

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	10
1. Entwicklungsstand der Fehlertheorie	12
2. Begriffsbildungen auf dem Gebiet der Meßgenauigkeit	14
2.1. Definition des Meßfehlers	14
2.2. Problematik zur Bezeichnung „Fehler“	17
2.3. Fehleranteile	19
2.4. Fehlerbeiträge	21
2.5. Fehler und Fehlergrenzen	27
2.6. Terminologische Zusammenfassung	30
3. Ermittlung und Beschreibung statischer Fehleranteile	39
3.1. Unsicherheiten der Maßverkörperungen	39
3.2. Grobe Fehleranteile	42
3.2.1. Begriff des groben Fehlers	42
3.2.2. Erkennen grober Fehler	43
3.2.3. Behandlung grober Fehler	47
3.3. Systematische Fehleranteile	48
3.3.1. Wesen systematischer Fehler	48
3.3.2. Ermittlung systematischer Fehler	51
3.3.3. Behandlung systematischer Fehler	54
3.3.4. Systematischer Restfehler	58
3.4. Zufällige Fehleranteile	61
3.4.1. Wesen zufälliger Fehler	61
3.4.2. Bestimmung zufälliger Fehler	63
3.4.2.1. Grundüberlegungen zur Wahl von Unsicherheitsmaßen	63
3.4.2.2. Meßwertverteilungen	66
3.4.2.3. Unsicherheitsmaße bei normalverteilten Meßwerten	72
3.4.2.4. Unsicherheitsmaße bei nichtnormalverteilten Meßwerten	81
3.4.2.5. Unsicherheitsmaße bei Einzelmessungen	86
3.4.2.6. Fehlermodelle auf informationstheoretischer Grundlage	88
3.4.3. Behandlung zufälliger Fehler	94
3.5. Driftfehler	95
3.5.1. Meßtechnische Bedeutung von Drifterscheinungen	95
3.5.2. Beschreibung und Analyse von Driftprozessen	96
4. Fehler bei digitalen Messungen	100
4.1. Einteilung der Fehler	100
4.2. Einzelkomponenten digitaler Meßfehler	101
4.2.1. Fehler bei Zählverfahren	101
4.2.2. Quantisierungsfehler	102
4.2.3. Steigungsfehler bei der Analog-Digital-Umsetzung	103
4.2.4. Mittelungsfehler bei der Analog-Digital-Umsetzung	104
4.2.5. Fehler bei erfülltem bzw. nichterfülltem Abtasttheorem	106

4.2.5.1. Zur Erklärung des Entstehens der Fehler	106
4.2.5.2. Fehler bei idealer Tiefpaßfilterung vor der Abtastung	109
4.2.5.3. Fehler infolge nichtidealer oder fehlender Tiefpaßfilterung vor der Abtastung (Aliasingfehler)	109
4.2.5.4. Fehler beim reduzierten Abtasten	112
4.2.5.5. Fehler beim Abtasten von Signalen endlicher Dauer	112
4.2.6. Fehler infolge nichtidealer Vorarbeitungsprogramme bei Meßwert- verarbeitung im Rechner	114
4.2.7. Fehler bei der Digital-Analog-Umsetzung	117
4.2.8. Synchronisationsfehler (Jitter)	118
4.3. Fehler bei der Übertragung digitaler Signale	118
4.4. Informationstheoretischer Vergleich digitaler und analoger Meßverfahren	119
5. Ermittlung und Beschreibung dynamischer Fehler	122
5.1. Einleitende Bemerkungen und Problemstellung	122
5.2. Kennfunktionen und Kennwerte zur Signalbeschreibung	123
5.2.1. Beschreibung im Frequenzbereich	123
5.2.2. Beschreibung im Zeitbereich	125
5.2.3. Zusammenhänge zwischen den Kennfunktionen bzw. Kennwerten für Signale im Zeit- und im Frequenzbereich	126
5.3. Kennfunktionen und Kennwerte zur Systembeschreibung	127
5.3.1. Beschreibung im Frequenzbereich	127
5.3.2. Beschreibung im Zeitbereich	131
5.3.3. Beschreibung im Zustandsraum	133
5.3.4. Zusammenhang zwischen den Kennfunktionen im Zeit- und im Fre- quenzbereich	135
5.4. Dynamische Prüfung von Meßsystemen	136
5.4.1. Allgemeine Bemerkungen	136
5.4.2. Prüfung dynamischer Eigenschaften von Meßmitteln im Frequenz- bereich	137
5.4.3. Prüfung dynamischer Eigenschaften von Meßmitteln im Zeitbereich	139
5.5. Dynamische Meßfehler	144
5.5.1. Exakte Behandlung	144
5.5.2. Näherungsbetrachtungen	148
5.5.3. Typische dynamische Meßfehler und deren Ursachen	156
6. Meßmittelfehler	157
6.1. Fehlerkenngrößen für Meßmittel	157
6.1.1. Allgemeine Beschreibung von Meßmittelgenauigkeiten	157
6.1.2. Fehlerklassen von Meßmitteln	161
6.1.3. Andere Genauigkeitskenngrößen	167
6.2. Möglichkeiten zur Verbesserung von Meßmittelgenauigkeiten	169
6.3. Meßmittelprüfung	174
6.3.1. Arten von Meßmittelprüfungen	174
6.3.2. Prüfparameter der Meßmittelprüfung	178
6.3.3. Durchführung von Meßmittelprüfungen	179
6.3.4. Prüfhilfsmittel	183
6.3.5. Prüfung von Normalen	186
6.4. Selbstkalibrierende Meßmittel	188
7. Meßgenauigkeit indirekter Messungen	193
7.1. Definition und Problematik indirekter Messungen	193
7.2. Fehlerfortpflanzung bei Resultaten aus normalverteilten Meßwerten	194

7.3. Unsicherheiten in Ergebnissen verschiedener Arten indirekter Messungen . . .	199
7.3.1. Übersicht über die verschiedenen Problemstellungen	199
7.3.2. Unsicherheiten in Konstanten gemessener funktioneller Zusammenhänge (Ausgleichsrechnung)	200
7.3.3. Unsicherheiten beim Zusammenfassen von Werten unterschiedlicher Genauigkeit	206
7.3.4. Unsicherheiten bei der Zusammenfassung von Größen aus nicht-normalverteilten Meßwerten	208
7.3.5. Unsicherheiten in Ergebnissen indirekter Messungen bei Einbeziehung von Einzelmessungen	211
7.3.6. Zusammenfassung systematischer Fehleranteile	212
7.3.7. Zusammenfassung von Maximalfehlergrenzen	214
7.3.8. Fehlerfortpflanzung in Meßketten	216
7.4. Vollständiges Meßergebnis	219
7.4.1. Allgemeine Problematik: Ergebnisse geringer Genauigkeit	219
7.4.2. Vollständiges Meßergebnis bei normalen Genauigkeitsforderungen	221
7.4.3. Berechnung der Meßunsicherheit	222
8. Fehlerkorrektur und ihre Grenzen	225
8.1. Prinzipien der Fehlerkorrektur	225
8.2. Korrektur systematischer Fehler	228
8.2.1. Korrektur statischer systematischer Fehler	228
8.2.2. Korrektur dynamischer Fehler	229
8.3. Verminderung der Auswirkungen zufälliger Fehler	239
8.4. Grenzen der Korrekturmöglichkeiten	241
9. Fehler bei geometrischen Messungen als Beispiel für Fehleranalysen	254
9.1. Zweck und Gegenstand geometrischer Messungen	254
9.2. Zur Fehlerrechnung bei geometrischen Messungen	256
9.3. Maßdefinition und Fehlergeometrie	257
9.4. Analyse und Elimination systematischer Fehler	259
9.4.1. Der Meßkreis	259
9.4.2. Fehlerordnungsmatrix	261
9.4.3. Elimination systematischer Fehler	262
9.5. Theorie ausgewählter systematischer Fehler	265
9.5.1. Geometrisch-kinematische Fehler	265
9.5.2. Thermische Fehler	269
9.5.3. Fehler infolge elastischer Verformung	273
9.6. Ausgewählte Kapitel der Theorie korrelierter zufälliger Fehler	279
9.6.1. Einführung	279
9.6.2. Varianz und Kovarianz; die Kovarianzmatrix	280
9.6.3. Fehlerfortpflanzung bei einer Ergebnisgröße	284
9.6.4. Fehlerfortpflanzung bei mehreren Ergebnisgrößen	286
Literaturverzeichnis	291
Sachwörterverzeichnis	314