

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1. Einführung und Überblick	1
1.1. Elektrisches Messen nichtelektrischer Größen	1
1.2. Rezeptor versus Sensor	1
1.3. Sensorik als interdisziplinäres Fachgebiet	2
2. Sensoren – Begriffe und grundlegende Betrachtungen	5
2.1. Sensor – Definition und Signalwandlung	5
2.2. Sensor – Sensorsystem – Sensornetzwerk	9
2.3. Sensorsignale und Signalverarbeitung	10
2.3.1. Art der Sensorausgangssignale	10
2.3.2. Analoge und digitale Verarbeitung der Sensorsignale	11
2.3.3. Komplexe Verarbeitungsfunktionen	12
2.4. Sensoren und Aktoren in einem System	13
2.5. Spezifische Anforderungsaspekte	14
3. Kennwerte, Grenzwerte und Auswertung von Messungen	15
3.1. Vorgaben für Lagerung und Verarbeitung	15
3.2. Messprozess und Kennwerte	15
3.2.1. Statische Kennwerte und Kennlinien	16
3.2.2. Dynamische Kennwerte	18
3.2.3. Kalibrierung	20
3.3. Auswertung von Messungen	20
3.3.1. Fremdeinflüsse und Messabweichungen	21
3.3.2. Angaben von Messabweichungen und Toleranzen in Datenblättern	23
3.3.3. Ermittlung und Darstellung von Messergebnissen	26
4. Messeffekte und Sensoren für physikalische Messgrößen	31
4.1. Thermische Messeffekte und Sensoren	32
4.1.1. Temperatursensoren	32
4.1.2. Messung von Wärmeströmen	42
4.2. Sensoren für mechanische Größen	42
4.2.1. Weg- und Winkelsensoren	43
4.2.2. Messung von Geschwindigkeit und Beschleunigung	51
4.2.3. Messeffekte für Kraft, Druck und Drehmoment	53
4.2.4. Beschleunigungssensoren	61
4.2.5. Drehratesensoren	62
4.3. Optische Messeffekte und Sensoren	63
4.3.1. Umsetzung eines Lichtsignals vs. Licht als Sonde	63
4.3.2. Photoelektrische Effekte	63

4.4.	Sensoren für Magnetfelder	70
4.4.1.	Messeffekte für Magnetfeldsensoren	70
4.4.2.	Magnetfeldsensoren	72
4.5.	Elektrische Messung ionisierender Strahlung	77
4.5.1.	Gasionisationsdetektoren	78
4.5.2.	Szintillationsdetektoren	81
4.5.3.	Halbleiterdetektoren	82
4.5.4.	Bildgebende Detektoren	83
5.	Chemische Messeffekte und chemische Sensoren	85
5.1.	Was und wie messen chemische Sensoren?	85
5.2.	Konzentrationsmessungen in Flüssigkeiten	87
5.2.1.	Elektrische Verfahren	87
5.2.2.	Elektrochemische Verfahren und Sensoren	90
5.3.	Gassensoren	97
5.3.1.	Elektrische Gassensoren	98
5.3.2.	Elektrochemische Gassensoren	100
5.4.	Biosensoren	103
6.	Sensorsysteme und Messanordnungen	107
6.1.	Sensorsysteme mit eigener Testsignalquelle	107
6.1.1.	Akustische Sensorsysteme	108
6.1.2.	Optische Sensorsysteme	112
6.1.3.	Optisch-chemische Sensoren für Flüssigkeiten (Optoden)	119
6.1.4.	Optische Gassensoren	121
6.1.5.	Magnetische Sensorsysteme und Messanordnungen	123
6.2.	Mehrsensorsysteme	126
6.2.1.	Mehrsensorsystem für mechanische Größen	127
6.2.2.	Korrelationsmesstechnik	127
6.2.3.	Arrays chemischer Sensoren	130
7.	Sensorelektronik und Signalvorverarbeitung	131
7.1.	Primärelektronik	131
7.1.1.	Operationsverstärker: Verstärkung und Wandlung von Sensorsignalen	132
7.1.2.	Primärelektronik für passive Sensoren	136
7.1.3.	Primärelektronik für aktive Sensoren	147
7.1.4.	Analog-Digital- und Digital-Anlog-Wandlung	151
7.2.	Schnittstellen der Primärelektronik	155
7.2.1.	Spannungsversorgung der Primärelektronik	156
7.2.2.	Analoge Messsignal-Ausgänge	158
7.2.3.	Digitale Ein- und Ausgänge – Pegelanpassung	159
7.3.	Hilfssignale zur Steuerung des Messablaufs	161
7.3.1.	Zeitsignale und deren Erzeugung	161
7.3.2.	Triggersignale	163

7.4. Sensorsignalverarbeitung mittels Mikrocontroller 165

7.4.1. CPU, periphere Module und Interruptsystem 166

7.4.2. Aufgabenspezifische Auswahl eines Mikrocontrollers 169

7.4.3. Batteriebetrieb und energieeffiziente Betriebsweisen 173

7.5. Analog-Front-End – hochintegrierte Sensor-ICs 175

7.5.1. Ausgewählte Analog-Front-Ends 175

7.5.2. ADuCM3xx – „Precision Analog Microcontroller“ mit verschiedenen Interfaces 176

7.6. Sensoren mit integrierter Elektronik 178

8. Informationsgewinnung aus Sensorsignalen 179

8.1. Analoge elektronische Verfahren 180

8.1.1. Anzeige und Registrierung analoger Größen 180

8.1.2. Charakteristische Analogwerte 181

8.2. Digitale Verfahren 183

8.2.1. Mittelwerte 183

8.2.2. Numerische Integration und Differentiation 185

8.2.3. Berechnung des Messwertes 187

8.2.4. Kreuzkorrelation und Autokorrelation 188

8.2.5. Programmpakete zur Messdatenanalyse 190

8.3. Signalverarbeitung: analog vs. digital - eine Gegenüberstellung 190

8.4. Sensordatenfusion 192

8.4.1. Was ist Sensordatenfusion? 192

8.4.2. Elektronische Nase und Datenfusion mittels künstlichem neuronalem Netz (KNN) 193

9. Sensornetze 201

9.1. Drahtgebundene Netzwerke - Feldbusse 203

9.1.1. I²C-Bus 205

9.1.2. SPI-Bus 207

9.1.3. CAN-Bus 208

9.1.4. Profibus und Profinet 210

9.1.5. KNX-Bus 212

9.2. Drahtlose Netzwerke 214

9.2.1. Anforderungen für drahtlose Sensornetzwerke 216

9.2.2. Wireless LAN, Wi-Fi 218

9.2.3. Bluetooth 220

9.2.4. Mobilfunk 223

9.2.5. Long Range Wide Area Network - LoraWAN 224

9.3. Spezielle Sensornetzwerke 225

9.4. Synchronisation 227

9.5. Stromversorgung von Sensorfunkknoten 230

10. Sensoren in der Anwendung	233
10.1. Sensoren am Körper	234
10.1.1. Sensoren für Vitalparameter	234
10.1.2. Sensoren für Fitness und Sport oder für Notfälle	236
10.1.3. Unterstützung einer Körperfunktion	236
10.2. Sensoren und Smartphones	237
10.2.1. Smartphone-interne Sensoren und Nutzungsbeispiele	237
10.2.2. Smartphone-externe Sensoren und deren Abfrage	241
10.3. Mobile Anwendungen – Sensoren in Fahrzeugen	242
10.4. Stationäre Sensoranwendungen	244
 A. Anhang	 247
A.1. Abkürzungsverzeichnis	247
A.2. Häufig verwendete Formelzeichen	250
A.3. Angabe physikalischer Größen	253
A.4. Naturkonstanten	257
A.5. Normung und Standardisierungsorganisationen	258
A.6. Begriffe der Messtechnik – DIN 1319	259
A.7. Schwingungen und Wellen – eine kurze Zusammenstellung	263
A.8. Das elektromagnetische Spektrum	266
A.8.1. Funktechnisch genutzte Frequenzen	266
A.8.2. Licht und kurzwelligere Strahlung	269
A.9. Ionisierende Strahlung	270
A.9.1. Röntgenstrahlung	270
A.9.2. Kernstrahlung	270
A.9.3. Nachweis ionisierender Strahlung	271
 Literaturverzeichnis	 273
 Stichwortverzeichnis	 285