

Inhalt

1	Grundlagen, Definitionen und Begriffe	1
1.1	Ionen, Elektrolyte und die Quantelung der elektrischen Ladung	1
1.2	Übergang von Elektronen- zu Ionenleitung in einer elektrochemischen Zelle	3
1.3	Elektrolysezelle – galvanisches Element, Zersetzungsspannung – elektromotorische Kraft	4
1.4	Faradaysche Gesetze — Coulometer	7
1.5	Maßsysteme und Meßgrößen	9
2	Leitfähigkeit und Wechselwirkungen in ionischen Systemen	11
2.1	Grundlagen	11
2.1.1	Der Begriff der elektrolytischen Leitfähigkeit	11
2.1.2	Die Messung des Leitwerts von Elektrolytlösungen	12
2.1.3	Die spezifische Leitfähigkeit	17
2.1.4	Zahlenwerte	17
2.2	Empirische Gesetze der elektrolytischen Leitfähigkeit	19
2.2.1	Die Konzentrationsabhängigkeit der Leitfähigkeit	19
2.2.2	Molare und Äquivalentleitfähigkeit	20
2.2.3	Das Kohlrausch-Gesetz und die Bestimmung der Grenzleitfähigkeit starker Elektrolyte	21
2.2.4	Das Gesetz der unabhängigen Ionenwanderung und die Bestimmung der Grenzleitfähigkeit schwacher Elektrolyte	23
2.3	Ionenbeweglichkeit und Hittorfsche Überführung	25
2.3.1	Die Überführungszahl und die Bestimmung von Ionengrenzleitfähigkeiten	26
2.3.2	Experimentelle Bestimmung von Überführungszahlen	27
2.3.3	Zahlenwerte für Überführungszahlen und Ionengrenzleitfähigkeiten	29
2.3.4	Hydratation der Ionen	30
2.3.5	Die Extraleitfähigkeit des Protons (Struktur des H_3O^+ -Ions, des Wassers und Hydratationszahl des Protons)	32
2.3.6	Die Bestimmung von Ionenwanderungsgeschwindigkeiten (Ionenbeweglichkeiten) und Ionenradien, Waldensche Regel	35

2.4	Die Theorie der elektrolytischen Leitfähigkeit (Debye-Hückel-Onsager-Theorie verdünnter Elektrolytlösungen)	38
2.4.1	Modellvorstellungen (Zentral-Ion und Ionenwolke, Relaxations- und elektrophoretischer Effekt)	38
2.4.2	Berechnung des durch Zentral-Ion und Ionenwolke erzeugten Potentials; Ionenstärke, Radius der Ionenwolke . . .	39
2.4.3	Die Debye-Onsager-Gleichung für die Leitfähigkeit verdünnter Elektrolytlösungen	42
2.4.4	Der Einfluß von Wechselfeldern und von starken elektrischen Feldern auf die elektrolytische Leitfähigkeit	44
2.5	Der Aktivitätsbegriff aus elektrochemischer Sicht	44
2.5.1	Der Aktivitätskoeffizient	44
2.5.2	Berechnung der Konzentrationsabhängigkeit des Aktivitätskoeffizienten	45
2.5.3	Aktivitätskoeffizienten in konzentrierten Elektrolytlösungen, Aktivitätskoeffizienten von Neutralmolekülen	48
2.6	Das Verhalten schwacher Elektrolyte	52
2.6.1	Das Ostwaldsche Verdünnungsgesetz	52
2.6.2	Der Dissoziationsfeldeffekt	55
2.7	Der pH-Begriff, Pufferlösung	55
2.8	Nichtwäßrige Lösungen	57
2.8.1	Ionensolvatation in nichtwäßrigen Lösungsmitteln	58
2.8.2	Elektrolytische Leitfähigkeit in nichtwäßrigen Lösungen	59
2.8.3	Zur pH-Skala protonenhaltiger nichtwäßriger Lösungen	61
2.9	Einfache Anwendungen von Leitfähigkeitsmessungen	63
2.9.1	Die Bestimmung des Ionenprodukts des Wassers	63
2.9.2	Die Bestimmung des Löslichkeitsprodukts eines schwerlöslichen Salzes	64
2.9.3	Die Bestimmung der Lösungswärme eines schwerlöslichen Salzes	64
2.9.4	Die Bestimmung der thermodynamischen Gleichgewichtskonstanten und des mittleren Aktivitätskoeffizienten eines schwachen Elektrolyten	65
2.10	Abschliessende Hinweise und Bemerkungen	66
3	Potentiale und Strukturen an Phasengrenzen	71
3.1	Elektrodenpotentiale und ihre Abhängigkeit von Konzentration, Gasdruck, Temperatur	71
3.1.1	Die Spannung galvanischer Zellen (elektromotorische Kraft) und die maximale Nutzarbeit chemischer Reaktionen .	71
3.1.2	Das Zustandekommen von Elektrodenpotentialen (Galvanispannungen), das elektrochemische Potential	73
3.1.3	Berechnung des Elektrodenpotentials bzw. der Gleichgewicht-Galvanispannung für Metallionenelektroden (Nernstsche Gleichung)	75

3.1.4	Die Nernstsche Gleichung für Redoxelektroden	76
3.1.5	Die Nernstsche Gleichung für Gaselektroden	79
3.1.6	Zur Messung von Elektrodenpotentialen und Zellspannungen	79
3.1.7	Berechnung von Zellspannungen (elektromotorischen Kräften) aus thermodynamischen Daten	83
3.1.8	Die Temperaturabhängigkeit von Zellspannungen	86
3.1.9	Die Druckabhängigkeit der Zellspannung – Reststrom bei der Elektrolyse wässriger Lösungen	88
3.1.10	Bezugselektroden, Spannungsreihe	90
3.1.11	Elektroden zweiter Art	94
3.1.12	Elektrochemische Spannungsreihe in nichtwässrigen Lösungsmitteln	99
3.1.13	Bezugselektroden in nichtwässrigen Lösungen, nutzbare Potentialbereiche	101
3.2	Flüssigkeitspotentiale	103
3.2.1	Das Entstehen von Flüssigkeitspotentialen	103
3.2.2	Die Berechnung von Diffusionspotentialen	104
3.2.3	Konzentrationsketten „mit und ohne Überführung“	106
3.2.4	Die Gleichung von Henderson	107
3.2.5	Die Eliminierung von Diffusionspotentialen	109
3.3	Membranpotentiale	111
3.3.1	Donnan- und Dialysepotential	111
3.3.2	Biologische Membranen	114
3.4	Phasengrenzstrukturen und einige damit zusammenhängende Effekte	118
3.4.1	Starre und diffuse Doppelschicht, das Zeta-Potential	119
3.4.2	Adsorption von Ionen, Dipolen und neutralen Molekülen, der Ladungsnullpunkt	123
3.4.3	Die Doppelschichtkapazität	124
3.4.4	Einige Daten zur elektrolytischen Doppelschicht	126
3.4.5	Elektrokapillarität	127
3.4.6	Elektrokinetische Effekte (Elektrophorese, Elektroosmose, Dorn-Effekt, Strömungspotential)	131
3.5	Potentiale und Phasengrenzen an Halbleiterelektroden	134
3.5.1	Metallische Leiter, Halbleiter und Isolatoren	134
3.5.2	Elektrochemische Gleichgewichte an Halbleiterelektroden	138
3.6	Einige Anwendungen von Potentialmessungen	140
3.6.1	Die experimentelle Bestimmung von Standardpotentialen	140
3.6.2	Die Bestimmung von mittleren Aktivitätskoeffizienten	143
3.6.3	Die Bestimmung des Löslichkeitsprodukts eines schwerlöslichen Salzes	143
3.6.4	Die Bestimmung des Ionenprodukts des Wassers	143
3.6.5	Die Bestimmung thermodynamischer Funktionen und Gleichgewichtskonstanten	144

3.6.6	pH-Messung mit der Wasserstoffelektrode	146
3.6.7	pH-Messung mit der Glaselektrode	149
4	Potentiale und Ströme	155
4.1	Klemmenspannung und Elektrodenpotential bei Stromfluß, eine Übersicht	155
4.1.1	Der Begriff der Überspannung	157
4.1.2	Die Messung von Überspannungen, Aufnahme der Strom-Spannungs-Kurve von Einzelelektroden	158
4.2	Die Durchtritts-Strom-Spannungs-Kurve	161
4.2.1	Aufstellung der Strom-Spannungs-Beziehung (Durchtritts-Strom-Spannungs-Kurve)	162
4.2.2	Diskussion der Durchtritts-Strom-Spannungs-Kurve	166
4.2.3	Die Konzentrationsabhängigkeit der Austauschstromdichte – Die Standard-Austauschstromdichte	170
4.2.4	Elektrodenreaktionen mit konsekutivem Übergang mehrerer Ladungen	172
4.2.5	Gekoppelte chemische Gleichgewichte, die elektrochemische Reaktionsordnung	176
4.2.6	Theoretische Ansätze zur Berechnung des Ladungsdurchtritts (für einfache Redoxreaktionen)	179
4.2.6.1	Berechnung des kritischen Ligandenabstandes	180
4.2.6.2	Reorganisationsenergie und Geschwindigkeits- konstante	182
4.2.6.3	Austauschstromdichte und Strom-Spannungs-Kurve	184
4.2.6.4	Abschliessende Hinweise und Bemerkungen	185
4.2.7	Die Bestimmung von Aktivierungsparametern und die Temperaturabhängigkeit elektrochemischer Reaktionen	186
4.3	Die Konzentrationsüberspannung – Einfluß des Stofftransportes auf die Strom-Spannungs-Kurve	188
4.3.1	Ableitung einer Beziehung für die Konzentrations- überspannung aus der Butler-Volmer-Gleichung	189
4.3.2	Stofftransport und Ladungsdurchtritt, Diffusions- überspannung und Diffusionsgrenzstrom	191
4.3.3	Strom-Zeit-Verlauf bei konstantem Potential, d. h. bei konstanter Oberflächenkonzentration c^s	194
4.3.4	Potential-Zeit-Verlauf bei konstantem Strom – galvanostatische Elektrolyse	196
4.3.5	Stofftransport bei konvektiver Diffusion	198
4.3.6	Stofftransport durch Migration – die Nernst-Plancksche Gleichung	203
4.3.7	Sphärische Diffusion und Ultra-Mikro-Elektroden	205
4.4	Einfluß vor- oder nachgelagerter gehemmter chemischer Reaktionen auf die Strom-Spannungs-Kurve	208

4.4.1	Reaktionsüberspannung, Reaktionsgrenzstrom, Reaktionsschichtdicke	209
4.4.2	Einfache Unterscheidung der Reaktionsgrenzströme vom Diffusionsgrenzstrom	213
4.5	Adsorptionsvorgänge	214
4.5.1	Adsorptionsisothermen	215
4.5.2	Adsorptionseenthalpie und Paulingsche Gleichung	219
4.5.3	Strom-Spannungs-Beziehung und Grenzstrom bei Adsorption	219
4.5.4	Abhängigkeit der Austauschstromdichte von der Adsorp- tionseenthalpie – die Wasserstoffelektrode als Beispiel	221
4.6	Elektrokristallisation – Metallabscheidung und Metallauflösung	223
4.6.1	Einfaches Modell der Metallabscheidung	223
4.6.1.1	Abscheidung mit Oberflächendiffusion	224
4.6.1.2	Direkte Entladung	227
4.6.1.3	Zweidimensionale Keimbildung	228
4.6.2	Kristallwachstum in Anwesenheit von Schrauben- verletzungen	229
4.6.3	Unterpotentialabscheidung	230
4.6.4	Zur Kinetik der Metallauflösung	234
4.6.5	Passivität von Metallen	236
4.7	Mischelektroden – Korrosion – Stromlose Metallabscheidung	237
4.7.1	Mechanismus der Säurekorrosion	238
4.7.2	Sauerstoffkorrosion	240
4.7.3	Praktische Beispiele elektrochemischer Korrosion	242
4.7.3.1	Korrosion im Riß einer Eisenoxidschicht	242
4.7.3.2	Tropfenkorrosion	243
4.7.3.3	Bildung von Passivschichten	243
4.7.4	Potential-pH-Diagramme nach Pourbaix	244
4.7.5	Stromlose Metallabscheidung	245
4.8	Die Halbleiterelektrode bei Stromfluß	246
4.8.1	Strom-Spannungs-Kurven	246
4.8.2	Photoelektrochemie	249
4.8.2.1	Bildung von Elektron-Loch-Paaren, die Photospannung	250
4.8.2.2	Die elektrochemische Photozelle	251
4.8.2.3	Strom-Spannungs-Kurven am belichteten Halbleiter	254
5	Untersuchungsmethoden	257
5.1	Die Messung der stationären Strom-Potential-Kurve	257
5.1.1	Messungen bei konstantem Strom – das galvanostatische Verfahren	258
5.1.2	Messungen bei konstantem Potential – das potentiostatische Verfahren	258

5.1.3	Stationäre Messungen bei kontrolliertem Stofftransport – rotierende Elektroden und Rohrströmungen	260
5.1.3.1	Bestimmung der charakteristischen Daten einer Durchtrittsreaktion – Ermittlung der Durchtritts-Strom-Spannungs-Kurve	261
5.1.3.2	Ermittlung der Geschwindigkeitskonstanten einer vorgelagerten chemischen Reaktion	264
5.1.3.3	Rotierende Doppelelektroden	266
5.1.3.4	Stationäre Messung sehr schneller Reaktionen mit Hilfe turbulenter Strömungen	269
5.2	Quasistationäre Methoden	274
5.2.1	Die Dreieckspannungsmethode – Studium von Elektrodendeckschichten und Elektrodenprozessen	275
5.2.1.1	Das Deckschichtdiagramm	276
5.2.1.2	Dreiecksdiagramme bei Anwesenheit elektrochemisch aktiver Substanzen im Elektrolyten – eine Übersicht	279
5.2.1.3	Zur Theorie der Dreieckspannungsmethode I – einmaliger Potentialhinlauf	281
5.2.1.4	Zur Theorie der Dreieckspannungsmethode II – das Single Sweep Verfahren	285
5.2.1.5	Experimente unter mehrfacher Potentialdurchlauf	289
5.2.1.6	Zur Theorie der Dreiecksspannungsmethode III – Diagnosekriterien beim single sweep Verfahren	291
5.2.1.7	Zyklovoltamogramme an Ultra-Mikro-Elektroden	294
5.2.2	Wechselstrom-Messungen	296
5.2.2.1	Einfluß von Transportvorgängen auf den Wechsel- stromwiderstand der elektrochemischen Zelle – die Warburg-Impedanz	297
5.2.2.2	Ersatzschaltbild der wechselstromdurchflossenen Elektrode, diffusionsbestimmte Elektrodenreaktion (Randles-Plot)	301
5.2.2.3	Durchtrittsbestimmte Elektrodenreaktionen – Darstellung der Elektrodenimpedanz in der komplexen Ebene (Nyquist-Diagramm)	303
5.2.2.4	Logarithmische Auftragung der Ergebnisse bei der durchtrittsbestimmten Reaktion (Bode-Plot)	305
5.2.2.5	Reaktionen unter kontrolliertem Stofftransport sowie Reaktionen mit geschwindigkeitsbestim- menden Durchtritts- und Diffusionsanteilen	306
5.2.2.6	Das Arbeiten mit einer gleichstromdurchflossenen Elektrode	308
5.2.2.7	Weitere Hinweise und Bemerkungen	309
5.3	Instationäre Methoden	313
5.3.1	Der potentiostatische Impuls	313

5.3.2	Der galvanostatische Impuls	316
5.3.3	Die galvanostatische Doppelimpulsmethode	317
5.4	Die Korrektur des iR -Abfalls	319
5.5	Elektrochemische Methoden zur Untersuchung von Elektrodenbelegungen	322
5.5.1	Allgemeines	322
5.5.2	Messung von Ladungsmengen	323
5.5.2.1	Grundlagen	323
5.5.2.2	Experimentelle Anordnungen	324
5.5.3	Kapazitive Bestimmungen	327
5.6	Spektroelektrochemie	328
5.6.1	Spektroelektrochemische Methoden – eine Übersicht	329
5.6.2	In situ-Infrarot-Spektroelektrochemie	331
5.6.2.1	Grundlagen	331
5.6.2.2	Spektroelektrochemische Zellen	333
5.6.2.3	Beispiele für Verfahrensvarianten und Ergebnisse	334
5.6.3	Elektronenspinresonanzspektroskopie	340
5.6.3.1	Grundlagen	340
5.6.3.2	Elektrochemische Elektronenspinresonanzspektroskopie	342
5.6.3.3	Zusätzliche Hinweise und Bemerkungen	344
5.7	Elektrochemische Massenspektroskopie	346
5.7.1	Grundlagen der Massenspektroskopie	346
5.7.2	Die Kopplung von elektrochemischem Experiment und Massenspektrometer	349
5.7.2.1	Ex situ-Verfahren	349
5.7.2.2	In-situ(on line)-Verfahren	352
5.8	Sonstige Methoden	355
5.8.1	Die Radiotracermethode	356
5.8.2	Die Mikrowaage	356
5.8.3	Dünnschichtzellen	357
5.8.4	Das Rastertunnelmikroskop	357
5.8.5	Atomic Force Microscope, Raster Kelvin Mikroskop, Scanning Electrochemical Microscope, Single Molecule Detection	360
6	Reaktionsmechanismen	365
6.1	Silberabscheidung aus cyanidhaltiger Lösung	366
6.2	Die Wasserstoffelektrode	368
6.2.1	Einfluß des adsorbierten Reaktanten auf die Strom-Spannungs-Kurve	370
6.2.2	Einfluß des pH-Wertes der Lösung und der Oberflächenbeschaffenheit	373
6.3	Die Sauerstoffelektrode	375

6.3.1	Untersuchung der kathodischen Sauerstoffreduktion mit der rotierenden Scheibe-Ring-Elektrode	378
6.3.2	pH-Abhängigkeit der Austauschstromdichte	380
6.3.3	Die anodische Sauerstoffentwicklung	382
6.4	Reaktionsmechanismen der elektroorganischen Chemie	383
6.4.1	Allgemeines	383
6.4.2	Klassifizierung der Elektrodenprozesse	384
6.4.3	Oxidationsprozesse: Potentiale, Zwischenprodukte, Endprodukte	387
6.4.4	Reduktionsprozesse: Potentiale, Zwischenprodukte, Endprodukte	389
6.4.5	Weitere Hinweise und Bemerkungen	391
6.5	Zur anodischen Oxidation von Methanol	394
6.5.1	Ein Überblick	394
6.5.2	Untersuchung von adsorbierten Zwischenprodukten und von Reaktionswegen	396
6.5.3	Einfluss von Elektrodenmaterial und Oberflächenstruktur auf die Geschwindigkeit der Methanol-Oxidation	398
7	Feste und schmelzflüssige Ionenleiter als Elektrolytsysteme	401
7.1	Ionenleitende Festkörpergitter	401
7.1.1	Leitfähigkeiten	402
7.1.2	Potentiale, Ströme, Untersuchungsmethoden	406
7.1.3	Zusätzliche Hinweise und Bemerkungen	408
7.2	Solid-Polymer-Elektrolyte	410
7.2.1	Leitfähigkeiten	411
7.2.2	Potentiale, Ströme, Untersuchungsmethoden	413
7.3	Ionenleitende Schmelzen	414
7.3.1	Leitfähigkeiten	414
7.3.2	Potentiale, Ströme, Untersuchungsmethoden	416
7.3.3	Abschliessende Hinweise und Bemerkungen	418
8	Produktionsverfahren	421
8.1	Grundlagen	421
8.1.1	Besonderheiten elektrochemischer Produktionsverfahren ...	421
8.1.2	Klassische Zellenbauformen und Raum-Zeit-Ausbeute	423
8.1.3	Formen der Elektrokatalyse	427
8.1.4	Die Aktivierungsüberspannung	428
8.2	Die elektrochemische Herstellung von Chlor und Alkalilauge	432
8.2.1	Elektrodenreaktionen bei der Elektrolyse in neutraler wässriger Natriumchloridlösung	432
8.2.2	Das Diaphragma-Verfahren	434
8.2.3	Das Amalgam-Verfahren	437
8.2.4	Das Membranverfahren	441
8.2.5	Zusätzliche Hinweise und Bemerkungen	443

8.3	Die elektrochemische Herstellung und Raffination von Metallen	449
8.3.1	Metallgewinnung aus wässriger Lösung	449
8.3.2	Metallraffination in wässrigen Lösungen	451
8.3.3	Schmelzflußelektrolysen	453
8.4	Sonstige Herstellungsverfahren im anorganischen Bereich	456
8.4.1	Hypochlorit, Chlorat und Perchlorat	456
8.4.2	Wasserstoffperoxid und Peroxodisulfate	458
8.4.3	Klassische Wasserelektrolyse	459
8.4.4	Moderne Wasserelektrolyse und Wasserstofftechnologie	461
8.5	Elektroorganische Synthesen	464
8.5.1	Besonderheiten, Verfahrensübersicht, Ausblick	464
8.5.2	Adipodinitril – der sogenannte Monsanto-Prozeß	465
8.6	Moderne Zellenbauformen	469
8.7	Künftige Möglichkeiten der Elektrokatalyse	475
9	Galvanische Elemente	481
9.1	Grundlagen	482
9.2	Eigenschaften, Komponenten und Kenndaten galvanischer Elemente	485
9.2.1	Funktion und Aufbau des Bleiakкумуляtors	485
9.2.2	Funktion und Aufbau eines Leclanché-Elements	488
9.2.3	Elektrolyt und Selbstentladung	490
9.2.4	Ruheklemmenspannung, spezifische Kapazität und Energiedichte	491
9.2.5	Strom-Spannungs-Charakteristik, Leistungsdichte und Leistungsdichte-Energiedichte-Diagramm	493
9.2.6	Entladekennlinie	495
9.2.7	Ladekennlinie, Stromausbeute, Energieausbeute, Zyklenzahl	496
9.2.8	Kosten pro kWh erzeugter elektrischer Energie und Kosten pro kW installierter Batterieleistung	498
9.3	Sekundärsysteme	499
9.3.1	Herkömmliche Akkumulatorensysteme (außer Bleiakkumulatoren)	499
9.3.1.1	Stahlakkumulatoren (Nickel-Cadmium und Nickel-Eisen)	499
9.3.1.2	Der gasdichte Nickel-Cadmium-Akkumulatoren	502
9.3.1.3	Der Leichtakkumulatoren (Silber-Zink)	504
9.3.2	Neue Entwicklungen	504
9.3.2.1	Entwicklungstendenzen bei herkömmlichen Systemen und bei Nickel-Metallhydrid- sowie Lithium-Ionen-Systemen	505
9.3.2.2	Experimentalakkumulatoren mit Zink als negativer Masse	512
9.3.2.3	Lösungsakkumulatoren	515

	9.3.2.4	Natrium-Schwefel- und Natrium-Nickelchlorid-Akkumulatoren	515
	9.3.2.5	Redoxspeicher	517
	9.3.2.6	Elektrochemische Superkondensatoren.....	518
	9.3.3	Auflistung von Elektroden- und Batteriekenndaten für Sekundärsysteme	520
9.4		Primärsysteme	525
	9.4.1	Die Alkali-Mangan-Zelle	525
	9.4.2	Das Zink-Quecksilberoxid-System	526
	9.4.3	Lithiumbatterien	527
	9.4.4	Auflistung von Elektroden- und Batteriekenndaten für Primärsysteme	528
9.5		Brennstoffzellen	532
	9.5.1	Brennstoffzellen für gasförmige Brennstoffe (Wasserstoff-Sauerstoff-Zellen)	533
	9.5.1.1	Klassische Gasdiffusionselektroden	533
	9.5.1.2	Die Apollo-Zelle	536
	9.5.1.3	Heutiger Stand	539
	9.5.1.4	Auflistung von Kenndaten von Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzellen	547
	9.5.2	Brennstoffzellen für flüssige Brennstoffe bzw. Betriebsstoffe	550
	9.5.3	Füllelemente	553
9.6		Luftsauerstoffatmende Primär- und Sekundärelemente	554
	9.6.1	Metall-Luft-Primärelemente	555
	9.6.2	Metall-Luft-Akkumulatoren	557
9.7		Wirkungsgrad galvanischer Elemente	558
10		Analytische Anwendungen	561
	10.1	Verfahren mit elektrochemischer Indikation	562
	10.1.1	Konduktometrische Titration	562
	10.1.2	Potentiometrische Titration	563
	10.1.3	Amperometrische Titration	565
	10.2	Elektrochemische Bestimmungsverfahren	569
	10.2.1	Polarographie und Voltametrie	570
	10.2.1.1	Das Prinzip der Gleichspannungspolarographie	570
	10.2.1.2	Zum Grenzstrom an der Quecksilberelektrode – die Ilcovic-Gleichung	574
	10.2.1.3	Verfahren an Tropfelektroden	575
	10.2.1.4	Verfahren an stationären Elektroden	580
	10.2.2	Weitere Verfahren (Coulometrie, Elektrogravimetrie, Chronopotentiometrie)	583
	10.3	Elektrochemische Sensoren	587
	10.3.1	Leitfähigkeits- und pH-Meßgeber	588
	10.3.2	Redoxelektroden	590

10.3.3	Ionensensitive Elektroden	591
10.3.4	Sensoren zur Gasspurenbestimmung	596
11	Elektrochemie in weiteren Fachgebieten	605
11.1	Stofftrennung	605
11.1.1	Abwasseraufbereitung	605
11.1.2	Elektrodialyse	607
11.1.3	Elektrophorese	608
11.1.4	Der Purex-Prozeß	608
11.2	Stoffbearbeitung und Oberflächentechnik	612
11.2.1	Herstellung von Metallpulvern	612
11.2.2	Electrochemical Machining und Elektropolieren	613
11.2.3	Galvanoplastik	615
11.2.4	Die Herstellung von Mikrostrukturen	616
11.2.5	Die Herstellung von Nanostrukturen	619
11.2.6	Smart windows	621
11.3	Korrosionsschutz	624
11.3.1	Galvanische Überzüge	624
11.3.2	Kathodischer Korrosionsschutz	626
11.3.3	Inhibition	627
11.3.4	Elektrophoretisches Lackieren	628
11.4	Transportwesen	630
11.4.1	Chancen der Elektrotraktion	630
11.4.2	Derzeitige Entwicklungstendenzen bei Elektrofahrzeugen ...	633
11.5	Behandlung elektrochemischer Fragen mit den Methoden der Thermodynamik irreversibler Prozesse	635
11.5.1	Prinzipien der Thermodynamik irreversibler Prozesse	635
11.5.2	Stofftransport durch Membranen	636
11.5.3	Entropieproduktion und Überspannung sowie abschließende Bemerkungen	641
	Verzeichnis häufig verwendeter Indizes und Symbole	645
	Register	649