

Inhalt

Vorwort — VII

Zum Gebrauch des Buches — XI

Abkürzungsverzeichnis — XXI

Symbolverzeichnis — XXIII

Teil I: Grundlagen

1	Messen — 3
1.1	Was ist Messen? — 3
1.1.1	Definitionen — 3
1.1.2	Praktisches Messen — 4
1.2	Unvollkommenheit von Messungen — 5
2	Beispiel: Messung der Körpergröße — 9
2.1	Fall 1: Alle Größen mit gleicher Maßeinheit — 9
2.2	Fall 2: Größen mit unterschiedlichen Maßeinheiten — 13
2.3	Fall 3: Mehrfaches Messen der Körpergröße — 15
3	Messsystem und Modell des Messens — 18
3.1	Messgröße, Messwert, Messsignal, Messgerät, Messsystem, Einflussgrößen — 18
3.2	Messverfahren, Messprinzip, Messmethoden — 19
3.3	Modell der Messung — 20
4	Ziel: Ermittlung des besten Schätzwerts und der Messunsicherheit — 23
4.1	Verlässlichkeit einer Messung — 23
4.2	Vorhandene und begrenzte Kenntnisse — 24
4.3	Die sechs Leitprinzipien beim Messen — 25
4.3.1	Die richtige Messung — 25
4.3.2	Die richtigen Messinstrumente — 25
4.3.3	Die richtigen Personen zum Messen — 25
4.3.4	Regelmäßige Überprüfung der Messgeräte — 26
4.3.5	Nachvollziehbare Konsistenz — 26
4.3.6	Das richtige Vorgehen — 26
4.4	Einige Begriffe: Messabweichung, -genauigkeit, -richtigkeit, -präzision — 27
4.5	Was ist Messunsicherheit? — 30

5	Beispiele für Messunsicherheiten durch begrenzte Kenntnisse — 35
5.1	Messgeräte, Datenblätter — 35
5.2	Kalibrierscheine — 36
5.3	Digitale Anzeigen — 38
5.4	Analoge Anzeigen — 39
5.5	Temperatureinfluss — 40
5.6	Grenzabweichungen — 41
5.7	Wiederholtes Messen — 42
6	Vorgehen bei der Ermittlung der Messunsicherheit — 45
6.1	Allgemeiner Berechnungsablauf — 45
6.2	Darlegen der Kenntnisse über die Messung und die beteiligten Eingangsgrößen — 48
6.3	Modellieren der Messung — 49
6.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 51
6.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 54
6.5.1	Unkorrelierte Einflussgrößen — 54
6.5.2	Korrelierte Einflussgrößen — 56
6.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 62
6.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 64
6.7.1	Vollständiges Messergebnis — 64
6.7.2	Stellenzahl bei der Angabe der Messunsicherheit — 65
6.7.3	Korrekte Angabe des Messergebnisses — 66
6.7.4	Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 66
6.8	Bemerkungen zum Vorgehen nach GUM — 66
7	Messunsicherheitbudget — 68
8	Fall: Kleine Anzahl von Mehrfachmessungen — 71
8.1	Allgemeines Vorgehen — 71
8.2	Bestimmung der statistischen Freiheitsgrade v_i — 71
8.3	Bestimmung des effektiven statistischen Freiheitsgrads v_{eff} — 73
8.4	Bestimmung des Erweiterungsfaktors k — 73
8.5	Beispiel: Messreihe zur Messung der Breite eines DIN A4-Blatts — 74
9	Rechnergestützte Messunsicherheitsbestimmung: Beispiel GUM-Workbench — 77
9.1	Software-Tools — 77
9.2	GUM-Workbench — 77
9.3	Beispiel aus Kapitel 2: Messung der Körpergröße — 79

10	Anwendung der Messunsicherheit zur Konformitätsbewertung — 85
10.1	Prüfen — 85
10.2	Prüfung der Konformität — 86
10.3	Konformitätsbewertung — 87
10.4	Beispiel: Klassifizierung des Ernährungszustands eines Erwachsenen anhand des Body-Mass-Indexes BMI — 90
Teil II: Beispiele	
11	Bestimmung des Body-Mass-Indexes — 95
11.1	Messaufgabe — 95
11.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 96
11.3	Modell der Messung — 96
11.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 96
11.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 97
11.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 98
11.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 98
12	Messung der Pendellänge eines Fadenpendels — 100
12.1	Messaufgabe — 100
12.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 100
12.3	Modell der Messung — 101
12.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 101
12.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 102
12.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 103
12.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 103
13	Messung der Schwingungsdauer eines Fadenpendels — 104
13.1	Messaufgabe — 104
13.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 104
13.3	Modell der Messung — 104
13.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 105
13.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 105
13.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 106
13.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 106
14	Messung der Erdbeschleunigung mittels eines Pendels — 107
14.1	Messaufgabe — 107

14.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 108
14.3	Modell der Messung — 109
14.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 109
14.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 109
14.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 110
14.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 110
15	Messung des Elastizitätsmoduls eines Stabes anhand einer Messreihe — 111
15.1	Messaufgabe — 111
15.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 112
15.3	Modell der Messung — 114
15.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 114
15.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 114
15.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 116
15.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 116
16	Kalibrierung eines Parallelendmaßes — 117
16.1	Messaufgabe — 117
16.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 118
16.3	Modell der Messung — 120
16.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 120
16.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 121
16.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 122
16.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 122
17	Kalibrierung einer nichtselbsttätigen elektronischen Präzisionswaage — 124
17.1	Messaufgabe — 124
17.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 124
17.3	Modell der Messung — 125
17.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 126
17.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 126
17.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 127
17.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 127
18	Kalibrierung eines Messschiebers — 128
18.1	Messaufgabe — 128

18.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 128
18.3	Modell der Messung — 129
18.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 129
18.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 129
18.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 131
18.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 131
19	Längenmessung mittels Messschieber — 133
19.1	Messaufgabe — 133
19.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 133
19.3	Modell der Messung — 133
19.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 134
19.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 134
19.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 135
19.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 135
20	Spannungsmessung mittels Digitalvoltmeter — 136
20.1	Messaufgabe — 136
20.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 136
20.3	Modell der Messung — 136
20.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 136
20.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 137
20.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 138
20.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 138
21	Stromstärkemessung — 139
21.1	Messaufgabe — 139
21.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 139
21.3	Modell der Messung — 140
21.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 142
21.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 142
21.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 143
21.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 143
22	Messumformer mit Thermoelement — 145
22.1	Messaufgabe — 145
22.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 146
22.3	Modell der Messung — 147

22.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 147
22.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 148
22.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 149
22.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 149
23	Messung des Luftdrucks mit einem Absolutdrucksensor — 151
23.1	Messaufgabe — 151
23.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 152
23.3	Modell der Messung — 153
23.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 154
23.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 154
23.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 155
23.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 155
24	Magnetfeldmessung — 157
24.1	Messaufgabe — 157
24.2	Kenntnisse über die Messung und die Eingangsgrößen — 157
24.3	Modell der Messung — 159
24.4	Bewerten der relevanten Eingangsgrößen: zugeordnete Messunsicherheiten — 160
24.5	Kombinieren der Erwartungswerte und Standardunsicherheiten — 160
24.6	Bestimmen der erweiterten Messunsicherheit — 162
24.7	Angeben und Bewerten des vollständigen Messergebnisses — 162

Teil III: Anhänge

25	Grenzwerte für Messabweichungen von Messinstrumenten und Maßverkörperungen — 167
25.1	Längenmessung — 167
25.1.1	Verkörperte Längenmaße — 167
25.1.2	Messschieber — 168
25.1.3	Messschrauben — 169
25.2	Zeitmessung mit Stoppuhr — 169
25.3	Messung der Masse — 170
25.3.1	Nichtselbsttätige Digitalwaagen — 170
25.3.2	Gewichtsstücke — 171
25.4	Thermometer — 173
25.4.1	Laborthermometer — 173
25.4.2	Thermometer mit Platin-Messwiderständen — 173

25.4.3	Thermoelement-Messfühler — 175
25.5	Messzylinder zur Messung des Volumens von Flüssigkeiten — 175
25.5.1	Messzylinder aus Glas — 177
25.5.2	Messzylinder aus Kunststoff — 177
25.6	Elektrische Messgeräte — 178
25.6.1	Analogmultimeter — 178
25.6.2	Digitalmultimeter — 179

Literatur — 181

Stichwortverzeichnis — 185