

**Franz Adunka**

# **Messunsicherheiten**

**Theorie und Praxis**

**3. Auflage**

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Grundbegriffe der Messtechnik</b>	<b>1</b>
1.1	Definitionen	1
1.2	Art des Messens	3
1.3	Messsysteme	4
1.4	Messverfahren	6
1.4.1	Messmethoden	6
1.4.2	Messeffekt	8
1.5	Funktionselemente von Messeinrichtungen	9
1.6	Erfassung der Messgröße	9
1.6.1	Empfindlichkeit	10
1.6.2	Dynamisches Verhalten	11
1.6.3	Genauigkeit	15
1.6.4	Stabilität	15
1.6.5	Linearität	16
1.7	Messbedingungen	16
1.8	Weitere wichtige Begriffsbildungen für Messgeräte	17
1.8.1	Anzeigecharakteristik	17
1.8.2	Messbereich	17
1.8.3	Umkehrschwelle	18
1.8.4	Messempfindlichkeit	18
1.8.5	Linearität	18
1.8.6	Auflösung	19
1.8.7	Auflösung und Genauigkeit	20
	Literatur zu Kapitel 1	20
<b>2</b>	<b>Größen, Maßsysteme, Rückführbarkeit</b>	<b>21</b>
2.1	Maßsysteme	22
2.2	Rückverfolgbarkeit	29
2.3	Neue Entwicklungen	37
	Literatur zu Kapitel 2	38
<b>3</b>	<b>Der Messprozess</b>	<b>39</b>
3.1	Wahrer und richtiger Wert einer Messgröße	39
3.2	Wichtige Begriffe	40
3.3	Einflussgrößen auf einen Messprozess	43

3.4	Systematische und zufällige Messabweichungen	43
3.5	Fortpflanzung systematischer Messabweichungen	45
3.6	Abgrenzung zufälliger und systematischer Messabweichungen	48
3.7	Fortpflanzung zufälliger Messabweichungen	50
3.8	Beispiele	51
3.9*	Begründung für die Schätzung der Varianz durch die empirische Varianz, Varianz des Mittelwertes	56
	Literatur zu Kapitel 3	62
<b>4</b>	<b>Statistische Betrachtungen zum Messprozess</b>	<b>63</b>
4.1	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik	63
4.2	Praktisch wichtige Verteilungen	66
4.2.1	Rechteckverteilung	66
4.2.2	Dreieckverteilung	67
4.2.3	Trapezverteilung	68
4.2.4	Bimodale Verteilung	69
4.2.5	Rampenverteilung	70
4.2.6*	Normalverteilung	71
4.2.7	Die Stichprobe einer Normalverteilung, die Studentverteilung	75
4.2.8	Empirische Verteilungsfunktionen	82
4.2.9	Zusammenfassung zu Abschnitt 4.2	84
4.3	Faltung von Verteilungsfunktionen	85
4.4	Schlussbemerkungen zu den Grundannahmen der Messunsicherheits- berechnung	91
	Literatur zu Kapitel 4	92
<b>5</b>	<b>Konzepte der Messunsicherheit</b>	<b>93</b>
5.1	Allgemeines	93
5.2	Nomenklatur in der Messunsicherheitsberechnung	95
5.3	Schrittweise Vorgangsweise bei der Berechnung der Unsicherheit eines Messprozesses	98
5.4	Angabe der Messunsicherheit	99
5.5	Typische Messunsicherheitsquellen	100
5.5.1	Unsicherheitsangaben bei Digitalanzeigen	100
5.5.2	Einfluss elektrischer Komponenten bei Messungen	101
5.5.2.1	Zeitliche Drift	101
5.5.2.2	Temperatureinfluss	101
5.5.2.3	Messtechnische Rückwirkung	102
5.5.2.4	Kontaktwiderstände	103
5.6	Berechnung des Erweiterungsfaktors	104
5.6.1	Freiheitsgrade	104
5.6.2	Effektiver Freiheitsgrad	105

5.7	Einfache Beispiele zur Messunsicherheitsermittlung Literatur zu Kapitel 5	108 126
<b>6</b>	<b>Kovarianzen</b>	<b>127</b>
6.1	Korrelierte Eingangsdaten	127
6.2	Korrelation von Eingangsdaten mittels unkorrelierter Variablen	129
6.3	Berechnung der Kovarianz aus empirischen Daten Literatur zu Kapitel 6	143 144
<b>7</b>	<b>Messunsicherheitsberechnung mit Matrizen</b>	<b>145</b>
7.1	Vorgehensweise	145
7.2	Beispiele	147
<b>8</b>	<b>Ausgleichsrechnung und Messunsicherheit</b>	<b>151</b>
8.1	Prinzip	151
8.2	Ausgleichung unmittelbarer Beobachtungen	151
8.3	Näherung empirischer Messreihen durch Funktionen	153
8.3.1	Allgemeine Bemerkungen	153
8.3.2	Ausgleich offensichtlich linearer Zusammenhänge	155
8.3.3	Ausgleich linearer Zusammenhänge unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten	161
8.3.4	Ausgleich durch Polynome	164
8.3.5	Schematische Vorgehensweise	169
8.4	Zusammenfassende Betrachtungen Literatur zu Kapitel 8	174 175
<b>9</b>	<b>Analyse von Messanlagen</b>	<b>177</b>
9.1	Prüfung von Durchflusssensoren mit dem Wägevorfahren	177
9.1.1	Allgemeines	178
9.1.2	Korrekturen und Umrechnungen	180
9.1.2.1	Berücksichtigung von Auftrieb, Dichte und Verdunstung im Waagenbehälter	181
9.1.2.2	Systematische Messabweichung der Masterzähler	183
9.1.3	Ermittlung der Messunsicherheit bei offenen Waagenbehältern	183
9.1.4	Beispiele	202
9.1.5	Ermittlung der Messunsicherheit bei Temperaturen über 100 °C	208
9.2	Kalibrierung von Temperatursensoren für die Wärmeenergiemessung	211
9.2.1	Hintergrund	211

9.2.2	Unsicherheitsbeiträge Literatur zu Kapitel 9	213 220
10	<b>Eichung, Prüfung und Messunsicherheit</b>	<b>221</b>
10.1	Zur Bedeutung der Eichung	221
10.2	Unsicherheitsbeitrag geeichter Messgeräte Literatur zu Kapitel 10	225 228
11	<b>Ringvergleiche</b>	<b>229</b>
11.1	Warum Ringvergleiche?	229
11.2	Organisation von Ringvergleichen	229
11.2.1	Planung von Ringvergleichen	229
11.2.2	Begleitendes Beispiel	232
11.2.3	Dritteinfluss der Transfornormale	235
11.3	Wahl eines Referenzwertes	237
11.3.1	Klassische Vorgangsweise	237
11.3.2	Der $\chi^2$ -Test	239
11.3.3	Der <i>En</i> -Wert	245
11.4	Angabe der Ergebnisse von Ringvergleichen	249
11.4.1	Prinzip des Youden-Plots	249
11.4.2	Youden-Plots zum begleitenden Beispiel	251
11.4.3	Quantitative Aussagen zum Youden-Plot	255
11.5	Aussagen von Ringvergleichen	258
11.6	Schlussbemerkungen Literatur zu Kapitel 11	259 260
	<b>Anhänge</b>	<b>261</b>
A1	Internationales Wörterbuch der Metrologie (Auszug)	261
A2	Messtechnische Organisationen ( <i>A. Leitner</i> )	266
A3	Rechenregeln der Matrizenrechnung	272
A4*	Bemerkungen zur Berechnung der Messunsicherheit mit numerischen Methoden ( <i>P. Rosenkranz</i> )	277
A5	Formelzeichen	280
	<b>Index</b>	<b>283</b>
	<b>Inserentenverzeichnis</b>	<b>288</b>