

Inhalt

1	Einführung	1
2	Masse als physikalische Größe	5
2.1	Massebegriff	6
2.1.0	Verwendete Formelzeichen	6
2.1.1	Etymologie	8
2.1.2	Geschichte des Massebegriffs	9
2.1.3	Masse in der klassischen und relativistischen Physik	15
2.1.4	Das Problem der Masse und der Gravitation in der Teilchenphysik	26
	Literatur	35
2.2	Einheit der Masse	40
2.2.0	Verwendete Formelzeichen	40
2.2.1	Historisches	41
2.2.2	Das Internationale Einheitensystem (SI)	47
2.2.3	Stellung der Masse im Internationalen Einheitensystem	53
2.2.4	Definition und Realisierung der Masseneinheit	54
2.2.5	Darstellung und Weitergabe der Masseneinheit	65
2.2.6	Aufbau einer Masseskala	68
2.2.7	Literatur	70
2.3	Arbeiten zu einer Neudefinition der Masseneinheit	72
2.3.0	Verwendete Formelzeichen	72
2.3.1	Bedarf und Anforderungen	74
2.3.2	Die Experimente	78
2.3.3	Vorschläge für Neudefinitionen	99
2.3.4	Literatur	103
3	Bestimmung der Masse	108
3.1	Die Entwicklung der Massebestimmung	109
3.1.1	Die Waage im Altertum	110
3.1.2	Waage und Wägung im Mittelalter	123
3.1.3	Waage und Wägung im Zeitalter der Aufklärung	131
3.1.4	Waage und Wägung im 19. und 20. Jahrhundert	142
3.1.5	Literatur	151

3.2	Massennormale.....	160
3.2.0	Verwendete Formelzeichen.....	160
3.2.1	Terminologie, Verwendungszweck.....	161
3.2.2	Konventioneller Wägewert, Fehlergrenzen, Dichte des Werkstoffes	162
3.2.3	Bestimmung der Materialdichte	165
3.2.4	Anforderungen	166
3.2.5	Nennwerte	174
3.2.6	Handhabung	174
3.2.7	Günstiger Werkstoff und Zusammenfassung	177
3.2.8	Literatur.....	178
3.3	Methoden der Massebestimmung	180
3.3.0	Verwendete Formelzeichen.....	180
3.3.1	Physikalische, technische und metrologische Grundlagen.....	184
3.3.2	Direkte Massebestimmung	188
3.3.3	Indirekte Massebestimmung	222
3.3.4	Literatur.....	226
3.4	Massebestimmung mit Waagen	229
3.4.0	Verwendete Formelzeichen.....	230
3.4.1	Einführung und Übersicht.....	234
3.4.2	Meßprinzipien und Justierung von Waagen.....	235
3.4.3	Substitutionswägung in Luft	246
3.4.4	Einfluß- und Störgrößen bei der Massebestimmung	254
3.4.5	Volumenbestimmung von Massenormalen	261
3.4.6	Unsicherheit der Massebestimmung	264
3.4.7	Darstellung einer Masseskala.....	273
	Literatur.....	290
3.5	Vakuumwägung	294
3.5.0	Verwendete Formelzeichen.....	295
3.5.1	Aufgaben und Methoden der Vakuumwägung	298
3.5.2	Empfindlichkeit und relative Auflösung	299
3.5.3	Vakuum-Makrowaagen	303
3.5.4	Vakuum-Mikrowaagen	307
3.5.5	Meßtechnik	363
3.5.6	Fehler und Einflüsse	369
3.5.7	Anwendungen	381
3.5.8	Literatur.....	390
3.6	Massebestimmung in der Praxis	400
3.6.0	Verwendete Formelzeichen.....	400
3.6.1	Einleitung	402
3.6.2	Grundlagen	402
3.6.3	Genauigkeitsanforderungen an Waagen	413
3.6.4	Einflußfaktoren	415
3.6.5	Waagenarten	417
3.6.6	Zusatzeinrichtungen	428
3.6.7	Literatur.....	429
3.7	Massebestimmung unter besonderen Bedingungen	431
3.7.0	Verwendete Formelzeichen.....	431

VIII *Inhalt*

3.7.1	Einleitung	432
3.7.2	Wägen auf Schiffen	432
3.7.3	Wägen bei Schwerelosigkeit	434
3.7.4	Erdmasse	435
3.7.5	Ausblick: Bestimmung von Massen im Erdverband	438
3.7.6	Literatur	440

4 **Massekomparatoren** 442

4.0	Verwendete Formelzeichen	443
4.1	Einleitung	444
4.2	Theorie der Balkenwaage	445
4.2.1	Statik	445
4.2.2	Dynamik	456
4.3	Einflußgrößen auf Waage und Wägung	462
4.4	Beschreibung einzelner Massekomparatoren höchster Genauigkeit	464
4.4.1	Schwingende Balkenwaagen	466
4.4.2	Elektromagnetisch kompensierte Massekomparatoren	471
4.5	Literatur	478

5 **Von der Masse abgeleitete Größen und ihre Bestimmung** 480

5.0	Verwendete Formelzeichen	481
5.1	Die Dichte	485
5.1.1	Definition	485
5.1.2	Einheit der Dichte	485
5.1.3	Dichtebestimmung	486
5.1.4	Dichtebestimmung in der Praxis	491
5.2	Die Kraft	492
5.2.1	Größe und Einheit	492
5.2.2	Darstellung	492
5.2.3	Kraftmessungen in der Praxis	494
5.3	Der Druck	495
5.3.1	Größe und Einheit	495
5.3.2	Darstellung der Druckeinheit	496
5.3.3	Druckmessungen in der Praxis	497
5.4	Ausgewählte elektrische Größen	498
5.4.1	Die elektrische Stromstärke	498
5.4.2	Die elektrische Spannung	501
5.4.3	Der elektrische Widerstand	503
5.5	Literatur	506

6	Anhang	508
6.1	Definitionen der Basiseinheiten.....	509
6.2	Erklärung der 3. CGPM (1901) zur Einheit der Masse und zur Definition des Gewichts; konventioneller Wert von g_n	510
6.3	Empfehlung 4 (CI-1993) des CIPM	511
6.4	Teile und Vielfache der Masseneinheit im internationalen Einheitensystem (SI)	512
6.5	Masseneinheiten außerhalb des SI.....	513
6.5.1	Im gesetzlichen Meßwesen Deutschlands erlaubt.....	513
6.5.2	Unabhängig von den SI-Basiseinheiten definiert.....	513
6.5.3	Früher in speziellen Bereichen verwendet	513
6.5.4	In der Astronomie verwendet.....	513
6.5.5	Einige nicht-metrische Masseneinheiten.....	514
6.6	Atommassen der Elemente mit einem einzigen natürlichen Isotop	517
6.7	Die fundamentalen Teilchen der 3 Generationen.....	518
6.8	Einige beobachtete Hadronen	519
6.9	Fallbeschleunigung.....	520
6.9.1	Fallbeschleunigung und Höhe über dem Meeresspiegel einiger ausgesuchter Städte	520
6.9.2	Gebrauchszenen für fallbeschleunigungsabhängige Waagen	525
6.10	International empfohlene Formel für die Luftdichte	525
6.10.0	Verwendete Formelzeichen.....	525
6.10.1	International empfohlene Formel für die Luftdichte.....	526
6.10.2	Literatur.....	531
6.11	Wasserdichte.....	531
6.12	Fehlergrenzen für Gewichtstücke im gesetzlichen Meßwesen	532
6.13	Dichtegrenzen für Gewichtstücke im gesetzlichen Meßwesen	533
6.14	Bedeutende Städte in über 1000 m Höhe	534
6.15	Einige Geschichtszahlen	535
6.16	Lebensdaten einiger bedeutender Persönlichkeiten	536
	Weiterführende Literatur	538
	Bildnachweis.....	545
	Register	549