

Inhaltsverzeichnis

1.	Zeichenerklärung und Maßeinheiten	
1.1.	Mathematische Zeichen nach DIN 1302	17
1.2.	Zeichen in Reaktionsgleichungen	17
1.3.	Internationales Einheitensystem	18
1.4.	Begriffe und Einheiten	18
1.4.1.	SI-Basiseinheiten	21
1.4.2.	Abgeleitete SI-Einheiten	21
1.4.3.	Mit international anerkannten Vorsätzen gebildete Einheiten	23
1.4.4.	Zusätzlich zu den SI-Einheiten gesetzlich zugelassene Einheiten	23
1.4.5.	Einheiten und Größen in der Wasseranalytik	25
1.4.6.	Bisherige und neue Einheiten.	25
1.5.	Mol, molare Masse, Äquivalent	25
1.6.	Buchstabenerklärung	26
1.7.	Einheiten nach DIN 1301 und 1304 (Auszug)	27
2.	Grundbegriffe der Wasserchemie	
2.1.	Allgemeines	28
2.2.	Summe Erdalkalien und Salzgehalt des Rohwassers	29
2.3.	Chemische Äquivalente und Lösungen	32
2.4.	Elektrolytische Dissoziation	34
2.5.	Wasserstoffionenkonzentration	35
2.5.1.	pH-Wert	35
2.5.2.	pH-Wert reinen Wassers in Abhängigkeit von der Temperatur	38
2.6.	Säuren, Basen, Salze, Alkalität	39
2.7.	Alkalität und Acidität des Wassers.	40
2.7.1.	Säurekapazität bis pH = 8,2 und bis pH = 4,3	40
2.7.2.	Basekapazität bis pH = 8,2 und bis pH = 4,3	42
2.8.	Alkalität des Kesselwassers	43
2.9.	Kesselwasser-Salzgehalt und -Absalzung	43
2.9.1.	Verlauf der Salzanreicherung im Kesselwasser	46
2.9.2.	Eindickungszahl EZ	47
3.	Das Verhalten des Wassers und seiner Beimengungen im Kraftwerksbetrieb	
3.1.	Die Kieselsäure	48
3.2.	Die Kohlensäure	50

3.2.1.	Die Kohlensäure in natürlichen Wässern	50
3.2.2.	Die Kohlensäure im Kraftwerks-Kreislauf	51
3.3.	Kupfer im Speise- und Kesselwasser. Verhalten in der Grenzschicht	52
3.3.1.	Kupfer im Kraftwerksbetrieb	52
3.3.2.	Kupferverhalten in der Grenzschicht	52
3.4.	Der Salztransport aus der Kernströmung zur Rohr- wand	53

4. Verfahrenstechnik der Aufbereitung

4.1.	Mechanische Verfahren	55
4.1.1.	Kiesfilter, geschlossen	55
4.1.2.	Kiesfilter, offen	56
4.2.	Chemische und physikalische Verfahren	56
4.2.1.	CO ₂ -Entsäuerung	56
4.2.2.	Enteisung	61
4.2.3.	Entmanganung	63
4.2.4.	Entölung	65
4.2.5.	Anschwemmfiltration	66
4.2.6.	Wellplattenabscheider	70
4.2.7.	Magnet-Filter	73
4.2.8.	Entkarbonisierung mit Kalkhydrat	80
4.2.8.1.	Allgemeines	80
4.2.8.2.	Wigran-Entkarbonisierung	82
4.2.8.3.	Langzeit-Entkarbonisierung	84
4.2.8.4.	Enthärtung nach dem Fällungsverfahren	85
4.2.9.	Heißentkieselung	85
4.2.10.	Flockung	88
4.2.11.	Flockungshilfsmittel	92
4.2.12.	Entkeimung	93
4.3.	Ionenaustauscher	95
4.3.1.	Allgemeines	95
4.3.2.	Kenndaten für Austauscher	96
4.3.3.	Kenndaten für Austauscheranlagen	97
4.3.4.	Der stark saure Kationenaustauscher	98
4.3.4.1.	Der Kationenaustauscher als Natriumaustauscher	98
4.3.4.2.	Der Kationenaustauscher als Wasserstoffaustauscher	104
4.3.5.	Der stark saure Kationenaustauscher in der Teilstrom- schaltung	107
4.3.6.	Der schwach saure Kationenaustauscher	110

4.3.6.1.	Entkarbonisierung und Enthärtung im Zweifilterverfahren	113
4.3.6.2.	Entkarbonisierung und Enthärtung im Einfilterverfahren	114
4.3.7.	Der schwach basische Anionenaustauscher	114
4.3.8.	Der stark basische Anionenaustauscher	116
4.3.9.	Schaltungen von Kationen- und Anionenaustauscherguppen	118
4.3.9.1.	Schwach und stark saure Kationenaustauscher	118
4.3.9.2.	Schwach und stark basische Anionenaustauscher	119
4.3.9.3.	Hintereinanderschaltung von zwei stark sauren Kationenaustauschern	120
4.3.9.4.	Verbundregenerationen bei Kationen- und Anionenaustauschern	121
4.3.10.	Gegenstrom-Regeneration	125
4.3.10.1.	Schichtbettfilter	129
4.3.11.	Der CO ₂ -Rieseler	131
4.3.12.	Der Mischbetaustauscher	132
4.3.13.	Die Vollentsalzung	134
4.3.13.1.	Der Natriumschlupf	138
4.3.13.2.	Überwachung und Regeneration	140
4.3.13.3.	Neutralisierung der Filterabläufe	141
4.3.14.	Automatisch geregelte Vollentsalzungsanlagen	141
4.3.15.	Kurztaktverfahren	143
4.3.16.	Kondensataufbereitung	145
4.3.16.1.	Betriebskondensate	145
4.3.16.2.	Heizungs- und Fernheizungskondensate	145
4.3.16.3.	Turbinenkondensate	146
4.3.16.4.	Kondensatentsalzung für Zwangdurchlauf-Dampfzeuger	147
4.3.17.	Reinigung ölverschmutzter Ionenaustauscher	147
4.4.	Verdampfer, Dampfumformer, Wasserbadumformer	151
4.4.1.	Verdampfer	151
4.4.2.	Dampfumformer	152
4.4.3.	Wasserbadumformer	153
4.5.	Entgasung	154
4.5.1.	Thermische Entgasung	154
4.5.1.1.	Physikalische Grundlagen	154
4.5.1.2.	Entgasungszielsetzung	157
4.5.1.3.	Technologie der Entgasung	157
4.5.2.	Chemische Entgasung	161
4.6.	Korrekturbehandlung von Speise- und Kesselwässern	162

4.7.	Kühlwasseraufbereitung	163
4.8.	Betriebsüberwachung	167
4.9.	Umkehrosmose	168
4.9.1.	Verfahrensprinzip	168
4.9.2.	Technische Anwendung.	169
4.9.3.	Anforderungen an das zu entsalzende Wasser	172
4.9.4.	Aufbau einer Umkehr-Osmose-Anlage	173
4.9.5.	Konditionierung	174
4.9.6.	Nachbehandlung	174
5.	Richtwerte für die Betriebswasser	
5.1.	VdTÜV-Richtlinien für Speise- und Kesselwasserbeschaffenheit bei Dampferzeugern bis 64 bar zulässigem Betriebsdruck (Ausgabe April (1983)	176
5.1.1.	Geltungsbereich	176
5.1.2.	Richtwerte für die Speise- und Kesselwasserbeschaffenheit	176
5.1.3.	Dampfreinheit.	178
5.1.4.	Einspritzwasser	180
5.2.	VGB-Richtlinien für das Speise- und Kesselwasser von Wasserrohrkesseln ab 64 bar Betriebsüberdruck	180
5.2.1.	Allgemeines	180
5.2.2.	Richtwerte für die Speise- und Kesselwasserbeschaffenheit	180
5.3.	VGB-Richtlinien für das Wasser in Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren	185
6.	Betriebsanalyse	
6.1.	Allgemeines	187
6.2.	Probennahme	187
6.3.	Bestimmung des pH-Wertes	188
6.4.	Leitfähigkeitsmessung	189
6.4.1.	Bestimmung der Dichte des Wassers	191
6.5.	Säureverbrauch und Laugenverbrauch des Wassers	191
6.5.1.	Säureverbrauch des Wassers	191
6.5.2.	Laugenverbrauch des Wassers	192
6.6.	Aggressive Kohlensäure	193
6.7.	Bestimmung der Schwebstoffmenge nach der Kalk-entkarbonisierung	194
6.8.	Bestimmung der Erdalkalien	195

6.8.1.	Bestimmung der Summe der Erdalkalien mit AeDTA-Lösung Komplexon	195
6.8.2.	Bestimmung der Calcium- und Magnesiumionen	196
6.8.3.	Umrechnungsfaktoren für verschiedene Erdalkalienstärke und Einheiten	197
6.9.	Photometrische Bestimmung der Kieselsäure	197
6.10.	Bestimmung der Phosphate	198
6.10.1	Photometrische Bestimmung des Phosphations	198
6.10.2	Kolorimetrische Bestimmung des Phosphations	199
6.10.3	Bestimmung des Gesamtphosphates und der polymeren Phosphate	199
6.11.	Bestimmung des Sulfat-Ions	200
6.11.1	SO ₄ -Bestimmung über die Basekapazität BK 4,3	200
6.11.2.	Gewichtsanalytische SO ₄ -Bestimmung	200
6.11.3.	SO ₄ -Bestimmung mit AeDTA-Lösung	201
6.12.	Chloridbestimmung	202
6.12.1.	Chloridbestimmung nach Mohr	202
6.12.2.	Freies Chlor	203
6.13.	Bestimmung des Ammoniums-Ions	203
6.13.1.	Photometrische Bestimmung des Ammonium-Ions	204
6.13.2.	Kolorimetrische Bestimmung des Ammonium-Ions	204
6.14.	Hydrazinbestimmung	204
6.15.	Sauerstoffbestimmung	205
7.15.1.	Sauerstoffbestimmung, Probenahme	205
6.15.2.	Sauerstoffbestimmung nach der Cer-Schwefelsäure-o-Tolidinmethode (Kol. Verfahren)	206
6.15.3.	Sauerstoffbestimmung nach der Cer-Schwefelsäure-o-Tolidinmethode (Phot. Verfahren)	208
6.15.4.	Jodometrisches Verfahren zur Sauerstoffbestimmung	209
6.16.	Kupferbestimmung	211
6.16.1.	Kolorimetrische Methode	211
6.16.2.	Photometrische Methode	212
6.17.	Eisenbestimmung	212
6.17.1.	Gesamteisenbestimmung nach der Sulfosalicylsäuremethode	212
6.17.2.	Gesamteisenbestimmung mit Thioglykolsäure	213
6.17.3.	Bestimmung ungelöster Eisenoxide nach der Membranfiltermethode	214
6.18.	Manganbestimmung	214
6.19.	Bestimmung der organischen Substanz	215
6.19.1.	Bestimmung des KMnO ₄ -Verbrauchs in saurer Lösung	215

6.19.2.	Bestimmung des KMnO_4 -Verbrauchs in alkalischer Lösung	215
6.20.	Zuckernachweis	216
6.21.	Ölbestimmung	217
6.21.1.	Qualitative Ölbestimmung (Öl-Test)	217
6.21.2.	Gewichtsanalytische Ölbestimmung	217
6.21.3.	Photometrische Ölbestimmung	218
6.22.	Bestimmung der Natrium- und Kalium-Ionen	218
6.23.	Verblockungs-Index	218
6.24.	Trübungsbewertung in Jackson-Einheiten	220
6.25.	Schnellbestimmung von Austauschermaterialien	220
6.26.	Bestimmung der Kapazität von Austauschermaterialien	221
6.27.	Beladung des Materials und Errechnung der NK	222
7.	Untersuchung der in der Wasseraufbereitung angewandten Chemikalien	
7.1.	Salzsäure (DIN 19610)	226
7.2.	Schwefelsäure (DIN 19618)	226
7.3.	Natronlauge (DIN 19616)	227
7.4.	Ammoniak	228
7.5.	Hydrazinhydrat	229
7.6.	Weißkalkhydrat (DIN 19611)	229
7.7.	Gebannter Dolomit	230
7.8.	Magnesit	230
7.9.	Eisenchlorid (DIN 19602)	231
7.10.	Aluminiumsulfat (DIN 19600)	231
7.11.	Natriumaluminat (DIN 19601)	232
7.12.	Kochsalz (DIN 19604)	232
7.13.	Soda (DIN 19612)	233
7.14.	Trinatriumphosphat (DIN 19620)	234
7.15.	Natriumtripolyphosphat	235
7.16.	Chemikalien für die Trinkwasseraufbereitung	235
8.	Korrosion und Korrosionsschutz in Dampfkraftanlagen	
8.1.	Definition und Bedeutung der Korrosion für den Dampfkesselbetrieb	236
8.2.	Trockene Korrosion	237
8.2.1.	Das Chaudron-Diagramm und die heterogene Schichtenfolge der Eisenoxide	237
8.2.2.	Zeitabhängigkeit der Oxydation	239

8.3.	Nasse (elektrochemische) Korrosion	239
8.3.1.	Die homogene Metallelektrode. Anode und Kathode. Ruhepotential. Potential-Strom-Diagramm	239
8.3.2.	Die Wasserstoff- und Sauerstoffelektrode	241
8.3.3.	Die homogene Metall-Wasserstoffelektrode und die homogene Metall-Sauerstoffelektrode	243
8.3.4.	Die heterogene Metallelektrode	246
8.3.5.	Die homogene Metallelektrode bei unterschiedlicher Belüftung	247
8.4.	Korrosion im Kesselbetrieb	247
8.4.1.	Sauerstoffkorrosion	247
8.4.2.	Kohlensäurekorrosion	248
8.4.3.	Spaltkorrosion	249
8.4.4.	Heißwasseroxydation	249
8.5.	Erosion und Kavitation	250
8.5.1.	Erosion	250
8.5.2.	Kavitation	250

9. Das Wasser in Kernenergieanlagen

9.1.	Endaktivierung und -konditionierung von Primärkreis- läufen	252
9.2.	Sekundärwasser im Druckwasserreaktor	253
9.3.	Entaktivierung von Schwerwasserkreisläufen	253
9.4.	Abwasser-Dekontaminierung in Kernkraftwerken	254
9.4.1.	Einleitung	254
9.4.1.1.	Anforderungen an dekontaminiertes Abwasser	254
9.4.1.2.	Dekontaminierungsanlage, Aufgabe und Aufbau	256
9.4.2.	Dekontaminierungsverfahren	259
9.4.2.1.	Fällung und Flockung	259
9.4.2.2.	Mechanische Filtration	260
9.4.2.3.	Eindampfanlage	261
9.4.2.4.	Ionen-Austauscher	262
9.4.3.	Verfestigung radioaktiver Rückstände aus der Ab- wasserdekontamination	263

10. Reinigung und Beizung von Dampferzeuger- anlagen

10.1.	Das Auskochen des Dampferzeugers mit alkalischen Lösungen	264
-------	--	-----

10.1.1.	Alkalische Reinigung nach der Atmungsmethode . . .	264
10.1.2.	Alkalisches Auskochen mit Trinatriumphosphat . . .	265
10.2.	Beizung der Dampferzeugeranlage	266
11.	Konservierung von Dampferzeugeranlagen	
11.1.	Naßkonservierung	268
11.1.1.	Konservieren durch Erhöhung der Alkalität	268
11.1.2.	Konservieren mit Levoxin 15 und Ammoniak	269
11.2.	Druckprobe und Konservierung von neuen Dampf- erzeugeranlagen	269
11.2.1.	Konservierung	270
11.2.2.	Konservierung mit Levoxin und Ammoniak	270
11.3.	Wasserdruckprobe mit Rohwasser	271
11.4.	Umweltschutzmaßnahmen beim Ablassen von Konservierungswasser	271
11.5.	Trockenkonservierung	272
11.5.1.	Trocknung der Anlage	272
11.5.2.	Konservierung mit Hilfe fester Adsorptionsmittel	272
11.5.3.	Konservierung mit Stickstoff	273
11.5.4.	Konservierung mit Trockenluft	273
11.5.5.	Konservierung mit Heißluft	274
11.6.	Konservierung der Feuerzüge des Dampferzeugers	274
12.	Tabellen und graphische Darstellungen	
12.1.	CaO- und Ca (OH) ₂ -Gehalt und Dichte von Kalkmilch	275
12.2.	Kalkhydratmenge bei Wigranentkarbonisierung in Ab- hängigkeit von der KH und der zugehörigen CO ₂ ohne Berücksichtigung der aggressiven CO ₂	276
12.3.	Zusammenhang zwischen Hydrogenkarbonatkohlen- säure, freier zugehöriger Kohlensäure und dem pH- Wert der entsprechenden Gleichgewichtswässer	277
12.4.	Löslichkeit verschiedener Verbindungen	278
12.5.	Umrechnungsfaktor für Dichte, SK 8,2 etc. für Kessel- wasserproben, ohne Kühler entnommen	279
12.6.	Umwandlung ° Bé ↔ g/cm ³ Meßtemperatur 20 °C	280
12.7.	Wasser- und Brüdenanteil sowie Volumen der Brüden bei der Entspannung von Kesselwasser auf den Ent- spannungsdruck	280

12.8.	Natriumkarbonatspaltung (Sodaspaltung) im Kessel in Abhängigkeit vom Betriebsdruck	281
12.9.	Leistungsberechnung von Ionenaustauschern	282
12.10.	Filterwiderstand von Kiesfiltern in Abhängigkeit der Korngröße und Filtergeschwindigkeit.	284
12.11.	Ausdehnung der Austauscherschichthöhe bei verschiedener Temperatur des Spülwassers	285
12.12.	Spülwassermessung mit rechteckigem Überlaufwehr	286
12.13.	Prozentgehalt und Dichte von Natriumhydroxid- und Ammoniaklösungen bei 20 °C.	287
12.14.	Prozentgehalt und Dichte von Natriumkarbonat- und Natriumchloridlösungen bei 20 °C.	288
12.15.	Prozentgehalt und Dichte von Salz- und Schwefelsäure bei 20 °C	289
12.16.	Fertig-Salzsolen verschiedener Konzentration aus festem Kochsalz	290
12.17.	Fertig-Salzsolen verschiedener Konzentration aus gesättigter Salzsole	291
12.18.	Verdünnungskurven für Natronlauge	292
12.19.	Auskristallisation der Natronlauge in Abhängigkeit von der Konzentration und Temperatur.	293
12.20.	Erstarrungstemperaturen von Schwefelsäure	293
12.21.	Erstarrungstemperaturen von Salzsäure	294
12.22.	Verdünnungskurve für Salzsäure	295
12.23.	Verdünnungskurve für Schwefelsäure	296
12.24.	Temperaturerhöhung bei Verdünnung von Säuren und Laugen (Wasser = 20 °C)	297
12.25.	pH-Wert Erhöhung von reinem Wasser durch flüchtige Alkalisierungsmittel bei 25 °C	298
12.26.	pH-Wert-Erhöhung von reinem Wasser durch Alkalisalze bei 25 °C	299
12.27.	pH-Änderung reinen Wassers durch Kohlensäure	300
12.28.	Geschwindigkeit der Sauerstoffbindung mit Hydrazin und Levoxin	301
12.29.	Hydrazinbedarf bei Kesselanlagen ohne Entgaser	302
12.30.	Löslichkeit von O ₂ und N ₂ der Luft bei 1bar in reinem Wasser	303
12.31.	Leitfähigkeit gelöster Gase.	304
12.32.	Spezifische Leitfähigkeit von Lösungen	305

12.33.	Umrechnungsdiagramm von spez. Leitfähigkeit in elektr. Widerstand	306
12.34.	Schüttgewichte verschiedener Stoffe	306
12.35.	Flüssigkeitsmessung mit der Meßblende (DIN 1952)	307
12.36.	Thermische Mischungsformeln	310
12.37.	Atommassen und Ordnungszahlen der Elemente . .	311
12.38.	Molare Massen der wichtigsten Verbindungen . . .	315
12.39.	Wasserdampf-, Druck- und Enthalpie-Tafel für Drücke von 0,05 bis 6,00 bar	317
12.40.	Wasserdampf-, Druck- und Enthalpie-Tafel für Drücke von 1 bis 40 bar.	318
12.41.	Wasserdampf-, Druck- und Enthalpie-Tafel für Drücke von 42 bis 221,2 bar	319
12.42.1.	Umrechnungstabelle von englischen und amerikanischen Maßen in metrische Maße	320
12.42.2.	Umrechnungstabelle von metrischen Maßen in englische und amerikanische Maße	322
12.43.	Einheitenbeziehungen zwischen den Zeiteinheiten . .	324
12.44.	Einheitenbeziehungen zwischen den Leistungseinheiten	324
12.45.	Einheitenbeziehungen zwischen den Druckeinheiten .	325
12.46.	Einheitenbeziehungen zwischen den Energieeinheiten	325
12.47.	pH-Änderung des Puffers bei Temperaturänderung .	326
12.48.	Umrechnungsfaktoren für verschiedene Härtegrade und Einheiten	326
12.49.	Griechisches Alphabet (DIN 1453)	327
13.	Schrifttum	328
14.	Stichwortverzeichnis	330