

Inhalt

Vorwort	V
Hinweise zum Inhalt zur Einteilung und zur Benutzung des Handbuchs	1
1 Abwasser- und Abfallgesetzgebung in der Bundesrepublik Deutschland	3
1.1 Wasserhaushaltsgesetz und die daraus hervorgegangenen Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und Regelungen	3
1.1.1 Wasserhaushaltsgesetz	3
1.1.2 Verwaltungsvorschriften und Verordnungen zum Wasserhaushaltsgesetz	6
1.1.2.1 Abwasserherkunftsverordnung	6
1.1.2.2 Allgemeine Rahmenverwaltungsvorschrift und Anhang 40 ..	6
1.1.2.3 Regelungen für die Indirekteinleiter	8
1.1.2.4 Katalog wassergefährdender Stoffe	10
1.2 Waschmittelgesetz und daraus hervorgegangene Verordnungen	11
1.3 Abwasserabgabengesetz	11
1.4 Abfallgesetz und daraus hervorgegangene Verordnungen und Regelungen	12
1.4.1 Abfallgesetz	12
1.4.2 Verordnungen und Arbeitshilfen zum Abfallgesetz	13
1.4.2.1 Allgemeine Verordnungen und Arbeitshilfen – TA Abfall ..	13
1.4.2.2 Altölverordnung, Verwaltungsvorschrift Altölversorgung, Verordnung über die Entsorgung gebrauchter halogenerter Lösemittel	16
1.4.2.3 Klärschlammverordnung	17
Literatur zu Abschnitt 1	18
2 Abwasserinhaltsstoffe	20
2.1 Abwasserarten	20
2.2 Konzentrationen und Frachten	24
3 Abwasserbehandlung. Chemische und physikalische Möglichkeiten zur Entgiftung und Elimination von Schadstoffen	27
3.1 Theoretische Grundlagen der chemischen Reaktion	27
3.1.1 Reaktionsgeschwindigkeit	27
3.1.2 Reaktionsgleichgewicht	33
3.2 Cyanidentgiftung	35
3.2.1 Cyanidentgiftung mit Natriumhypochlorit	35
3.2.1.1 Oxidation des Cyanids zu Chlorcyan (Reaktion I)	36
3.2.1.2 Hydrolyse des Chorcyan zum Cyanat (Reaktion II)	37
3.2.1.3 Oxidation des Cyanats zu Kohlensäure und Stickstoff (Reaktion III)	39
3.2.1.4 Hydrolyse des Cyanats zu Ammoniak und Kohlensäure (Reaktion IV)	41
3.2.1.5 Betrachtungen zur Gesamtreaktion	42
3.2.1.6 Verhalten der Metallcyanidkomplexe	43
3.2.1.7 Problematik der Cyanidentgiftung mit Natriumhypochlorit ..	46

3.2.2	Cyanidoxidation mit Sauerstoff und Sauerstoffverbindungen	47
3.2.2.1	Cyanidentgiftung mit Wasserstoffperoxid	47
3.2.2.2	Cyanidentgiftung mit Peroximonoschwefelsäure	51
3.2.2.3	Cyanidentgiftung mit Sauerstoff	53
3.2.2.4	Cyanidentgiftung mit Ozon	54
3.2.2.5	Cyanidentgiftung durch anodische Oxidation	55
3.2.3	Cyanidentgiftung durch Fällung mit Eisen(II)-salzen	59
3.2.4	Cyanidentgiftung durch thermische Verfahren	60
3.3	Entgiftung 6wertiger Chromverbindungen	63
3.3.1	Chromatentgiftung mit Schwefeldioxid und Sulfiten	63
3.3.2	Chromatentgiftung mit Eisen(II)-verbindungen	67
3.3.3	Chromatentgiftung durch kathodische Reduktion	68
3.3.4	Chromatentgiftung durch Fällung schwerlöslicher Chromate	69
3.4	Nitritentgiftung	70
3.4.1	Nitritentgiftung durch Oxidation	70
3.4.2	Nitritentgiftung durch Reduktion	71
3.5	Oxidation anorganischer Reduktionsmittel	72
3.6	Neutralisation	74
3.6.1	pH-Wert	74
3.6.2	Neutralisationsreaktion	77
3.6.3	Neutralisationsmittel	80
3.7	Fällung der Metalle mit basischen Stoffen (Neutralisationsfällung)	84
3.7.1	Fällungsmittel und Fällungsprodukte	84
3.7.2	Fällungs-pH-Wert	86
3.7.3	Löslichkeitsprodukt	88
3.7.4	Abtrennung der Fällungsprodukte aus der wäßrigen Phase	91
3.7.4.1	Fällung	91
3.7.4.2	Flockung	93
3.7.4.3	Sedimentation	98
3.7.5	Neutralisationsfällung einzelner Metalle aus verdünnten Lösungen	101
3.7.5.1	Kupfer	101
3.7.5.1.1	Fällungs-pH-Wert	101
3.7.5.1.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	103
3.7.5.1.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	104
3.7.5.1.4	Sedimentation	105
3.7.5.2	Zink	107
3.7.5.2.1	Fällungs-pH-Wert	107
3.7.5.2.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	108
3.7.5.2.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	109
3.7.5.2.4	Sedimentation	111
3.7.5.3	Nickel	113
3.7.5.3.1	Fällungs-pH-Wert	113
3.7.5.3.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	114
3.7.5.3.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	115
3.7.5.3.4	Sedimentation	117
3.7.5.4	Cadmium	117
3.7.5.4.1	Fällungs-pH-Wert	117
3.7.5.4.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	119
3.7.5.4.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	120
3.7.5.4.4	Sedimentation	123

3.7.5.5	Blei	124
3.7.5.5.1	Fällungs-pH-Wert	124
3.7.5.5.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	124
3.7.5.5.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	125
3.7.5.5.4	Sedimentation	126
3.7.5.6	Eisen	127
3.7.5.6.1	Fällungs-pH-Wert	127
3.7.5.6.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	130
3.7.5.6.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	131
3.7.5.6.4	Sedimentation	132
3.7.5.7	Aluminium	134
3.7.5.7.1	Fällungs-pH-Wert	134
3.7.5.7.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	136
3.7.5.7.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	137
3.7.5.7.4	Sedimentation	139
3.7.5.8	Chrom	140
3.7.5.8.1	Fällungs-pH-Wert	140
3.7.5.8.2	Zusammensetzung der Fällungsprodukte	143
3.7.5.8.3	Löslichkeiten und Löslichkeitsprodukte	144
3.7.5.8.4	Sedimentation	145
3.7.5.9	Andere Metalle	147
3.7.5.10	Schlußbetrachtung zur Neutralisationsfällung einzelner Metalle aus verdünnten Lösungen	150
3.7.6	Gemeinsame Ausfällung mehrerer Metalle aus verdünnten Lösungen	155
3.7.7	Neutralisationsfällung der Metalle aus konzentrierten Lösungen	160
3.7.7.1	Einfluß der gesamtionalen Konzentration	160
3.7.7.1.1	Kupfer	161
3.7.7.1.2	Zink	161
3.7.7.1.3	Nickel	162
3.7.7.2	Einfluß des pH-Wertes	164
3.7.7.3	Sedimentation und Schlammvolumina	166
3.7.8	Fällungsregeln	169
3.8	Fällung der Metalle mit nichtbasischen Stoffen	170
3.8.1	Fällung der Metalle als Sulfide	170
3.8.1.1	Fällung mit Natriumsulfid	170
3.8.1.2	Fällung mit Organosulfiden	174
3.8.2	Fällung von Arsen und von einigen Metallen als Eisenverbindungen	175
3.8.2.1	Arsen	176
3.8.2.2	Molybdän	177
3.8.2.3	Vanadium	178
3.8.2.4	Wolfram	179
3.8.2.5	Fällung von Molybdän-Vanadium-Wolfram-Gemischen	180
3.9	Metallkomplexverbindungen und ihre Behandlung	181
3.9.1	Chemie der Metallkomplexverbindungen	181
3.9.2	Komplexbildner im Abwasser der metallverarbeitenden Industrie	186
3.9.3	Metallkomplexverbindungen	187
3.9.3.1	Metallkomplexverbindungen mit anorganischen Stoffen	187
3.9.3.1.1	Hydroxokomplexe	187
3.9.3.1.2	Cyanokomplexe	189

3.9.3.1.3	Amminkomplexe	190
3.9.3.1.4	Komplexe mit kondensierten Phosphaten	192
3.9.3.2	Metallkomplexverbindungen mit Aminen	194
3.9.3.2.1	Komplexe mit Triethanolamin (TEA)	194
3.9.3.2.2	Komplexe mit Ethylendiamin (EDA)	195
3.9.3.2.3	Komplexe mit NNN'N'-Tetrakis-(2-hydroxypropyl)-ethylendiamin (Quadrol)	196
3.9.3.3	Metallkomplexverbindungen mit Aminoessigsäuren	197
3.9.3.3.1	Komplexe mit Nitrilotriessigsäure (NTA)	197
3.9.3.3.2	Komplexe mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	199
3.9.3.4	Metallkomplexverbindungen mit Oxicarbonsäuren	201
3.9.3.4.1	Komplexe mit Weinsäure	201
3.9.3.4.2	Komplexe mit Citronensäure	203
3.9.3.4.3	Komplexe mit Gluconsäure	204
3.9.3.5	Metallkomplexverbindungen mit anderen organischen Substanzen	204
3.9.4	Einfluß von Komplexbildnern auf die Abwasserbehandlung	206
3.9.5	Möglichkeiten der Abwasserbehandlung	208
3.9.5.1	Fällung der Metalle	208
3.9.5.1.1	Hydroxidfällung	209
3.9.5.1.2	Sulfidische Fällungen	213
3.9.5.2	Reduktion des komplexgebundenen Metalls	217
3.9.5.3	Oxidation des Komplexbildners	219
3.9.5.4	Bindung von Metallkomplexen oder Komplexbildnern	226
3.10	Fällung anionischer Schadstoffe	228
3.10.1	Fällung des Fluorids	228
3.10.2	Fällung des Sulfats	229
3.10.3	Fällung des Phosphats	233
3.10.4	Elimination des Sulfids	235
3.11	Elimination nichtionischer Schadstoffe	236
3.11.1	Elimination von freiem Chlor	236
3.11.2	Elimination von Ammoniak	237
3.11.3	Elimination von chlorierten Kohlenwasserstoffen	240
3.11.4	Elimination von organischen CSB-Verursachern	244
3.12	Neutralsalze. Maßnahmen zur Verringerung ihrer Frachten	250
3.12.1	Definition	250
3.12.2	Anfall und Einleitung	251
3.12.3	Verminderung, Vermeidung, Elimination	253
3.13	Öl-, Fett- und emulsionhaltiges Abwasser	255
3.13.1	Herkunft	255
3.13.2	Abtrennung nicht emulgierter Öle und Fette	255
3.13.3	Physikalische und chemische Eigenschaften von Emulsionen	257
3.13.4	Emulsionsspaltung	260
3.13.4.1	Chemische Verfahren	260
3.13.4.2	Physikalische Verfahren	262
3.13.4.3	Thermische Verfahren	262
3.13.4.4	Mechanische Verfahren	263
	Literatur zu Abschnitt 3	264

4 Technik	275
4.1 Auswirkung der 5. Novelle des Wasserhaushaltsgesetzes auf die konventionelle Verfahrenstechnik	275
4.2 Durchlaufbehandlungsanlagen	276
4.2.1 Charakteristika	276
4.2.2 Abwassertrennung	278
4.2.3 Bauweise von Durchlaufbehandlungsanlagen zur Entgiftung und Neutralisationsfällung	282
4.2.3.1 Reaktor	282
4.2.3.2 Mischer	283
4.2.3.3 Meß- und Regeleinrichtungen	283
4.2.3.4 Dosierglieder	287
4.2.3.5 Chemikalienbehälter	287
4.2.3.6 Konzentratspeicher	291
4.2.4 Arbeitsweise von Durchlaufbehandlungsanlagen zur Entgiftung und Neutralisationsfällung	292
4.2.4.1 Cyanidentgiftungsanlage	292
4.2.4.2 Chromatentgiftungsanlage	293
4.2.4.3 Nitritentgiftungsanlage	294
4.2.4.4 Anlage zur Neutralisationsfällung	294
4.2.4.5 Sonderkonstruktionen zur Durchlaufbehandlung	296
4.2.5 Sedimentationsanlagen zur Feststoffabtrennung	299
4.2.5.1 Grundlagen	299
4.2.5.2 Schlammabscheidungsbecken	301
4.2.5.3 Lamellenabscheider	305
4.2.6 Sicherheitseinrichtungen, Endkontrollen. – Die Durchlaufanlage nach dem Stand der Technik	309
4.3 Chargenbehandlungsanlagen	311
4.3.1 Charakteristika	311
4.3.2 Abwassertrennung	312
4.3.3 Bauweise von Chargenbehandlungsanlagen	314
4.3.3.1 Reaktor	317
4.3.3.2 Mischer	317
4.3.3.3 Meß- und Regeleinrichtungen	318
4.3.3.4 Dosierglieder	319
4.3.3.5 Chemikalienbehälter und Konzentratspeicher	319
4.3.4 Arbeitsweise von Chargenbehandlungsanlagen zur Entgiftung und Neutralisationsfällung	320
4.3.5 Sedimentation und Feststoffabtrennung	321
4.3.6 Sicherheitseinrichtungen, Endkontrollen	322
4.4 Nachbehandlung durch Schlußfiltration und selektiv arbeitende Ionenaustauscher	323
4.4.1 Schlußfiltration	323
4.4.2 Selektiv arbeitende Ionenaustauscher zur Nachbehandlung	325
4.5 Feststoffabtrennung durch Filtration, Schlammwässerung	326
4.5.1 Filtersysteme mit Einsatzmöglichkeiten in der metallverarbeitenden Industrie	326
4.5.1.1 Kammerfilterpresse	327
4.5.1.2 Papier- und Vliesbandfilter	331
4.5.2 Deponie und Weiterverarbeitung von Schlämmen	334

4.5.2.1	Zusammensetzung der Schlämme	334
4.5.2.2	Verhalten der Schlämme auf der Deponie	336
4.5.2.3	Aufarbeitung von Deponieschlammern	338
Literatur zu Abschnitt 4		340
5	Ionenaustauschverfahren	345
5.1	Einsatzmöglichkeiten in der metallverarbeitenden Industrie	345
5.2	Ionenaustauschharze	345
5.2.1	Definition	345
5.2.2	Physikalische Eigenschaften	347
5.2.3	Austauschreaktion	349
5.2.3.1	Reaktionsgleichgewicht	349
5.2.3.2	Reaktionsgeschwindigkeit	352
5.2.3.3	Eigenschaften der gebräuchlichen Harze	353
5.2.3.3.1	Starksaure Kationenaustauscher	353
5.2.3.3.2	Schwachsaure Kationenaustauscher	355
5.2.3.3.3	Schwachbasische Anionenaustauscher	357
5.2.3.3.4	Starkbasische Anionenaustauscher	358
5.2.4	Reaktionstechnik beim Einsatz von Ionenaustauschern	359
5.2.5	Verwendung der einzelnen Ionenaustauscherarten	361
5.3	Spülwasserkreislauf	362
5.3.1	Bedingungen für den Einsatz und Prinzip des Verfahrens	362
5.3.2	Chemische und physikalische Vorgänge	364
5.3.2.1	Rohwasser, Rohwasserfiltration	364
5.3.2.2	Kationenaustausch	365
5.3.2.3	Anionenaustausch	367
5.3.2.4	Reinwasser	369
5.3.2.5	Verbesserung der Reinwasserqualität durch zusätzliche Maßnahmen	371
5.3.2.6	Verhalten der Ionenaustauscher gegenüber nichtionogenen Tensiden	373
5.3.2.7	Einflüsse und Stoffe, durch die Harze geschädigt bzw. in ihrer Arbeitsweise beeinträchtigt werden	377
5.3.2.8	Regeneration der Ionenaustauscher	380
5.3.2.8.1	Normalregeneration	380
5.3.2.8.2	Spezialregeneration	384
5.3.2.8.3	Behandlung bei Algenbefall	386
5.3.3	Verfahrenstechnik des Spülwasserkreislaufs	386
5.3.3.1	Prinzipieller Aufbau von Kreislaufanlagen	386
5.3.3.1.1	Rohwasserspeicher und Rohwasserpumpen	387
5.3.3.1.2	Filter und Austauscherkolonnen	388
5.3.3.1.3	Regeneriereinrichtungen	393
5.3.3.2	Technische Varianten	394
5.3.3.2.1	Schaltungsmöglichkeiten der Kolonnen	394
5.3.3.2.2	Beaufschlagungsmöglichkeiten der Kolonnen	398
5.3.3.2.3	Möglichkeiten der Regeneriermittelaufbereitung ..	400
5.3.3.2.4	Kontinuierlich arbeitende Anlagen und Sonder- konstruktionen	401
5.3.4	Ökologische Bedeutung des Spülwasserkreislaufs	404
Literatur zu Abschnitt 5		405

6 Spültechnik	409
6.1 Der Begriff Spülen	409
6.2 Verschleppungen und ihre Verminderung	410
6.3 Spülsysteme	413
6.3.1 Einfachfließspülung	413
6.3.2 Kaskadenspülung	415
6.3.2.1 Kaskadenspülung mit großem Volumenstrom	415
6.3.2.2 Kaskadenspülung mit geringem Volumenstrom	422
6.3.3 Spritzspülung	426
6.3.4 Standspülung	428
6.3.5 Chemische Spülung	429
6.4 Wassersparende Spülsysteme. Voraussetzung für Recycling	432
Literatur zu Abschnitt 6	435
7 Recyclingverfahren	437
7.1 Definition	437
7.2 Ionenaustauschverfahren	438
7.2.1 Rückgewinnung von Stoffen aus Spülwasser	438
7.2.1.1 Edelmetalle	438
7.2.1.2 Buntmetalle	441
7.2.1.3 Chromsäure	443
7.2.2 Regeneration saurer Prozeßlösungen	445
7.2.2.1 Regeneration durch Ionenaustausch	445
7.2.2.2 Regeneration durch Retardationeffekt	452
7.3 Flüssig-flüssig-Extraktion	458
7.4 Fällungs- und Kristallisationsverfahren	466
7.4.1 Fällungsverfahren	467
7.4.2 Kristallisationsverfahren	470
7.5 Membranfiltration	475
7.5.1 Theorie	475
7.5.2 Membranen und Moduln zur Membranfiltration	481
7.5.3 Umgekehrte Osmose	483
7.5.4 Ultrafiltration	485
7.5.4.1 Regeneration von alkalischen Reinigungslösungen	486
7.5.4.2 Regeneration von Elektrotauchlackierbädern	488
7.6 Elektrolytische Verfahren	491
7.6.1 Theorie	491
7.6.2 Elektrolyse	503
7.6.2.1 Elektroden	503
7.6.2.2 Kathodische Abscheidung	504
7.6.2.2.1 Edelmetalle	504
7.6.2.2.2 Buntmetalle	510
7.6.2.3 Anodische Oxidation	520
7.6.3 Elektrodialyse	523
7.6.3.1 Konzentrierungsprozesse	524
7.6.3.2 Prozesse zur Eliminierung bzw. zur Konzentrierung bestimmter Stoffe	528
7.6.4 Dialyse	532
7.7 Adsorption	533

7.7.1	Theorie	533
7.7.2	Adsorptionsmittel und ihr Einsatz	535
7.7.3	Heterogene Katalyse	538
7.8	Thermische Verfahren	539
7.8.1	Thermische Zersetzung	539
7.8.2	Elimination von Wasser	542
7.8.2.1	Verdampfen	542
7.8.2.1.1	Theorie	543
7.8.2.1.2	Verdampfen von Wasser zur Rückgewinnung von Prozeßblösungen aus Spülwasser	546
7.8.2.2	Verdunsten	552
7.8.2.2.1	Theorie	552
7.8.2.2.2	Verdunsten von Wasser zur Rückgewinnung von Prozeßblösungen aus Spülwasser	555
	Literatur zu Abschnitt 7	562
8	Spezielle Verfahrenstechniken einzelner Fertigungsbereiche	572
8.1	Mechanische Bearbeitung	573
8.1.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	573
8.1.2	Behandlung von Kühlschmiermitteln und alkalischen Reinigungsbädern	575
8.1.3	Behandlung von Gleitschleifabwasser	582
8.2	Wärmebehandlung	586
8.2.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	586
8.2.2	Abwasserbehandlung	587
8.2.3	Vermeidungsmöglichkeiten und Recyclingverfahren	588
8.3	Beizezeiten und oberflächenabtragende Fertigungen	590
8.3.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	590
8.3.2	Abwasserbehandlung	591
8.3.3	Recyclingverfahren	593
8.4	Feuerverzinken	596
8.4.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	596
8.4.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	597
8.5	Emaillieren	598
8.5.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	599
8.5.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	600
8.6	Lackieren einschl. Vorbehandlung	602
8.6.1	Vorbehandlung	602
8.6.1.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	602
8.6.1.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	604
8.6.2	Lackieren und Entlacken	607
8.6.2.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	607
8.6.2.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	609
8.7	Anodisieren von Aluminium	613
8.7.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	613
8.7.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	616
8.8	Galvanisieren	619
8.8.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	620
8.8.2	Spezielle Verfahren der Galvanotechnik und ihre Abwässer	623

8.8.2.1	Cadmieren	623
8.8.2.2	Außenstromloses Vernickeln	626
8.8.2.2.1	Abwasserinhaltsstoffe	626
8.8.2.2.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	627
8.8.2.3	Brünieren und Färben von Metalloberflächen	630
8.8.2.4	Entmetallisieren	632
8.8.2.5	Abwasser aus Abgaswäschen	633
8.9	Leiterplattenfertigung	636
8.9.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	636
8.9.2	Abwassertrennung und produktionsspezifische Spülverfahren	640
8.9.3	Abwasserbehandlung	645
8.9.4	Recyclingverfahren	650
8.9.4.1	Vorbehandlung, chemisches Verkupfern, Galvanisieren	651
8.9.4.2	Ätzen	654
8.10	Batterieherstellung	665
8.10.1	Fertigung von Bleiakкумуляtoren	666
8.10.1.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	666
8.10.1.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	667
8.10.2	Fertigung von Nickel-Cadmium-Akkumulatoren	668
8.10.2.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	668
8.10.2.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	669
8.10.3	Fertigung von Primärzellen	671
8.10.3.1	Abwasseranfall und Abwasserinhaltsstoffe	671
8.10.3.2	Abwasserbehandlung und Recyclingverfahren	673
	Literatur zu Abschnitt 8	674
	Stichwortverzeichnis	681