

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, Messprinzipie, 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	Angaben 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	Messunsicherheitsbudget — 68
8	Fall: Kleine Anzahl von Mehrfachmessungen — 71
8.1	Allgemeines Vorgehen — 71
8.2	Bestimmung der statistischen Freiheitsgrade ν_i — 71
8.3	Bestimmung des effektiven statistischen Freiheitsgrads ν_{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 K�pergr��e — 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	Angaben 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	Angaben 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	Angaben 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	Angaben 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