

Inhaltsverzeichnis

1 Übersicht (G. Schnell)	1
2 Induktive Sensoren (W. Helm)	5
2.1 Grundlagen	5
2.1.1 Grundsätzlicher Aufbau	5
2.1.2 Reduktionsfaktor	7
2.1.3 Spulengröße und Schaltabstand	8
2.1.4 Einbauproblematik	9
2.1.4.1 Gehäuse	9
2.1.4.2 Bündiger Einbau	10
2.1.5 Elektronische Schaltung	10
2.2 Ausführungsformen	15
2.2.1 Zylindrische und quaderförmige Näherungsschalter	15
2.2.1.1 Definitionen	16
2.2.2 Schlitzinitiatoren	17
2.2.3 Ringinitiatoren	18
2.2.4 Bistabile Schalter	18
2.2.5 Magnetfeldresistente Näherungsschalter	19
2.2.6 Induktive Analoggeber	20
2.3 Schnittstellen induktiver Näherungsschalter	21
2.3.1 Elektrische Ausführungen und Wirkungsrichtungen	21
2.3.1.1 Gleichspannungsschalter	21
2.3.1.2 Wechsel- und Allspannungsschalter	23
2.3.1.3 Sensoren nach DIN 19234 (Namur)	23
2.3.2 Schutz- und Sicherheitsschaltungen	23
2.3.2.1 Verpolungs- und Überspannungsschutz	23
2.3.2.2 Überlastschutz	24
2.3.2.3 Sicherheitsschaltungen	25
2.3.3 Lasten	25
2.3.4 Bus-Ankopplung	26
2.4 Fertigungstechnologien	27
3 Kapazitive Sensoren (W. Helm)	28
3.1 Grundlagen	28
3.1.1 Sensorsaufbau	28
3.1.2 Empfindlichkeit	30
3.1.3 Reduktionsfaktor	30
3.2 Praktische Ausführung	31
3.2.1 RC-Oszillatoren	31
3.2.2 Störungsunterdrückung	32

3.2.2.1	Störeinflüsse	32
3.2.2.2	Verschmutzungskompensation	32
3.2.2.3	Störimpulsausblendung	33
3.2.3	Ausführungsformen	33
4	Ultraschall-Sensoren (Th. Knittel)	35
4.1	Physikalische Grundlagen	35
4.1.1	Ultraschallwellenarten in Festkörpern, Flüssigkeiten und Luft	35
4.1.2	Transmission und Reflexion an Grenzflächen	36
4.1.3	Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Luft	38
4.1.4	Abschwächung von Schallwellen in Luft	39
4.1.5	Einige Kennwerte verschiedener Materialien	40
4.1.6	Huygensches Prinzip und Beugung von Ultraschallwellen	41
4.1.7	Erzeugung von Ultraschall in Luft	42
4.1.8	Einige Standard-Ultraschallwandler und deren Abstrahlcharakteristik	45
4.2	Ultraschallwandler mittlerer Reichweite als Sensoren	47
4.2.1	Abstandmessende Ultraschallsensoren	47
4.2.2	Ultraschallsensoren im Schrankenbetrieb	52
4.2.3	Fehlermöglichkeiten bei Ultraschallabstandsmessungen	55
4.2.4	Anwendungen busfähiger Ultraschallsensoren	57
4.3	Zukünftige Entwicklungen	57
5	Optische Sensoren (Th. Olbrecht)	60
5.1	Physikalische Grundlagen	60
5.1.1	Einführung	60
5.1.2	Sendeelemente	60
5.1.2.1	Lumineszenzdioden	60
5.1.2.2	Halbleiter-Laserdioden	65
5.1.3	Empfangselemente	69
5.1.3.1	Fotodioden	69
5.1.3.2	Fototransistoren	72
5.1.3.3	Lateraleffektdioden	73
5.2	Technik optischer Sensoren	76
5.2.1	Grundprinzipien	76
5.2.1.1	Der Reflexlichttaster	76
5.2.1.2	Die Reflexlichtschranke	76
5.2.1.3	Die Durchlichtschranke	77
5.2.2	Erweiterte Ausführungen	78
5.2.2.1	Reflexlichttaster mit Lichtleitern	78
5.2.2.2	Reflexlichttaster mit Hintergrundausblendung	78
5.2.2.3	Reflexlichtschranken mit Polarisationsfiltern	79
5.2.3	Signalverarbeitung in optischen Schaltern	80
5.2.3.1	Abschätzung der optischen Empfangsleistung	80
5.2.3.2	Störeinflüsse bei optischen Schaltern	82
5.2.3.3	Störunterdrückung durch optische Modulation	90

5.2.3.4	Störunterdrückung durch Bandpaß	91
5.2.3.5	Störunterdrückung durch Austastung	92
5.2.3.6	Störunterdrückung durch digitale Filterung	93
5.2.3.7	Funktionsreserve	95
5.2.3.8	Schutz vor gegenseitiger Störung	96
5.2.4	Ausführungsformen	96
6	Magnetfeldsensoren (W. Helm)	99
6.1	Hallsensoren	102
6.1.1	Grundlagen und verwendete Materialien	102
6.1.2	Anwendung als Abstandssensor	105
6.2	Magnetoresistive Sensoren	107
6.2.1	Verschiedene Materialien	107
6.2.2	Elektrische Schaltung	109
6.2.3	Anwendung als Abstandssensor	111
6.3	Sättigungskernsonden	112
6.3.1	Aufbau und Wirkungsweise	112
6.3.2	Sensoren für die Automatisierungstechnik	114
6.3.3	Anwendungen	116
7	Identifikationssensoren (M. Kessler)	118
7.1	Einführung	118
7.2	Barcode	119
7.2.1	EAN-Code	119
7.2.2	2-aus-5-Code	121
7.2.3	Lesegeräte	121
7.2.4	Anwendung	122
7.3	Induktive Identifikationssysteme	122
7.3.1	Systemstruktur	123
7.3.2	Induktive Kopplung	123
7.3.3	Datenübertragung im Read-Only-System	125
7.3.4	Datenübertragung im Read/Write-System	126
7.3.5	Datensicherung auf der induktiven Übertragungsstrecke	128
7.3.6	Lesekopf und Auswerteeinheit	128
7.3.7	Anwendungen	130
7.4	Mechanische Codierung	132
8	Temperatursensoren (G. Schnell)	134
8.1	Thermoresistive Sensoren	134
8.1.1	Metalle	134
8.1.1.1	Die Theorie	134
8.1.1.2	Der Einfluß des Meßstromes auf die Genauigkeit	135
8.1.1.3	Elektrische Schaltungen der Temperatursensoren	135
8.1.2	Keramikwerkstoffe	137
8.1.2.1	PTC-Widerstände	137

8.1.2.2 NTC-Widerstände	139
8.1.2.3 Elektrische Beschaltung	140
8.2 Thermoelektrische Sensoren.....	142
8.2.1 Grundlagen	142
8.2.2 Technische Ausführung	143
8.2.3 Elektrische Kompensation	145
8.2.4 Vergleich	146
8.3 Berührungslose Temperaturmessung	146
8.3.1 Prinzip	146
8.3.2 Gesetze der Temperaturstrahlung	148
8.3.3 Ausführungsformen	149
8.3.3.1 Gesamtstrahlungspyrometer	149
8.3.3.2 Teilstrahlungspyrometer	149
8.3.3.3 Farbpyrometer	150
8.3.4 Thermosensoren	152
9 Verformungssensoren (DMS) (<i>H. G. Conrady</i>)	153
9.1 Einleitung	153
9.2 Mechanische Grundlagen	153
9.2.1 Absolutlängenänderung	153
9.2.2 Relative Längenänderung (Dehnung)	154
9.2.3 Mechanische Spannung	154
9.2.4 Elastizitätsmodul	155
9.3 Aufbau und Wirkungsweise des Dehnungsmeßstreifens (DMS)	156
9.3.1 Physikalisches Grundprinzip	156
9.3.2 Metallische DMS	157
9.3.3 Aufgedampfte DMS (Dünnschicht-DMS)	158
9.3.4 Halbleiter-DMS	158
9.4 Die elektrische Beschaltung des DMS	159
9.5 Beispiel	161
10 Weg- und Winkelsensoren (<i>F. Dietrich, H. Thomer</i>)	163
10.1 Übersicht	163
10.2 Analoge Sensoren	163
10.2.1 Tauchanker	163
10.2.1.1 Drossel	163
10.2.1.2 Differentialtransformator	164
10.2.2 Potentiometer	165
10.2.2.1 Allgemeines	165
10.2.2.2 Linearität	165
10.2.2.3 Anwendungsbeispiele	167
10.2.3 Induktiver Wegsensor	167
10.2.3.1 Wirkungsweise	167
10.2.3.2 Linearität und Meßfehler	168
10.2.3.3 Anwendungsmöglichkeiten	168

10.3	Digitale Sensoren	169
10.3.1	Inkrementale Sensoren	170
10.3.2	Absolutsensoren	172
10.4	Optische Distanzmessung mittels Triangulation (<i>G. Kegel</i>)	174
10.4.1	Einleitung	174
10.4.2	Optoelektronische Triangulation	175
10.4.2.1	Optoelektronische Triangulation mit diffusen Zielen ..	175
10.4.2.2	Erzeugung des Meßstrahls	176
10.4.2.3	Empfangsgeometrie	176
10.4.3	Anwendung der optoelektronischen Triangulation	177
10.4.3.1	Hintergrundausblendung	177
10.4.3.2	Allgemeine lineare Distanzmessung	178
10.4.4	Geometrie einer linearen Distanzmessung	178
10.4.5	Dynamik des Systems	179
10.4.6	Zusammenfassung	180
10.5	Optoelektronische Distanzmessung mittels Phasenbestimmung (<i>G. Kegel</i>)	180
10.5.1	Einleitung	180
10.5.2	Laufzeitmessung elektromagnetischer Wellen	181
10.5.2.1	Laufzeitmessung mit Licht	181
10.5.3.1	Große Meßdistanzen	181
10.5.3.2	Schnelle Zählbausteine	181
10.5.3.3	Mehrfaeche der modulierten Phasenlängen	182
10.5.3.4	FMCW-Verfahren	182
10.5.3.5	Holographie	183
10.5.3.6	Impulsverlängerung	183
10.5.3.7	Laufzeitverfahren mit zwei Phasenlagen	183
10.5.4	Phasenmessung	184
10.5.4.1	Phase als Funktion des Abstandes	184
10.5.4.2	Einführung der Zwischenfrequenz	184
10.5.4.3	Meßschaltung	184
10.6	Magnetostriktiver Wegsensor (<i>V. Horn</i>)	188
10.6.1	Das magnetostriktive Prinzip	188
10.6.1.1	Längsmagnetostriktion	188
10.6.1.2	Quer- und Volumenmagnetostriktion	188
10.6.2	Der Wegaufnehmer	188
10.6.2.1	Das Meßprinzip	188
10.6.2.2	Mechanischer Aufbau	191
10.6.3	Einsatz und Anwendung	191
10.6.3.1	Einsatz in Hydraulikzylindern	191
10.6.3.2	Einsatz in Spritzgußmaschinen	192
11	Durchflußmessung (<i>S. Probst, G. Schnell</i>)	193
11.1	Magnetisch-induktive Durchflußmessung	193
11.1.1	Allgemeines	193
11.1.2	Meßprinzip	193

11.1.3	Sensor und Meßumformer	195
11.1.4	Technische Daten	195
11.1.5	Anwendungsmöglichkeiten	196
11.2	Thermische Durchflußsensoren	197
11.2.1	Allgemeines	197
11.2.2	Meßprinzip	197
11.2.3	Sensor und Meßumformer	198
11.3	Mechanische Durchflußmessung	200
11.3.1	Allgemeines	200
11.3.2	Differenzdruckverfahren	200
11.3.3	Verdrängungsverfahren	201
11.3.4	Schwebekörper	202
11.3.5	Turbinendurchflußmesser	202
11.3.6	Coriolis-Prinzip	204
11.3.7	Wirbelfrequenz-Durchflußmesser	206
11.4	Durchflußmessung mit Ultraschall	207
12	Drucksensoren (F. J. Lohmeier)	209
12.1	Einführung	209
12.2	Sensoren mit Verformungskörper	209
12.2.1	Dehnungssensoren	210
12.2.1.1	Grundlagen	210
12.2.1.2	Sensoren mit Dünnfilm-DMS	211
12.2.1.2.1	Aufbau	212
12.2.1.2.2	Meßeigenschaften	213
12.2.1.3	Piezoresistive Sensoren	215
12.2.1.3.1	Grundlagen	215
12.2.1.3.2	Aufbau des Sensorelementes	216
12.2.1.3.3	Meßeigenschaften	216
12.2.2	Sensoren mit Wegmessung	217
12.2.2.1	Kapazitive Sensoren	217
12.2.2.1.1	Meßprinzip	217
12.2.2.1.2	Differenzdruck-Sensor	218
12.2.2.2	Weitere Wegmeßprinzipien	219
12.3	Drucksensoren mit intrinsischem Meßprinzip	219
12.3.1	Piezoelektrische Sensoren	219
12.3.1.1	Der piezoelektrische Effekt	219
12.3.1.2	Beschaltung von piezoelektrischen Kristallen	220
12.3.1.3	Materialien und Anwendungen	220
12.4	Sensoren für spezielle Anwendungen	221
13	Füllstandsmeßsensoren (W. Köhler)	222
13.1	Einführung und Übersicht	222
13.2	Sicht-/optische Füllhöhenbestimmung	224
13.2.1	Schauglas	224

13.2.2	Lichtleiter/Prisma	224
13.3	Füllhöhe über Schwimmer	225
13.3.1	Schwimmkörper	225
13.3.2	Schwimmschalter	226
13.3.3	Verdränger	227
13.4	Elektromechanische Füllhöhenbestimmung	228
13.4.1	Lotsystem	228
13.4.2	Waage	228
13.4.3	Schwinggabel/Schwingrohr	229
13.5	Füllhöhe über Druck	230
13.5.1	Pneumatischer Staudruckschalter	230
13.5.2	Hydrostatische Füllstandssonde	230
13.5.3	Einperlohr	231
13.6	Konduktive Füllhöhenerfassung	231
13.7	Kapazitive Füllhöhenbestimmung	232
13.7.1	Schaltsonde	232
13.7.2	Kontinuierlich messende Sonde	233
13.8	Füllhöhe über Absorption	234
13.8.1	Mikrowellen-Signalschranke	234
13.8.2	Gammastrahlen	234
13.9	Füllhöhe über Reflexion	235
13.9.1	Infrarotimpulsar	235
13.9.2	Ultraschallimpulse	235
13.9.3	Mikrowellensensor (<i>P. Adolphs</i>)	236
14	Chemische Sensoren (W. Schaefer)	240
14.1	Übersicht	240
14.2	Wirkungsweise chemischer Sensoren	241
14.3	Physikalisch wirkende Sensoren	242
14.3.1	Massensensoren	242
14.3.2	Wärmeleitfähigkeit	243
14.3.3	Paramagnetische Sauerstoffmessung	245
14.3.4	Elektrolytische Leitfähigkeit (Konduktometrie)	247
14.4	Physikalisch-chemisch wirkende Sensoren	249
14.4.1	Halbleitersensoren	249
14.4.2	Elektrochemische Sensoren	250
14.4.3	Ionisationsverfahren	256
14.4.4	Chemilumineszenz-Detektoren	257
14.4.5	Katalytische Sensoren (Pellistoren)	257
14.5	Optisch wirkende Sensoren	258
14.5.1	Nicht-dispersive Verfahren	258
14.5.2	Dispersive Verfahren	261
14.5.3	Laser, Faseroptik	263
14.6	Analyseverfahren	265
14.6.1	Chromatographie	265

14.6.2 Fließinjektionsanalyse (FIA)	267
14.6.3 Biosensoren	268
14.6.4 Multisensorsystem	269
15 CCD-Sensoren (G. Frömel)	271
15.1 Grundlagen	271
15.2 Funktion und Aufbau	272
15.2.1 Eingangsstufe	272
15.2.2 Das CCD-Schieberegister	273
15.2.3 Ausgangsstufe	277
15.3 Kennwerte	278
15.3.1 Ansprechempfindlichkeit (Responsivity R)	278
15.3.2 Ungleichförmigkeit (Photo Response Non-Uniformity PRNU)	279
15.3.3 Dunkelspannung (Dark Signal U_{DS})	280
15.3.4 Sättigungsspannung und Überbelichtung	280
15.3.5 Spektrale Empfindlichkeit (Spectral Response)	281
15.3.6 Transporteffizienz (Charge Transfer Efficiency CTE)	281
15.3.7 Rauschen	282
15.3.8 Dynamik	282
15.3.9 Ortsauflösung (OTF, MÜF, MTF, CTF)	282
15.4 Aufbauvarianten	284
15.4.1 Zeilensensoren	284
15.4.2 Flächensensoren	285
15.5 CCD-Kameras	288
15.5.1 Entwicklungshilfsmittel	288
15.5.2 Zeilenkameras	288
15.5.3 Flächenkameras	289
15.6 Signalverarbeitung	290
15.7 Anwendungen	291
15.7.1 Aufgaben in der Automatisierungstechnik	291
15.7.2 Geräteauswahl	292
15.7.3 Beispiel 1: Messung einer Modulationsübertragungsfunktion ..	293
15.7.4 Beispiel 2: Ein System zur Erkennung, Lokalisation und Bearbeitung von Werkstücken	294
16 Gasfeuchtesensoren (G. Scholz)	297
16.1 Einleitung	297
16.2 Beschreibungsformen der Gasfeuchte	298
16.3 Verfahren der Gasfeuchtemessungen	298
16.3.1 Al_2O_3 -Sensoren	298
16.3.2 Tauspiegelhygrometer	299
16.3.3 Psychrometer	300
16.3.4 Kapazitive Hygrometer	302
16.3.5 Elektrolytische Sensoren	303
16.3.6 LiCl-Sensoren	303

16.3.7 Faserhygrometer	304
16.3.8 Sonstige Verfahren	305
16.4 Marktkategorien	305
17 Serielle Sensor/Aktor-Schnittstellen (M. Kessler, J. Göddertz, A. Schmitz)	307
17.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	307
17.1.1 RS232	307
17.1.2 RS422	307
17.1.3 Stromschleife	308
17.2 Kommunikation in der Automatisierungstechnik	308
17.3 Das ISO-Schichtenmodell für verteilte Systeme	309
17.3.1 Physikalische Ebene	309
17.3.1.1 Übertragung von Hilfsenergie	309
17.3.1.2 Bitübertragung	310
17.3.1.3 Bustopologie	312
17.3.2 Verbindungsebene	314
17.3.2.1 Datensicherung	314
17.3.2.2 Buszugriffsverfahren	316
17.3.2.2.1 Master-Slave-Verfahren	316
17.3.2.2.2 Multimaster-Systeme	316
17.3.3 Anwendungsebene	317
17.4 Anforderungen an Sensor/Aktor-Bussysteme	318
17.5 Aktor-Sensor-Interface (ASI)	319
17.5.1 Systemstruktur	319
17.5.2 Übertragungstechnik	320
17.5.2.1 Hilfsenergie	321
17.5.2.2 Bitcodierung	321
17.5.3 ASI-Nachrichten	321
17.5.4 ASI-Master	323
17.6 Ein einfacher Sensor/Aktorbus (VariNet-2)	324
17.6.1 Übertragungstechnik	324
17.6.2 VariNet-2-Sensor/Aktorbus-Protokoll	325
17.6.2.1 Adressierung	325
17.6.2.2 Übertragungsdienste	326
17.6.2.3 Telegramme	326
17.6.3 Anwendungsschnittstelle	327
17.6.3.1 Master	327
17.6.3.2 Bus-Projektierung	328
17.7 PROFIBUS	329
17.7.1 Das PROFIBUS-Konzept	329
17.7.2 Schicht 1 – Übertragungstechnik	330
17.7.3 Schicht 2 – Datenübertragungsschicht	331
17.7.3.1 Telegrammaufbau	333
17.7.4 Schicht 7 – Die Anwendungsschicht	335
17.7.4.1 Kommunikationsobjekte	335
17.7.4.1.1 Objektbeschreibung	335

17.7.4.1.2 Objektverzeichnis	337
17.7.4.2 Kommunikationsbeziehungen	337
17.7.4.2.1 Verbindungstypen.....	338
17.7.4.3 Dienste	339
17.7.4.3.1 Produktivdienste	339
17.7.4.3.2 Managementdienste	339
17.7.5 Profile	339
17.7.6 Projektierung.....	340
17.7.7 Die PROFIBUS-Nutzerorganisation	340
Sachwortverzeichnis	341