

# Physikalische Grundlagen der Maßeinheiten

Mit einem Anhang über Fehlerrechnung

Von Dr. phil. Detlef Kamke  
o. Professor an der Universität Bochum

und Dr. rer. nat. Klaus Krämer  
Akad. Rat an der Universität Bochum

1977. Mit 98 Figuren



B. G. Teubner Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	9
2 Größe, Zahlenwert, Dimension, Größengleichung	12
2.1 Größe und Zahlenwert	12
2.2 Größenart und Dimension	14
2.3 Größengleichungen	16
2.4 Winkel	18
3 Basis-Systeme	19
4 Die Einheiten des SI (Système International)	22
5 Die Realisierung der Längeneinheit	25
5.1 Historische Entwicklung	25
5.2 Interferometrie	29
5.3 Die Krypton-Standard-Lampe	35
5.4 Die praktische Ausmessung des Meters	38
5.4.1 Der Meter-Komparator von Kösters	39
5.4.2 Der Meter-Komparator in Sydney	40
5.4.3 Doppel-Fabry-Pérot Interferometer	40
5.5 Verwendung von Lasern als Wellenlängenstandard	42
5.6 Zukünftige Entwicklung	46
6 Die Realisierung der Zeiteinheit	47
6.1 Ältere Definitionen	48
6.2 Astronomische Definition: die Ephemeriden-Sekunde	53
6.3 Atomphysikalische Definition und Realisierung der Zeiteinheit	58
7 Die Realisierung der Masseneinheit	68
7.1 Masse und Kraft	68
7.2 Gewicht, schwere und träge Masse	72
7.3 Stoffmenge	75
7.4 Das System der Atommassen	80
8 Die Realisierung der Einheit der elektrischen Stromstärke	83
8.1 cgs-System des Elektromagnetismus	83
8.2 Die Internationalen Einheiten von Spannung, Strom und Widerstand	86
8.3 Die SI-Einheiten des Elektromagnetismus	90

	Seite
8.4 Darstellung des Ampère mittels der Kraft auf eine stromdurchflossene Spule	95
8.5 Darstellung des Ampère mittels des Drehmomentes auf eine stromdurchflossene Spule	98
8.6 Der Josephson-Kontakt als Spannungsnormale	99
8.7 Darstellung abgeleiteter elektrischer Einheiten	104
9 Die Realisierung der Temperatur-Skala	106
9.1 Frühe Entwicklung des Temperaturbegriffs	107
9.2 Temperaturdefinition von Amontons	108
9.3 Die Temperaturskalen von Fahrenheit, Réaumur und Celsius	109
9.4 Die Celsius-Temperatur des idealen Gases	111
9.5 Die thermodynamische Temperaturdefinition	113
9.6 Die statistische Temperatur-Definition	121
9.7 Gasthermometrische Messungen	122
9.7.1 Gasthermometer konstanten Volumens	123
9.7.2 Gasthermometer konstanten Druckes	123
9.7.3 Gasthermometer konstanter Temperatur	124
9.8 Andere Thermometer zur Realisierung der thermodynamischen Temperatur	126
9.8.1 Akustische Thermometer	126
9.8.2 Dampfdruck-Thermometer	127
9.8.3 Magnetisches Thermometer	129
9.8.4 Pyrometer	129
9.9 Die internationale Praktische Temperaturskala	131
9.10 Normalgeräte der IPTS-68	136
9.11 Realisierung der IPTS oberhalb des Goldpunktes	139
9.12 Die IPTS unterhalb von 13,81 K	144
9.13 Neuere Entwicklungen	144
10 Die Realisierung der Einheit der Lichtstärke	146
10.1 Strahlungsphysikalische Größen	146
10.2 Photometrische Größen	150
10.3 Darstellung der Lichtstärkeeinheit	156
10.4 Sekundäre Standards	157
10.5 Photometer	160

A n h a n g I		Seite
1	Einleitung	163
2	Elementare Fehlerrechnung	164
2.1	Standardabweichung in einer Serie von Einzelmessungen	164
2.2	Das arithmetische Mittel	167
2.3	Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz	168
2.4	Standardabweichung des arithmetischen Mittels	170
2.5	Gewogenes Mittel	171
2.6	Ausgleichsgerade	172
2.7	Ausgleichsgerade, beide Variable mit Fehlern behaftet	174
3	Einige theoretische Grundlagen der Fehlerrechnung	179
3.1	Relative Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit, Wahrscheinlichkeitsdichte, Normalverteilung	179
3.2	Das arithmetische Mittel der Stichprobe	184
3.3	Verteilungsfunktion der Varianz; $\chi^2$ -Verteilungsfunktion	187
3.3.1	Unterschied von Mittelwert und Erwartungswert	187
3.3.2	Verteilungsfunktion einer Summe von Quadraten	187
3.3.3	Ergänzung: Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung als Beispiel einer $\chi^2$ -Verteilung	190
3.3.4	Die Verteilungsfunktion des Quadrates der Standardabweichung	191
3.3.5	Reduktion der Zahl der Freiheitsgrade	192
4	Statistische Prüfung von Messungen, Tests	193
4.1	Die Tschebyscheff'sche Ungleichung	193
4.2	Die Binomialverteilung	194
4.3	Die Poisson-Verteilung	196
4.4	Minimum- $\chi^2$ -Verfahren und $\chi^2$ -Test	198

## A n h a n g II

Tabelle abgeleiteter und gesetzlicher Einheiten, sowie von Umrechnungsbeziehungen	206
---	-----

	Seite
A n h a n g III	
Tabelle einiger allgemeiner physikalischer Konstanten	211
A n h a n g IV	
Energie-Beziehungen der Atomphysik	213
Sachregister	214