der Teilstriche verkörpert. Für Meßgeräte dieser Art wird Millimeterteilung bevorzugt. Bei guter Ausführung der Geräte und sorgfältiger Messung ist mit einer Ungenauigkeit von $\pm 0,25 \text{ mm}$ bis $\pm 0,5 \text{ mm}$ zu rechnen.

Um Meßfehler beim Ablesen zu vermeiden, soll die Teilung des Maßstabes an dem zu messenden Gegenstand möglichst anliegen.

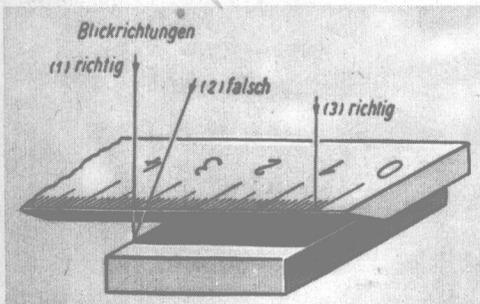


Bild 3
Entstehung der Parallaxe
beim Messen

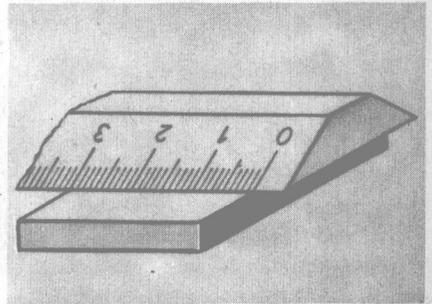


Bild 4
Parallaxe wird vermieden, wenn
die Maßteilung auf dem zu messenden
Gegenstand aufliegt

Wenn Sie dies nicht beachten, also ein geringer Abstand zwischen Maßstab und Gegenstand bestehen bleibt, so kann Ihnen infolge von Schrägablesung ein *Parallaxenfehler*¹⁾ unterlaufen. Er tritt dann ein, wenn beim Ablesen die Blickrichtung nicht senkrecht zu Maßstab und zu messender Länge ist (Bilder 3 und 4). Blicken Sie deshalb beim Messen immer senkrecht auf die Skale. Auch bei Zeiger-

¹⁾ *parallaxis* (griech.) Abweichung

ablesungen an Meßinstrumenten kann der Parallaxenfehler auftreten. Um ihn zu vermeiden, führt man die Zeiger der Meßinstrumente als sogenannte „Messerszeiger“ aus. Wie Bild 5 zeigt, erscheint ein solcher Zeiger als kleiner Strich, wenn das Instrument senkrecht zur Meßskale anvisiert wird. Ist der Zeiger flächenhaft zu sehen (Bild 6), so blickt man schräg zur Skale, die Ablesung ist dann fehler-

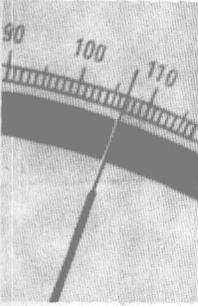


Bild 5
Der Zeiger erscheint als Strich, wenn man senkrecht zur Skale blickt; es tritt kein Parallaxenfehler auf

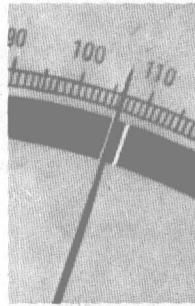


Bild 6
Der Zeiger erscheint als Fläche, wenn man schräg zur Skale blickt; die Ablesung ist fehlerhaft

behaftet. Der Parallaxenfehler läßt sich auch durch Spiegelablesung verhindern, indem die Meßskale auf spiegelndem Grund aufgetragen und beim Messen so auf die Skale geblickt wird, daß sich der Zeiger und sein Spiegelbild decken. Für genauere Längenmessungen benutzt man Feinmeßgeräte; die bekanntesten sind Meßlehre und Meßschraube. Die meisten von Ihnen werden diese Meßgeräte

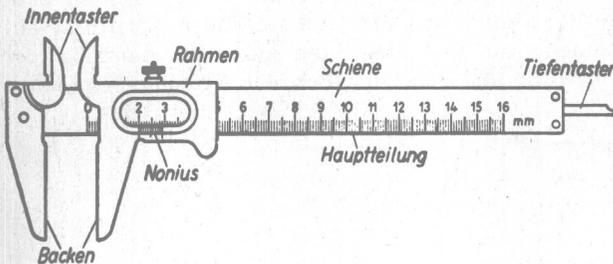


Bild 7
Meßlehre

und ihre Handhabungen bereits kennen, deshalb wollen wir uns auf das Wesentlichste beschränken. Die Meßlehre ist zum Ablesen von Zehntelmillimetern mit einer Hilfsteilung, Nonius¹⁾, ausgerüstet. Dieser ist auf dem verschiebbaren Schenkel der Meßlehre angebracht. Bei dem in den Bildern 7 und 8 dargestellten Nonius kommen auf 9 Skalenteile (9 mm) der Hauptteilung 10 Skalenteile der Noniusteilung, so daß ein Skalenteil der Noniusteilung um $\frac{1}{10}$ mm kleiner ist als ein Ska-

¹⁾ Nach dem portugiesischen Mathematiker *Pedro Nuñez* (1492 bis 1577), latinisiert *Petrus Nonius*, genannt

lenteil der Hauptteilung. Bei der Ablesung ergibt der Nullstrich der Noniusteilung die vollen Millimeter. Die Zehntelmillimeter gibt derjenige Teilstrich des Nonius an, der mit einem Teilstrich der Hauptteilung zusammenfällt (Bild 8).

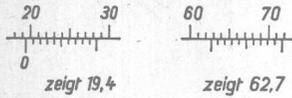


Bild 8

Nonius zeigt 19,4 bzw. 62,7

Die Meßschraube (Bild 9) gestattet Messungen bis auf Hundertstelmillimeter. Sie besteht aus einer beweglichen Schraubenspindel, die zugleich als Griff dient, weiterhin aus einer festen Spindelmutter, die an ihrem freien Ende als kräftiger

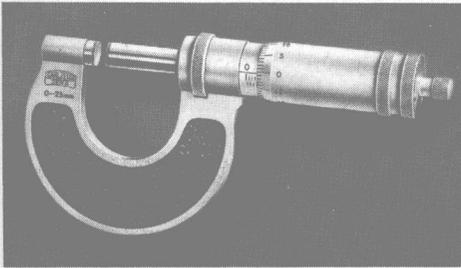


Bild 9

Meßschraube

Bügel ausgebildet ist. Auf diesem ist die fest stehende Meßfläche, der Amboß, angebracht. Die andere Meßfläche ist direkt mit dieser Spindel verbunden, die meist eine Steigung von 0,5 mm besitzt und sich bei einer vollen Spindelumdrehung samt der Meßfläche um 0,5 mm in axialer Richtung verschiebt. Die ganzen bzw. halben Millimeter werden an der Teilung auf dem fest stehenden Schaftrohr abgelesen, die Hundertstelmillimeter auf der Skale, die längs des Umfangs der Trommelhülse aufgetragen ist (Bild 10). Bei Verstellen der Trommel um einen

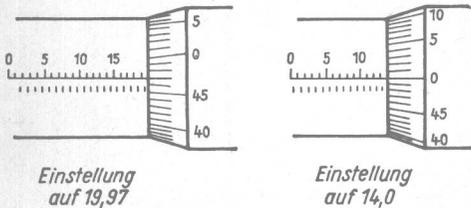
Einstellung
auf 19,97Einstellung
auf 14,0

Bild 10

Beispiele für Ablesungen
an einer Meßschraube

Teilstrich verändert sich der Abstand zwischen den beiden Meßflächen um $\frac{1}{100}$ mm. Der Anzeigebereich der Meßschrauben umfaßt gewöhnlich 25 mm. Das gilt auch für Meßschrauben größerer Meßweite. Für sehr große Meßweiten, sie werden bis zu einer Meßweite von 3 m hergestellt, ordnet man den Amboß verstellbar an, um den Verwendungsbereich zu erweitern.

Will man feste Längen von höchster Genauigkeit, sogenannte Längennormale, herstellen, so verwendet man hierzu Parallelendmaße (Bild 11). Sie sind meist von