

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 Massennormalen.....	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	Gebrauchszonen 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