

Sigmar German

Peter Drath

# **Handbuch SI-Einheiten**

Definition, Realisierung, Bewahrung  
und Weitergabe der SI-Einheiten,  
Grundlagen der Präzisionsmeßtechnik

Mit 104 Bildern und 67 Tabellen



Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Das Internationale Einheitensystem</b> . . . . .	1
1.1 Einleitung . . . . .	1
1.2 Die SI-Basiseinheiten . . . . .	2
1.3 Abgeleitete SI-Einheiten . . . . .	3
1.4 Ergänzende SI-Einheiten . . . . .	9
1.5 Dezimale Teile und Vielfache von Einheiten . . . . .	10
1.6 Vorteile der SI-Einheiten . . . . .	14
1.7 Tendenzen zur Ausweitung des SI . . . . .	15
1.8 Einheiten außerhalb des Internationalen Einheitensystems . . . . .	16
1.9 Das Einheitengesetz . . . . .	20
1.10 EG-Einheitenrichtlinie . . . . .	25
1.11 Nationale Normung auf dem Gebiet der Einheiten . . . . .	28
1.12 Internationale Normung auf dem Gebiet der Einheiten . . . . .	30
1.13 Das OIML-Dokument . . . . .	31
1.14 Das SI in der Chemie . . . . .	31
1.15 Das SI im Gesundheitswesen . . . . .	35
1.16 Größen und Einheiten im Gasfach . . . . .	40
1.17 Historische Anmerkungen . . . . .	43
<b>2 Die Meterkonvention</b> . . . . .	47
2.1 Geschichtliche Bemerkungen zum Metrischen System . . . . .	47
2.2 Die Organe der Meterkonvention . . . . .	51
2.3 Das Metrische System in Deutschland . . . . .	54
2.4 Ausbreitung des SI in der Welt . . . . .	55
<b>3 Die Realisierung der SI-Basiseinheiten</b> . . . . .	56
3.0 Einleitung . . . . .	56
3.1 Das Meter . . . . .	58
3.1.1 Einleitung . . . . .	58
3.1.2 Die atomare Definition . . . . .	59
3.1.3 Laser . . . . .	63
3.1.4 Die weitere Entwicklung . . . . .	66
3.1.5 Längenmeßgeräte und Längenmeßverfahren . . . . .	68
3.1.5.1 Die Abbesche Anordnung . . . . .	68
3.1.5.2 Komparatoren . . . . .	70
3.1.5.3 Interferometer . . . . .	74
3.1.5.4 Das photoelektrische Meßmikroskop . . . . .	78
3.1.5.5 Endmaße . . . . .	80
3.1.5.6 Maßstäbe . . . . .	85
3.1.6 Lagerung . . . . .	86
3.1.7 Führungen . . . . .	88

3.2	Das Kilogramm . . . . .	91
3.2.1	Einleitung . . . . .	91
3.2.2	Das Kilogramm-Prototyp . . . . .	91
3.2.3	Massevergleiche . . . . .	93
3.2.3.1	Einflüsse, die vom Massennormal kommen . . . . .	93
3.2.3.2	Einflüsse, die vom Wägeverfahren, von der Waage und vom Wägevorgang kommen . . . . .	94
3.2.4	Die Luftauftriebskorrektion . . . . .	95
3.2.5	Die Fallbeschleunigung . . . . .	96
3.2.6	Die Messung der Fallbeschleunigung . . . . .	101
3.2.7	Die metrologische Bedeutung der Fallbeschleunigung . . . . .	104
3.2.8	Schwere und träge Masse . . . . .	105
3.2.9	Gravitationskonstante . . . . .	107
3.2.10	Gewicht . . . . .	111
3.2.11	Masse und Wägewert . . . . .	111
3.2.12	Waagen und Wägemethoden . . . . .	114
3.3	Die Sekunde . . . . .	120
3.3.1	Einleitung . . . . .	120
3.3.2	Die Weltzeit . . . . .	120
3.3.3	Die Ephemeridenzeit . . . . .	122
3.3.4	Die Atomzeit . . . . .	125
3.3.5	Die Atomzeitskalen . . . . .	125
3.3.6	Die Verbreitung der Zeit . . . . .	129
3.3.7	Das Datum . . . . .	131
3.3.8	Atomuhren . . . . .	133
3.3.9	Uhren in unterschiedlichem Gravitationspotential . . . . .	137
3.3.10	Stopuhren . . . . .	140
3.4	Das Ampere . . . . .	141
3.4.1	Einleitung . . . . .	141
3.4.2	Definition der elektrischen Einheiten . . . . .	142
3.4.2.1	Die heutige Definition der Basiseinheit Ampere . . . . .	142
3.4.2.2	Definition der abgeleiteten elektrischen Einheiten . . . . .	143
3.4.3	Realisierung elektrischer Einheiten . . . . .	144
3.4.3.1	Die Darstellung des Amperes . . . . .	144
3.4.3.2	Die Darstellung des Farads . . . . .	146
3.4.3.3	Die Darstellung des Ohms . . . . .	147
3.4.3.4	Die Darstellung des Volts . . . . .	148
3.4.3.5	Übersicht über die status-quo-Situation . . . . .	152
3.4.4	Bewahrung der elektrischen Einheiten und internationaler Vergleich . . . . .	152
3.4.4.1	Bewahrung des Ohms . . . . .	152
3.4.4.2	Bewahrung des Volts . . . . .	155
3.4.5	Die weitere Entwicklung . . . . .	158
3.5	Das Kelvin . . . . .	160
3.5.1	Einleitung . . . . .	160
3.5.2	Die thermodynamische Temperatur . . . . .	161
3.5.3	Der Tripelpunkt des Wassers . . . . .	164
3.5.4	Die Internationale Praktische Temperaturskala . . . . .	164
3.5.5	Die Angabe von Temperaturen . . . . .	169

3.5.6	Meßgeräte zur Temperaturmessung . . . . .	170
3.5.6.1	Tripelpunktgefäß . . . . .	170
3.5.6.2	Gasthermometer . . . . .	170
3.5.6.3	Die Interpolationsgeräte . . . . .	173
3.6	Das Mol . . . . .	174
3.7	Die Candela . . . . .	182
3.7.1	Einleitung . . . . .	182
3.7.2	Radiometrische Größen zur Beschreibung elektromagnetischer Strahlung . . . . .	183
3.7.3	Der spektrale Hellempfindlichkeitsgrad . . . . .	184
3.7.4	Photometrische (lichttechnische) Größen zur Beschreibung des Lichts . . . . .	186
3.7.5	Die historische Entwicklung bei der Einführung einer photometrischen Basiseinheit . . . . .	187
3.7.6	Zusammenhang zwischen Strahlungsphysik und Lichttechnik . . . . .	189
3.7.7	Die Darstellung der Candela . . . . .	190
3.7.8	Die weitere Entwicklung . . . . .	192
3.7.9	Die Messung des Lichtstroms . . . . .	195
4	Realisierung und Verbreitung des SI in Westeuropa . . . . .	196
4.1	Einleitung . . . . .	196
4.2	Die nationalen Normale für die SI-Basiseinheiten . . . . .	197
4.3	Rechtsgrundlagen für die Weitergabe der SI-Basiseinheiten . . . . .	198
4.4	Meßunsicherheiten bei der Weitergabe der SI-Basiseinheiten . . . . .	200
4.5	Meßunsicherheiten bei der Weitergabe weiterer Einheiten . . . . .	204
4.6	Referenzsubstanzen . . . . .	207
4.7	Kalibrierdienst . . . . .	208
5	Das gesetzliche Meßwesen . . . . .	210
5.1	Das Eichgesetz . . . . .	210
5.2	Die Eichordnung . . . . .	211
5.3	OIML-Empfehlungen . . . . .	216
6	Dimension, Größe, Einheit, Zahlenwert . . . . .	218
6.0	Allgemeines . . . . .	218
6.1	Dimension, Größenart . . . . .	218
6.2	Physikalische Größe . . . . .	223
6.3	Einheit . . . . .	226
6.4	Zahlenwert . . . . .	231
6.5	Gleichungen . . . . .	232
6.6	Größenquotienten . . . . .	236
6.7	Größenverhältnisse . . . . .	237
6.8	Systeme . . . . .	243
6.9	Zahlen . . . . .	251

6.9.1	Das Dezimalzeichen . . . . .	251
6.9.2	Schreibweise von Zahlen . . . . .	252
6.9.3	Runden . . . . .	253
6.9.4	Runden mit Unsicherheit . . . . .	253
6.9.5	Runden nach dem Umrechnen in andere Einheiten . . . . .	254
6.9.6	Prozent, Promille . . . . .	256
<b>7</b>	<b>Meßtechnische Grundbegriffe . . . . .</b>	<b>257</b>
7.0	Einleitung . . . . .	257
7.1	Der Begriff des Messens und das Meßergebnis . . . . .	257
7.2	Meßverfahren . . . . .	262
7.3	Meßgeräte . . . . .	264
7.4	Die Ausgabe (Anzeige) . . . . .	269
7.5	Skalen . . . . .	270
<b>8</b>	<b>Konsistenter Satz von Fundamentalkonstanten . . . . .</b>	<b>272</b>
<b>9</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>278</b>
<b>Anhang</b>	<b>280</b>	
A1	Gesetz über Einheiten im Meßwesen (Einheitengesetz) . . . . .	281
A2	Ausführungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Meßwesen . . . . .	286
A3	Tafel der gesetzlichen Einheiten . . . . .	302
A4	Auslaufende Einheiten und ihre Übergangsfristen . . . . .	319
A5	Rechtsvorschriften für die Umrechnung früherer Landesmaße in Deutschland in metrische Einheiten . . . . .	322
A6	Gesetz über die Zeitbestimmung . . . . .	326
A7	Beispiel eines Bulletins über den Zeitzeichensender DCF 77 . . . . .	328
A8	Zeitzeichensender, die in Mitteleuropa bequem empfangen werden können . . . . .	329
A9	Verbreitung des metrischen Systems . . . . .	330
A10	Abkürzungen von Organisationen . . . . .	335
A11	OIML-Dokument „Unités de Mesure Légales“ . . . . .	337
A12	Verzeichnis von Normen über Einheiten in anderen Ländern . . . . .	351
A13	Verzeichnis der DIN-Normen und Norm-Entwürfe über Größen, Einheiten und Formelzeichen . . . . .	353
A14	Darstellung der Einheitennamen in Systemen mit beschränktem Schriftzeichenvorrat . . . . .	361
A15	Bekanntmachung über Temperaturskalen (Internationale Praktische Temperaturskala 1968) . . . . .	363
A16	Chemische Elemente . . . . .	383
A17	Tabellen: Größenbenennungen in Deutsch, Englisch und Französisch, Formelzeichen, Einheiten . . . . .	385
A18	Umrechnungsbeziehungen . . . . .	416
A19	Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Einheiten im Meßwesen (EG-Einheitenrichtlinie) . . . . .	430
A20	Entwurf einer EG-Einheitenrichtlinie; Stand Februar 1979 . . . . .	443