

# Inhalt

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Sensoren und Sensorik .....	1
1.1.1 Sensoren als technische Sinnesorgane .....	1
1.1.2 Der Begriff Sensor .....	3
1.2 Chemische Sensoren .....	4
1.2.1 Was sind chemische Sensoren? .....	4
1.2.2 Elemente chemischer Sensoren .....	7
Rezeptor .....	8
Transduktoren .....	9
1.2.3 Charakterisierung chemischer Sensoren .....	12
Bewertung von Analysenergebnissen .....	12
Kenngrößen von chemischen Sensoren .....	13
1.3 Literatur .....	14
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>15</b>
2.1 Sensor-Physik .....	15
2.1.1 Festkörper .....	15
Das Bändermodell des Festkörpers .....	16
Gitterdefekte, Ionenleitung, Hopping .....	18
Sperrsichten .....	20
Strukturen .....	23
2.1.2 Optik und Spektroskopie .....	25
Wechselwirkung Strahlung und Materie .....	25
Reflexion und Brechung .....	29
Absorption, Photolumineszenz und Chemilumineszenz .....	30
2.1.3 Piezoelektrizität und Pyroelektrizität .....	36
2.2 Sensor-Chemie .....	38
2.2.1 Chemisches Gleichgewicht .....	37
2.2.2 Kinetik und Katalyse .....	40
2.2.3 Elektrolytlösungen .....	41
2.2.4 Säuren und Basen, Fällungen und Komplexe .....	42
Säuren und Basen .....	42
Fällungs- und Komplexbildungsreaktionen .....	46
2.2.5 Redoxgleichgewichte .....	49
2.2.6 Elektrochemie .....	52

2.2.7	Elektroden im Gleichgewicht .....	52
	Elektrolyseprozesse .....	55
2.2.7	Chemische Wechselwirkungen: Ionenaustausch; Extraktion; Adsorption.....	72
	Ionenaustausch.....	73
	Extraktion.....	75
	Adsorption .....	77
2.2.8	Besonderheiten biochemischer Reaktionen .....	78
	Enzymatische Reaktionen.....	79
	Immunologische Reaktionen .....	80
	Reaktionen mit Nucleinsäuren .....	82
2.3	Sensor-Technologien .....	83
2.3.1	Dickschichttechnik.....	84
2.3.2	Dünnfilmtechnologie und Strukturierungstechniken .....	85
2.3.3	Oberflächenmodifizierung und geordnete Monoschichten ...	88
	Oberflächenmodifizierung .....	88
	Selbstorganisierende Monolagen (Self Assembled Monolayers; SAM).....	94
	Langmuir-Blodgett-Filme (LBL).....	96
2.3.4	Mikrosystem-Technologien .....	98
	Integrierte Elektronik .....	99
	Integrierte Optik.....	100
2.4	Sensor-Messtechnik .....	101
2.4.1	Elementare Sensor-Elektronik .....	101
2.4.2	Elektrische Meßinstrumente .....	106
2.4.3	Optische Meßinstrumente .....	107
	Spektrometer .....	107
	Interferometer und Fourier-Transform-Spektrometer.....	114
2.5	Literatur .....	116
3	<b>Strukturierte Halbleiter als chemische Sensoren .....</b>	117
	Literatur zu Kapitel 3.....	119
4	<b>Massenempfindliche Sensoren .....</b>	121
4.1	BAW-Sensoren .....	122
4.2	SAW-Sensoren .....	124
5	<b>Leitfähigkeits- und Kapazitätssensoren .....</b>	127
5.1	Konduktometrische Sensoren .....	128
5.2	Resistive und kapazitive Sensoren für Gase .....	130
5.2.1	Gassensoren mit polykristallinen Halbleitern .....	130
5.2.2	Gassensoren mit Polymeren und Gelen .....	134
5.3	Resistive und kapazitive Sensoren für Flüssigkeiten .....	135
5.4	Literatur .....	137

---

<b>6</b>	<b>Thermometrische und kalorimetrische Sensoren</b>	139
6.1	Sensoren mit Thermistoren und Pellistoren	139
6.2	Pyroelektrische Sensoren	141
6.3	Sensoren auf der Basis anderer thermischer Effekte	142
6.4	Literatur	142
<b>7</b>	<b>Elektrochemische Sensoren</b>	143
7.1	Potentiometrische Sensoren	144
7.1.1	Selektivität potentiometrischer Sensoren	147
7.1.2	Ionenselektive Elektroden (ISE)	147
	Potentiometrische Sensoren mit Festkörpermembran	148
	Potentiometrische Sensoren mit Flüssigmembran	153
	Die Glaselektrode	159
	Die Lambda-Sonde	162
7.1.3	Der ionenselektive Feldeffekttransistor (ISFET)	165
7.1.4	Messungen mit potentiometrischen Sensoren	168
	Meßgeräte	168
	Experimentelle Bedingungen	169
	Kalibrierung	170
	Bestimmung des Selektivitätskoeffizienten	173
7.2	Amperometrische Sensoren	173
7.2.1	Selektivität amperometrischer Sensoren	174
7.2.2	Bauformen und Beispiele	176
7.2.3	Messungen mit amperometrischen Sensoren	181
7.3	Sensoren auf der Basis anderer elektrochemischer Meßmethoden	182
7.4	Elektrochemische Biosensoren	183
7.4.1	Grundlagen	183
	Biologische Erkennung als Selektivitätsprinzip	183
	Immobilisierung bioaktiver Substanzen	183
7.4.2	Arten elektrochemischer Biosensoren	187
	Enzmysensoren	187
	Immunosensoren	195
	Sensoren mit ganzen Zellen, Mikroorganismen und Organteilen	197
	Nucleinsäure-Sensoren	199
7.5	Literatur	205
<b>8</b>	<b>Optische Sensoren</b>	207
8.1	Lichtleiter als Basis optischer Sensoren	207
8.2	Fasersensoren ohne chemischen Rezeptor (Mediator)	210
8.3	Optoden: Fasersensoren mit chemischem Rezeptor	217
8.3.1	Übersicht	213
8.3.2	Optoden mit einfachen Rezeptorschichten	217

8.3.3	Optoden mit komplexen Rezeptorschichten .....	220
8.4	Sensoren mit planaren optischen Transduktoren .....	221
8.4.1	Planare Wellenleiter .....	221
8.4.2	Oberflächenplasmonenresonanz und Resonanzspiegel-Prismenkoppler .....	223
8.5	Optische Biosensoren .....	224
8.5.1	Grundlagen .....	224
8.5.2	Optische Enzymsenoren .....	225
8.5.3	Optische Bioaffinitätssensoren .....	227
8.5.4	Optische DNA-Sensoren .....	230
8.6	Sensorsysteme mit Integrierter Optik .....	233
8.7	Literatur .....	234
<b>9</b>	<b>Chemische Sensoren als Detektoren und Indikatoren .....</b>	<b>237</b>
9.1	Indikatoren für Titrationsprozesse .....	238
9.2	Durchflußdetektoren für kontinuierliche Analysatoren und für Trennmethoden .....	239
9.2.1	Kontinuierliche Analysatoren .....	240
9.2.2	Trennmethoden .....	245
	Chromatographie .....	247
	Kapillarelektrophorese .....	248
9.3	Literatur .....	250
<b>10</b>	<b>Sensor-Arrays und miniaturisierte Totalanalysatoren .....</b>	<b>251</b>
10.1	Zwei Entwicklungsrichtungen und ihre Ursachen .....	251
10.2	Intelligente Sensoren und Sensor-Arrays .....	252
10.2.1	Intelligenz in Sensorsystemen .....	252
	Warum Intelligenz? .....	252
	Selbst-Test, Selbst-Diagnose und Selbst-Kalibrierung .....	252
10.2.2	Sensor-Arrays .....	255
	Warum Sensor-Arrays? .....	255
	Mehrdimensionale und Mehrkomponenten-Analyse .....	256
	Elektronische Nasen, elektronische Zungen (ENoses; ETongues) .....	258
10.3	Miniaturisierte Totalanalysatoren .....	264
10.3.1	Entstehungsgeschichte .....	264
	Vorläufer .....	265
	$\mu$ -TAS und Lab-on-a-Chip .....	267
10.3.2	Technologien .....	268
10.3.3	Charakteristische Operationen und Prozesse in Mikro-Total-Analysatoren .....	270
	Elektroosmose in Mikrokanälen .....	270
	Probenahme und Probenvorbehandlung .....	270
	Probeninjektion und Detektion .....	272

10.3.4 Beispiele für $\mu$ -TAS .....	273
Kapillar-Elektrophorese .....	273
Titrationsvorrichtungen .....	274
10.4 Literatur .....	275
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>277</b>