

Hans-Rolf Tränkler · Ernst Obermeier (Hrsg.)

Sensortechnik

Handbuch für Praxis und Wissenschaft

Mit 1067 Abbildungen und 122 Tabellen



Springer

Inhalt

Teil A

Grundlagen und Technologie

1	Einführung in die Sensortechnik.	3
1.1	Sensoren in technischen Systemen	3
1.1.1	Der Sensorbegriff	3
1.1.2	Allgemeine Struktur eines Instrumentierungssystems.	4
1.1.3	Anwendungsgebiete und Anforderungen an Sensoren.	5
1.2	Statische Sensoreigenschaften	6
1.2.1	Ideale Sensorkennlinie (Soll-Kennlinie)	6
1.2.2	Reale Sensorkennlinie (Ist-Kennlinie).	7
1.2.3	Einflüsse durch Störgrößen (Einflußeffekte)	10
1.2.4	Fehlerfortpflanzung systematischer Fehler	11
1.3	Korrektur von statischen Sensoreigenschaften	12
1.3.1	Kalibrierung, Skalierung und Modellierung	12
1.3.2	Linearisierung in der Meßkette	13
1.3.3	Linearisierung und Einflußkorrektur durch das Differenzprinzip	14
1.3.4	Umkehrung der Wirkungsrichtung durch Gegenkopplung (Kompensationsprinzip)	16
1.4	Entwurf von Sensoren	17
1.4.1	Das Entwurfskonzept.	17
1.4.2	Anforderungen und ihre Auswirkungen auf den Vorentwurf.	18
1.4.3	Dominierende Struktur von künftigen Instrumentierungssystemen.	20
2	Auswertung von Meßsignalen	23
2.1	Einleitung.	23
2.2	Normung	23
2.2.1	DIN 1319	24
2.2.2	Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen	24
2.2.3	Internationales Wörterbuch der Metrologie	24
2.3	Begriffe.	24
2.3.1	Meßgröße	24
2.3.2	Eingangsgröße und Ergebnisgröße.	25
2.3.3	Meßabweichung	25

2.3.4	Einflußgröße und Korrektion.	26
2.3.5	Meßunsicherheit	26
2.4	Vier Schritte der Auswertung von Messungen.	28
2.5	Aufstellung des Modells.	28
2.5.1	Eingangsgrößen	29
2.5.2	Modellfunktion	29
2.6	Vorbereiten der Eingangsdaten	29
2.6.1	Mehrmals gemessene Größen	29
2.6.2	Einzelwerte oder wenige Werte	30
2.6.3	Einflußgrößen.	30
2.6.4	Korrelationen	30
2.7	Berechnung des vollständigen Meßergebnisses	31
2.7.1	Der Rechner macht's möglich	31
2.7.2	Meßergebnis	31
2.7.3	Standardunsicherheit.	31
2.7.4	Wichtige Formeln der Standardunsicherheit.	32
2.7.5	Numerische Berechnung der Standardunsicherheit.	32
2.8	Angabe des vollständigen Meßergebnisses	33
2.8.1	Schreibweisen der Angabe mit Meßunsicherheit.	33
2.8.2	Signifikante Ziffern	33
2.8.3	Erweiterte Meßunsicherheit.	33
3	Physikalische Sensoreffekte.	35
3.1	Sensoreffekte zur Umsetzung mechanischer Größen.	36
3.1.1	Piezoelektrischer Effekt	36
3.1.2	Piezoresistiver Effekt	42
3.2	Sensoreffekte zur Umsetzung magnetischer Größen	47
3.2.1	Hall-Effekt	47
3.2.2	Gauß-Effekt.	51
3.2.3	Magneto-resistiver Effekt	53
3.3	Sensoreffekte zur Umsetzung thermischer Größen	57
3.3.1	Thermowiderstands-Effekt.	57
3.3.2	Temperatureffekte bei Halbleiterübergängen.	67
3.3.3	Thermoelektrischer Effekt	68
3.3.4	Pyroelektrischer Effekt	70
3.4	Sensoreffekte zur Umsetzung optischer und strahlungstechnischer Größen.	72
3.4.1	Äußerer Photoeffekt	72
3.4.2	Innerer Photoeffekt	74
4	Modellierung und Simulation	83
4.1	Einleitung	83
4.2	Simulationsverfahren.	83
4.2.1	Stochastische Simulationsverfahren (Monte-Carlo-Methoden)	84

4.2.2	Deterministische Simulationsverfahren	84
4.3	Die Finite-Elemente-Methode	88
4.3.1	Historischer Rückblick	88
4.3.2	Theoretische Grundlagen.	89
4.3.3	Ablauf einer FE-Simulation	92
4.3.4	Hard- und Softwareanforderungen.	94
4.4	Anwendung der Finite-Elemente-Methode in der Sensorik . .	95
4.4.1	Modellierung von Sensoren	95
4.4.2	Lösungsverfahren	99
4.4.3	Interpretation der Ergebnisse.	102
4.4.4	Beispiele für die Anwendung der FEM in der Mikrosensorik.	103
4.5	Ausblick	121
5	Materialien	125
5.1	Wandlerwerkstoffe	127
5.1.1	Piezoelektrische Materialien	127
5.1.2.	Pyroelektrische Werkstoffe	127
5.1.3	Optoelektronische Wandlermaterialien.	130
5.1.4	Thermoelemente	136
5.2	Widerstandswerkstoffe	139
5.3	Elektrische Verbindungswerkstoffe	141
5.3.1	Metalle und Legierungen	141
5.3.2	Schaltkontakte.	43
5.3.3	Bondwerkstoffe	143
5.3.4	Lote	143
5.3.5	Kleber und Leitkleber	148
5.4	Isoliermaterialien und Dielektrika	148
5.5	Materialien für die Hybridintegration.	148
5.6	Gehäusewerkstoffe.	148
6	Mikrotechnologien	165
6.1	Reinraumtechnik.	165
6.1.1	Reinraumklassen.	165
6.1.2	Reinraumkonzepte	167
6.2	Siliziumtechnologie.	172
6.2.1	Herstellung von Silizium	175
6.2.2	Technologische Grundprozesse	181
6.3	Mikromechanik-Technologien	245
6.3.1	Dreidimensionale naßchemische Strukturierung von Silizium (Bulk Micromachining)	246
6.3.2	Dreidimensionale Strukturierung von Silizium durch Trockenätzen.	256
6.3.3	Oberflächen-Mikromechanik (Surface Micromachining). . . .	257
6.4	Waferverbindungstechniken.	259

6.4.1	Feldunterstützte Verbindungsverfahren	259
6.4.2	Silizium/Silizium-Verbindung (Silicon Fusion Bonding)	263
6.5	Schichttechniken	264
6.5.1	Dickschichttechnik	265
6.5.2	Dünnschichttechnik	266
6.6	Verbindungs- und Kontaktiertechniken	269
6.6.1	Verbindungstechniken	269
6.6.2	Kontaktierverfahren	273
6.7	LIGA-Verfahren.	280
7	Sondertechnologien	285
7.1	Hartstoffbearbeitung mit Ultraschall	285
7.1.1	Allgemeines	285
7.1.2	Verfahrensbeschreibung	285
7.1.3	Einsatzmöglichkeiten der US-Bearbeitung	292
7.1.4	Ultraschall-Bearbeitungsmaschine	295
7.1.5	Qualitätssicherung	298
7.1.6	Anwendungsbeispiele	299
7.1.7	Ausblick	299
7.2	Photoätzbare Glaskeramik (Foturan)	303
7.2.1	Der Begriff Glas	303
7.2.2	Phasentrennung/Entglasung.	304
7.2.3	Glaskeramik	304
7.2.4	Photoätzbare Glaskeramik (Foturan)	305
7.3	Mikrofunkenerosion	308
7.4	Materialbearbeitung mit dem Laserstrahl.	312
7.4.1	Schweißen mit dem Laserstrahl	313
7.4.2	Bohren	317
7.4.3	Trennen	318
7.4.4	Löten	320
7.4.5	Abgleichen	321
7.4.6	Vergüten von Oberflächen	321
7.4.7	Beschriften	322
7.4.8	Abtragen.	323
7.4.9	Halbleiterprozesse.	324

Teil B

Sensoren und Verfahren

8	Druck.	329
8.1	DMS- und Dünnschicht-Drucksensoren	329
8.1.1	Meßgrößentransformation.	330
8.1.2	Druckaufnehmer mit Metallfolien-DMS	334
8.1.3	Druckaufnehmer mit Dünnschicht-DMS.	339

8.1.4	Druckaufnehmer Kenngrößen und die Möglichkeit ihrer gezielten Beeinflussung	345
8.2	Silizium- und Keramik-Drucksensoren	355
8.2.1	Piezoresistive Siliziumdrucksensoren	357
8.2.2	Kapazitive Drucksensoren	375
8.2.3	Drucksensoren auf der Basis verschiedener Herstellungstechnologien.	387
8.2.4	Anforderungen und Anwendungen	390
9	Kraft, Drehmoment, Beschleunigung	395
9.1	Kraft, Drehmoment	395
9.1.1	Allgemeines zur Messung mit Kraftaufnehmern	398
9.1.2	Spezielles zur Messung mit Wägezellen	405
9.1.3	Grundlagen der DMS-Meßtechnik	408
9.1.4	Allgemeines zu DMS-Aufnehmern	415
9.1.5	Anwendung von DMS-Kraftaufnehmern und Wägezellen	423
9.1.6	Piezoelektrische Kraftaufnehmer	425
9.1.7	Magnetoelastische Kraftaufnehmer	428
9.1.8	Induktive Kraftaufnehmer	430
9.1.9	Drehmomentmessung	431
9.1.10	DMS-Drehmomentaufnehmer	435
9.1.11	Drehmomentaufnehmer nach dem induktiven Prinzip	439
9.1.12	Drehmomentaufnehmer nach dem Wirbelstromprinzip	441
9.1.13	Drehmomentaufnehmer nach dem piezoelektrischen Prinzip	441
9.2	Beschleunigung.	445
9.2.1	Einleitung	445
9.2.2	Beschleunigte Feder-Masse-Systeme.	449
9.2.3	Empfindlichkeit, Bandbreite und Rauschen	455
9.2.4	Sensorprinzipien zur Messung der Masseauslenkung	459
9.2.5	Konstruktive und fertigungstechnische Aspekte	465
9.2.6	Meßsignalverarbeitung	473
10	Länge und Winkel.	479
10.1	R-, L-,C-, magnetische Aufnehmer	479
10.1.1	Dehnungsaufnehmer	479
10.1.2	Wegaufnehmer	482
10.1.3	Winkelaufnehmer	508
10.2	Ultraschallsensoren zur Abstandsmessung und Präsenzdetektion	511
10.2.1	Einleitung	511
10.2.2	Ausbreitung von Ultraschall	513
10.2.3	Abstandsmessung mit Ultraschall	521
10.2.4	Schlüsselement Ultraschallwandler	531
10.2.5	Beispiel zur Abschätzung des Erfassungsbereiches	541

10.2.6	Realisierungen	544
10.3	Optische Aufnehmer	553
10.3.1	Einleitung	553
10.3.2	Baugruppen optischer Meßaufnehmer	555
10.3.3	Triangulationssensoren	571
10.3.4	Lichtschnittsensoren	580
10.3.5	Gitterprojektion und Moiré-Verfahren	587
10.3.6	Laufzeitverfahren	597
10.3.7	Kamera-Meßtechnik	603
10.3.8	Interferometrie	606
10.3.9	Autofokustaster	613
10.4	Inkrementale und kodierte Längen- und Winkelaufnehmer. .	616
10.4.1	Einführung	616
10.4.2	Definitionen	616
10.4.3	Einteilung der Meßsysteme	618
10.4.4	Inkrementale Meßverfahren.	619
10.4.5	Code-Meßverfahren.	631
10.4.6	Interpolation.	633
11	Füllstand	639
11.1	Hydrostatische Füllstandmessung	639
11.1.1	Einleitung	639
11.1.2	Meßprinzip	639
11.1.3	Meßeinrichtung.	641
11.1.4	Meßschaltung	645
11.1.5	Typische Anwendungsgebiete.	646
11.2	Lotsystem	651
11.2.1	Einleitung	651
11.2.2	Meßprinzip	652
11.2.3	Meßeinrichtung.	653
11.2.4	Meßschaltung	657
11.2.5	Typische Anwendungsgebiete.	659
11.3	Radiometrische Füllstandmessung.	660
11.3.1	Einleitung	660
11.3.2	Begriffe.	662
11.3.3	Meßprinzip	665
11.3.4	Meßeinrichtung.	666
11.3.5	Typische Anwendungsgebiete.	676
11.4	Füllstandmessung mit Mikrowellen	687
11.4.1	Einleitung	687
11.4.2	Meßprinzip	688
11.4.3	Geräteaufbau.	692
11.4.4	Meßschaltung	694
11.4.5	Technische Daten	700

11.4.6	Typische Anwendungsgebiete.	704
11.5	Kapazitive Füllstandmessung.	706
11.5.1	Einleitung.	706
11.5.2	Meßprinzip.	707
11.5.3	Meßeinrichtung.	709
11.5.4	Meßschaltung.	712
11.5.5	Typische Anwendungsgebiete.	728
11.6	Füllstandmessung mit Vibrationssonde.	730
11.6.1	Einleitung.	730
11.6.2	Meßprinzip.	731
11.6.3	Meßeinrichtung.	736
11.6.4	Elektrische Schaltung.	737
11.6.5	Typische Anwendungsgebiete.	739
12	Drehzahl.	741
12.1	Allgemeines.	741
12.2	Wirbelstromdrehzahlmesser.	741
12.3	Stroboskop.	742
12.4	Tacho-Generatoren.	743
12.4.1	Wirbelstromsensor.	743
12.4.2	Wechselstrom-Generatoren.	744
12.4.3	Unipolarmaschine.	746
12.5	Impuls-Drehzahlsensoren.	746
12.5.1	Allgemeines.	746
12.5.2	Impulsbildung.	746
12.5.3	Impulsformung.	752
12.5.4	Koinzidenz-Verfahren.	753
12.5.5	Zählverfahren.	754
13	Durchfluß.	761
13.1	Volumetrische Meßverfahren.	761
13.1.1	Auslaufzähler.	762
13.1.2	Verdrängungszähler.	763
13.2	Volumenzähler mit Meßflügeln.	768
13.2.1	Turbinenradzähler.	768
13.2.2	Flügelradzähler.	770
13.3	Wirbelzähler.	771
13.3.1	Einleitung.	771
13.3.2	Meßprinzip.	775
13.3.3	Gerätetechnische Ausführungen.	776
13.4	Drallzähler.	781
13.5	Pitot-Rohr.	782
13.6	Wirkdruckverfahren.	783
13.6.1	Physikalische Grundlagen.	784

13.6.2	Wirkdruck-Zähler	789
13.6.3	Blendenmessung	789
13.6.4	Weitere Wirkdruckverfahren	792
13.7	Durchflußmessung aus der Kraft auf angeströmte Körper . . .	793
13.7.1	Schwebekörper-Durchflußmessung	793
13.7.2	Federscheibendurchflußmesser	795
13.7.3	Klappendurchflußmesser	795
13.8	Magnetisch-induktive Durchflußmessung	796
13.8.1	Physikalische Grundlagen	796
13.8.2	Aufbau	798
13.8.3	Störsignale	799
13.8.4	Magnetisch-induktive Geschwindigkeits- und Durchflußsonden	800
13.8.5	Bewertung der magnetisch-induktiven Durchflußmessung . .	801
13.9	Durchflußmessung in offenen Gerinnen	801
13.9.1	Konventionelle Messung mit Höhendifferenzverfahren	802
13.9.2	Ultraschall-Laufzeitverfahren	804
13.9.3	Magnetisch-induktive Durchflußmessung an offenen Gerinnen	805
13.10	Ultraschall-Durchflußmessung	806
13.10.1	Funktionelle Merkmale	806
13.10.2	Grundlagen	807
13.10.3	Meßrohrgestaltung	814
13.10.4	Fehlereinflüsse	821
13.10.5	Wandlertechnik	827
13.10.6	Anwendungsbeispiele	832
13.10.7	Ausblick	837
13.11	Hitzdraht-Anemometrie für Geschwindigkeitsmessungen in Unterschallströmungen	837
13.11.1	Einleitung	837
13.11.2	Meßprinzip und Aufbau der Aufnehmer	838
13.11.3	Wärmeübergang von dünnen Drähten	841
13.11.4	Frequenzgang	843
13.11.5	Richtungsempfindlichkeit von Hitzdrahtaufnehmern	843
13.11.6	Kalibrierung von Hitzdrahtaufnehmern	844
13.11.7	Hitzdrahtmessungen in Unterschallströmungen	846
13.11.8	Einfluß der Fluidtemperatur	849
13.11.9	Fehlerquellen der Hitzdrahtanemometrie	849
13.11.10	Industrielle Anwendungen	853
13.11.11	Ausblick	854
13.12	Laser-Doppler-Anemometrie (LDA)	856
13.12.1	Einleitung	856
13.12.2	Meßprinzip	857
13.12.3	Referenzstrahlanemometer	858

13.12.4	Zweistrahlanemometer	859
13.12.5	Interferenzstreifenmodell der LDA-Signale	861
13.12.6	Komponenten und optische Auslegung eines einfachen Zweistrahl-LDA-Systems	862
13.12.7	Photodetektoren	866
13.12.8	Streuteilchen (Seeding)	871
13.12.9	Signalauswertung	875
13.12.10	Richtungserkennung durch Frequenzverschiebung	881
13.12.11	Rückstreuungssysteme	885
13.12.12	Zwei- und Dreikomponenten-Laser-Doppler-Anemometer . .	886
13.12.13	Lichtwellenleiter- und Halbleiter-LDA	889
13.13	Laser-Doppler-Durchflußmeßtechnik	892
13.13.1	Einleitung	892
13.13.2	Meßprinzip	893
13.13.3	Instationäre Messungen	895
13.13.4	Gerätetechnische Ausführungen	895
13.13.5	LDA-Durchflußmeßgerät in Glasfasertechnologie mit großer Bandbreite	896
13.13.6	LDA-Durchflußmeßgerät mit Halbleiterlaser und holographischen Optikkomponenten	898
13.13.7	Anforderungen – Vorteile des Meßprinzips	900
13.14	Coriolis-Massedurchflußmessung	900
13.14.1	Funktionsweise	900
13.14.2	Ausführung	904
13.14.3	Anwenderaspekte	908
13.15	Thermische Massendurchflußmessung	911
13.16	Laufzeitmessung mit Markier- und Impfverfahren	914
13.17	Laufzeitmessung durch Korrelation	915
14	Temperatur	923
14.1	Einleitung	923
14.2	Sensorprinzipien und -materialien	924
14.2.1	Thermoresistive Prinzipien	924
14.2.2	Flußspannung von Dioden, Basis-Emitter-Spannung von Transistoren	929
14.2.3	Thermoelektrische Effekte	931
14.2.4	Quarz-Temperatur Sensoren	933
14.3	Design und Herstellungsverfahren der Elementarsensoren . .	934
14.3.1	Platin-Temperatur Sensoren	934
14.3.2	Dünnschicht-Metall Temperatur Sensoren	935
14.3.3	NTC und PTC-Thermistoren	935
14.3.4	Silizium-Spreading Resistance-Temperatur Sensoren	936
14.4	Kenndaten	938
14.4.1	Metallwiderstands-Temperatur Sensoren	938

14.4.2	NTC- und PTC-Thermistoren	940
14.4.3	Silizium-Spreading-Resistance-Temperatur Sensoren	943
14.4.4	Integrierte Temperatursensoren	944
14.4.5	Thermoelemente	944
14.5	Anwendungen	945
14.5.1	Industrielle Prozeßkontrolle	945
14.5.2	Automobilanwendungen	947
14.5.3	Sonstige Anwendungsbereiche	948
15	Infrarot-Strahlungssensoren zur berührungslosen Temperaturmessung	953
15.1	Grundlagen der Infrarotstrahlung	953
15.2	Sensorkenngrößen von Infrarotsensoren	963
15.2.1	Spektralbereich, spektrale Empfindlichkeit	963
15.2.2	Empfindlichkeit	964
15.2.3	Rauschen	964
15.2.4	Rauschäquivalente Leistung und spezifische Detektivität	969
15.2.5	Frequenzabhängigkeit, Ansprechzeit, Zeitkonstante	969
15.3	Thermische Sensoren	970
15.3.1	Grundprinzip	970
15.3.2	Bolometer	974
15.3.3	Thermoelektrische Sensoren	977
15.3.4	Pyroelektrische Sensoren	980
15.4	Photonensensoren	985
15.4.1	Grundprinzip	985
15.4.2	Photoleiter (Photowiderstände)	988
15.4.3	Photodioden	990
15.4.4	Schottky-Barriere-Sensoren	994
15.5	Anwendungen	995
15.5.1	Kenngrößen für Pyrometer und Bildgeräte	996
15.5.2	Punktförmige Temperaturmessung	998
15.5.3	Anwendungen von punktförmig messenden Pyrometern	1004
15.5.4	Wärmebildgeräte	1005
15.5.5	Anwendungen von Wärmebildgeräten	1010
15.5.6	Sicherheitstechnik	1012
15.6	Zusammenfassung	1014
16	Vakuum-Totaldruck-Messung	1021
16.1	Meßmethoden	1023
16.2	Mechanische Vakuummeter	1023
16.3	Wärmeleitungs-Vakuummeter	1026
16.4	Ionisations-Vakuummeter	1029
16.5	Gasreibungs-Vakuummeter	1035
16.6	Kalibrieren von Vakuummetern	1036

17	Partikelmeßtechnik	1039
17.1	Einleitung	1039
17.2	Unterschiedliche Eigenschaften von Kolloiden und Aerosolen	1043
17.3	Probennahme	1044
17.4	Partikelgrößensortierung.	1051
17.5	Optische Sensoren.	1054
17.6	Elektroresistive Partikelmessung in Flüssigkeiten: der Coulter-Zähler.	1073
17.7	Pulsverarbeitung bei Partikelzählern	1076
17.8	Fehler in Partikelzählermessungen.	1077
17.9	Elektroresistive Partikelsensoren für Gase	1081
17.10	Das Aerosolektrometer	1082
17.11	Partikelmassen-Sensoren.	1084
17.12	Das Epiphaniometer	1089
17.13	Rußbestimmung durch Echtzeitmessung von Filterschwärzungsgraden.	1090
17.14	Rußbestimmung aufgrund des photoakustischen Effekts . . .	1092
17.15	Der Photoelektrische Aerosolsensor (PAS)	1093
17.16	Eichung von Partikelsensoren	1095
18	Konzentrationsmessung in Gasen	1101
18.1	Gassensoren	1101
18.1.1	Definition eines Gassensors und Allgemeines zur Einteilung.	1101
18.1.2	Anwendungsgebiete und Anforderungen	1102
18.1.3	Thermische Gassensoren.	1104
18.1.4	Metalloxidhalbleitergassensoren und verwandte Sensoren. . .	1109
18.1.5	Festkörperionenleiter	1116
18.1.6	Weitere Gassensoren	1117
18.1.6	Ausblick	1119
18.2	Elektrochemische Gassensoren	1122
18.3	Analysengeräte	1133
19	Konzentrationsmessungen in Flüssigkeiten	1179
19.1	Flüssige Meßmedien	1179
19.2	Potentiometrie	1180
19.3	Amperometrie.	1194
19.4	Konduktometrie	1198
19.5	Optische Detektion	1208
19.6	Biosensoren	1211
20	Gasfeuchte	1219
20.1	Eigenschaften wasserbeladener Gase	1222
20.2	Meßgrößen in der Feuchtemeßtechnik	1227
20.3	Spurenfeuchte-Sensoren	1233
20.4	Klimafeuchte-Sensoren	1247

20.5	Hochfeuchte-Sensoren	1257
20.6	Neue Meßverfahren	1262
20.7	Feuchtgeneratoren und Referenzmessungen	1265

Teil C

Sensorsysteme und Signalverarbeitung

21	Signalverarbeitung bei Multisensoren	1277
21.1	Signalverarbeitung bei Einzelsensoren	1280
21.1.1	Aufgaben der Sensorsignalverarbeitung	1280
21.1.2	Analoge Signalumformung	1282
21.1.3	Digitalumsetzung	1289
21.1.4	Signalübertragung.	1296
21.1.5	Digitale Signalverarbeitung	1297
21.1.6	Beispiel zur digitalen Signalverarbeitung	1305
21.1.7	Ausblick	1310
21.2	Kalman Filter	1311
21.2.1	Einführung	1311
21.2.2	System- und Beobachtungsmodelle	1312
21.2.3	Herleitung der Kalman Filter Algorithmen	1317
21.2.4	Das Kalman Filter in der Praxis	1322
21.2.5	Erweitertes Kalman Filter	1326
21.2.6	Variationen des Kalman Filters	1330
21.2.7	Beispiele	1331
21.2.8	Bibliographische Bemerkung.	1342
21.3	Datenintegration durch Fuzzy Logic.	1346
21.3.1	Einleitung	1346
21.3.2	Grundbegriffe der Fuzzy Logic	1348
21.3.3	Anwendungsfelder für Fuzzy Logic	1353
21.4	Neuronale Netze	1359
21.4.1	Einführung	1359
21.4.2	Neuronale Netze – ihr Konzept	1360
21.4.3	Neuronale Netze – ihre Funktionsweise	1364
21.4.4	Neuronale Netze – ihre besonderen Vorteile.	1366
21.4.5	Zusammenfassende Wertung	1366
22	Objekterkennung mit Ultraschall	1369
22.1	Aufnahme von Objektsituationen.	1371
22.1.1	Einsatzparameter des Objekterkennungssystems.	1371
22.1.2	Anordnung der Wandler	1372
22.1.3	Auflösungsvermögen.	1378
22.2	Rekonstruktion der Objekteigenschaften	1379
22.2.1	Übertragungsmodell	1380
22.2.2	Zeitliche Übertragungsfunktion.	1382

22.2.3	Räumliche Übertragungsfunktion	1383
22.2.4	Rückfaltung	1384
22.3	Auswertung des Empfangsechos	1389
22.3.1	Echoprofilspeicherung	1389
22.3.2	Differenzprofile	1391
22.3.3	Subtraktion des Norm-Echos	1393
22.3.4	Korrelationsanalyse	1395
22.3.5	Inverses Filter zur Objektidentifikation	1398
22.4	Klassifikation	1399
22.4.1	Numerische Klassifikatoren	1400
22.4.2	Klassifikation mit Methoden der Fuzzy-Logik	1401
22.4.3	Neuronale Netze	1403
22.5	Anwendungsbeispiele	1405
22.5.1	Vergleich der Empfangsechos für Objekt und Muster	1405
22.5.2	Verwendung angepaßter Sendesignale	1406
22.5.3	Auswertung mit Fuzzy Logik	1407
22.5.4	Auswertung der Phaseninformation	1410
22.5.5	Positionsinvariante Objekterkennung	1411
22.6	Ausblick	1416
23	Detektoren in der Gefahrenmeldetechnik	1419
23.1	Allgemeines	1419
23.2	Meßgrößen	1422
23.3	Möglichkeiten zur Vergrößerung der Detektionswahrscheinlichkeit und zur Verringerung der Falschmeldungswahrscheinlichkeit.	1424
23.3.1	Integration der Meßgröße über der Zeit	1424
23.3.2	Integration über dem Ort	1425
23.3.3	Gleichzeitige Nutzung auf unterschiedliche physikalische Größen empfindlicher Sensoren.	1425
23.4	Aufbau einer Gefahrenmeldeanlage	1427
23.5	Verbindung Melder Zentrale	1429
23.5.1	Gleichstromlinientechnik.	1429
23.5.2	Lokales Sicherheits-Netzwerk (LSN)	1431
23.6	Meßprinzipien in der Einbruchmeldetechnik	1432
23.6.1	Objektüberwachung	1433
23.6.2	Raumüberwachungsmelder	1440
23.6.3	Melder zur Außenhautüberwachung.	1449
23.6.4	Sensoren für die Freigeländeüberwachung	1457
23.7	Meßprinzipien in der Brandmeldetechnik	1458
23.7.1	Rauchmelder.	1459
23.7.2	Wärmemelder	1467
23.7.3	Wärmestrahlungsmelder	1467
23.8	Ausblick	1468

24	Elektromagnetisch verträgliche Signalübertragung	1471
24.1	Definition Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)	1471
24.2	Übersicht Störbeeinflussung	1471
24.3	Störgrößenbeschreibung auf Leitungen	1472
24.4	Leitungsgebundene Kopplung	1475
24.4.1	Ohmscher Leitungswiderstand.	1477
24.4.2	Leitungsinduktivität	1479
24.4.3	Qualitative Konstruktionsrichtlinien	1481
24.5	Leitungsungebundene Kopplung von Leitungen	1483
24.5.1	Niederfrequente Felder	1485
24.5.2	Leitungsungebundene Kopplung über hochfrequente Felder	1488
24.5.3	Qualitative Konstruktionsrichtlinien	1489
24.6	Kopplung Feld-Leitung	1492
24.6.1	Felder	1492
24.6.2	Feldeinkopplung in elektrisch kurze Leitungen.	1494
24.6.3	Feldeinkopplung in elektrisch lange Leitungen	1497
24.6.4	Qualitative Konstruktionsrichtlinien	1500
24.7	Schirmung	1500
24.7.1	Leitungsschirm	1501
24.7.2	Schirmung der Endgeräte	1504
24.7.3	Schutzschirmtechnik (Guard)	1506
24.8	Filter.	1507
24.9	Signaleingänge, Übertragungsstrecken, Übertragungsverfahren	1509
24.9.1	Signaleingänge	1509
24.9.2	Signalübertragung.	1510
24.9.3	Übertragungsverfahren	1512
24.10	Schlußbemerkung	1513
25	Sensorbussysteme.	1515
25.1	Busfähige Sensoren	1515
25.2	Grundlagen serieller Bussysteme für die Sensorebene.	1521
25.3	Das ISO-OSI-Schichtenmodell und seine Anwendung auf sensornahe Bussysteme	1525
25.4	Verfügbare Systeme und Auswahlkriterien	1538
25.5	Wirtschaftliche Aspekte des Sensorbuseinsatzes	1547
25.6	Nationale und internationale Normung	1548
25.7	Ausblick: Tendenzen bei Sensorbussen.	1552
	Sachverzeichnis	1555