

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

	Verfahren und Systeme der Wasserrückführung	1
1.1	Überblick	1
1.2	Einteilung der Kühlsysteme nach dem Kühlverfahren	1
1.2.1	Durchlaufkühlung	3
	a) Grundwasser (Brunnenwasser)	4
	b) Oberflächenwasser mit Süßwasserqualität	4
	c) Brackwasser (Flußmündungswasser)	7
	d) Meerwasser	12
1.2.2	Ablaufkühlung	17
1.2.3	Kreislauf-Naßkühlung	18
1.2.4	Kreislauf-Trockenkühlung	28
1.2.5	Kreislauf-Hybridkühlung	30
	a) Geschlossene Kühltürme	31
	b) Kombinierte Naß-/Trockenkühltürme	32
1.3	Einteilung der Kühlsysteme nach industrieller Anwendung	33
1.3.1	Kraftwerke	34
	a) Dampfturbinenkondensatoren	38
	b) Turbogeneratoren	39
	c) Besonderheiten in Kernkraftwerken	42
1.3.2	Chemische Industrie	42
	a) Wärmeaustauscher: Werkstoffe und Konstruktion	43
	b) Kühlwasserverschmutzung	44
1.3.3	Stahlwerke	45
	a) Hochofenwerke (Gruppe 1.3.3)	45
	b) Walzwerke (Gruppe 1.3.4)	47

Kapitel 2

	Kühlwasserbedingte Probleme und Störmöglichkeiten	49
2.1	Vorbemerkungen	49
2.2	Korrosion	50
2.2.1	Korrosion metallischer Werkstoffe	50
	a) Angriff auf metallische Werkstoffe bei Kühlung mit Brackwasser	55
	b) Angriff auf metallische Werkstoffe bei Kühlung mit Meerwasser	58

2.2.2	Betonangriff durch Wasser und Gegenmaßnahmen	63
2.2.3	Angriff auf Holz	68
	a) Mikrobiologischer Holzabbau	68
	b) Chemischer Holzangriff	70
2.2.4	Angriff auf Asbestzement	72
2.2.5	Angriff auf Kunststoffe	73
2.3	Verschmutzungsarten	74
2.3.1	Sedimentationsverschmutzung	76
2.3.2	Kristallisationsverschmutzung	78
2.3.3	Verschmutzung durch chemische Reaktion	83
2.3.4	Korrosionsverschmutzung	83
2.3.5	Biologisches Wachstum	83
	a) Algenwachstum	84
	b) schleimbildende Bakterien	85
	c) korrosive Bakterien	86
2.4	Ungünstige Beeinflussung des pH-Wertes	88
2.4.1	Beeinflussung des pH-Wertes durch den SO ₂ -Gehalt der Luft	88
2.4.2	Mikrobielle Säurebildung im Kühlwasser	92
2.4.3	Einstellung des pH-Wertes im Gleichgewicht mit dem CO ₂ -Gehalt der Luft ..	93

Kapitel 3

	Aufbereitung von Zusatzwasser und Kühlwasser..	95
3.1	Wasserzusammensetzung	95
3.1.1	Hydrologische Gesichtspunkte	95
3.1.2	Wasserchemische Gesichtspunkte	97
3.1.3	Hydrobiologische Gesichtspunkte	99
3.2	Wasseranalyse zur Auslegung einer Zusatzwasser-Aufbereitungsanlage	102
3.3	Beurteilung der Wasseranalyse und Planung der Zusatzwasser-Aufbereitungsanlage	103
3.3.1	Karbonathärte	104
3.3.2	Chloridionengehalt	105
3.3.3	Schwefelwasserstoff, Sulfide	107
3.3.4	Möglichkeiten von Gipsausscheidungen	109
3.3.5	Trübstoffe und Kolloid gelöste Stoffe	109
3.3.6	Mikroorganismen	110
3.4	Vorreinigungsverfahren	111
3.4.1	Mechanische Reinigung	111
	a) Absatzbecken	111
	b) Einlaufbauwerke	114
3.4.2	Flockung	115
3.4.2.1	Die Bedeutung des Zeta-Potentials für die Flockung	117
3.4.2.2	Art der Schwebstoffe	120
3.4.2.3	Chemische Reaktionen bei der Flockung	121
	a) Flockung mit Eisen (III)-Salzen	121
	b) Flockung mit Aluminiumsalzen	124
3.4.2.4	Flockungshilfsmittel	128
	a) Aktivierte Kieselsäure	128
	b) Organische Polyelektrolyte	129

3.4.2.5	Flockung von Huminsäuren und Farbkolloiden	133
3.4.2.6	Flockung von Mikroorganismen	134
3.4.2.7	Flockungswirkung und Störmöglichkeiten	135
3.4.2.8	Verfahrenstechnik der Flockung	136
3.4.3	Kiesfiltration	139
3.4.3.1	Theorie der Strömung von Wasser durch Sandschichten	139
3.4.3.2	Vorgänge bei der Trübstoffentfernung aus dem Wasser	142
3.4.3.3	Filterbauarten und Funktionselemente	145
3.4.3.4	Betrieb von Kiesfiltern	147
3.4.3.5	Sonderformen der Filtration	148
3.4.3.6	Teilstromfiltration	152
	a) Teilstromfiltration bei trübstofffreiem Zusatzwasser	152
	b) Teilstromfiltration bei trübem Zusatzwasser	154
3.5	Automatische Kondensatorreinigung	154
	a) Schwammgummikugelverfahren	154
	b) Kunststoffbürstenverfahren	155
3.6	Entkarbonisierungsverfahren	158
3.6.1	Schnellentkarbonisierungsverfahren	158
3.6.1.1	Verfahrenstechnik der Schnellentkarbonisierung	158
3.6.1.2	Vorgänge im Schnellreaktor	162
3.6.1.3	Entkarbonisierungseffekt	162
3.6.1.4	Kalkhydratdosierung	166
3.6.2	Langsamfällentkarbonisierung	167
3.6.3	Entkarbonisierung mit Ionenaustauschanlagen	168
3.6.3.1	Anwendungsgebiete für Ionenaustauschanlagen	168
3.6.3.2	Verfahrensbeschreibung	169
3.6.3.3	Austauschkapazität der schwach sauren Ionenaustauschmassen	170
3.6.3.4	Verrieseln der freien Kohlensäure	173
3.6.4	Entsäuerungsverfahren für Durchlaufkühlwasser	174
3.6.5	Säureimpfung	175
3.6.5.1	Die Pufferkapazität von Kühlwasser bei der Säureimpfung	175
3.6.5.2	Säureimpfung zur Verminderung der Karbonathärte	177
	a) Gesichtspunkte zur Wahl einer Säureimpfung	179
	b) Berechnung der Säuremenge und der zulässigen Eindickung	180
3.6.5.3	pH-Werteinstellung	180
	a) Allgemeine Gesichtspunkte	180
	b) Wahl einer Anlage zur Einstellung eines bestimmten pH-Bereiches	181
3.6.6	Physikallische Methoden zur Verminderung des Karbonateinflusses auf Kühlwassersysteme	182
3.7	Rekarbonisierung des Kühlwassers	183
3.8	Aufbereitung von Abwasser zu Kühlturmzusatzwasser	185

Kapitel 4

	Kühlwasserbehandlungsverfahren	191
4.1	Biozidbehandlung zur Bekämpfung von Mikroorganismen	191
4.1.1	Chlor	192
4.1.1.1	Mikrozide Wirkung des Chlors	192

4.1.1.2	Chemisches Verhalten von Chlor und Chloraminen	192
4.1.1.3	Reaktion des Chlors mit Bestandteilen des Wassers	195
4.1.1.4	Methoden der Chlorung	196
	a) Chlorung von Brackwasser	196
	b) Chlorung von Meerwasser	199
4.1.2	Verfahren zur Vermeidung biologischer Verschmutzung bei Meerwasser- kühlung	201
4.1.2.1	Intermittierende Erwärmung	201
4.1.2.2	Temperatureinfluß auf die Korrosion durch Meerwasser	203
4.1.2.3	Sonstige Verfahren	204
4.1.3	Acrolein	205
4.1.4	Kupfersulfat	206
4.1.5	Metallorganische Verbindungen	208
	a) Quecksilberverbindungen	208
	b) Sonstige metallorganische Biozide	208
4.1.6	Chlorphenole	208
4.1.7	Organische Verbindungen	209
	a) Organische Stickstoffverbindungen	209
	b) Organische Schwefelverbindungen	210
	c) Organische Bromverbindungen	211
4.1.8	Bekämpfung von Algen und Bakterien	211
4.1.8.1	Bekämpfung von Algen	211
4.1.8.2	Bekämpfung schleimbildender Bakterien	215
4.1.8.3	Bekämpfung sulfatreduzierender Bakterien	217
4.2	Kühlwasserbehandlung zur Vermeidung von Verschmutzung und Verkrustung der Wärmeübertragungsflächen	218
4.2.1	Dispergiermittel	219
4.2.1.1	Ligninderivate	220
4.2.1.2	Synthetische Dispergiermittel	221
4.2.1.3	Bewertung der Dispergiermittel	221
4.2.2	Härtestabilisatoren	223
4.2.2.1	Bildung und Wirkung der kondensierten Phosphate	223
4.2.2.2	Hydrolyse der Polyphosphate	224
4.2.2.3	Phosphatzehrung im Kühlwasser	226
4.2.2.4	Hinweise für die Polyphosphatdosierung	228
4.2.2.5	Härtestabilisierung mit organischen Stoffen, zum Teil im Gemisch mit Polyphosphaten	230
4.2.2.6	Härtestabilisierung mit Phosphonsäuren und Phosphatestem	231
	a) Vorgang der Härtestabilisierung	232
	b) Stabilisierungswirkung	232
	c) Stabilität der Phosphonsäuren	234
	d) Chelatbildung der Phosphonsäuren mit Kupferionen	234
	e) Handelsformen der Phosphonsäuren	235
4.2.2.7	Härtestabilisierung mit organischen Polyelektrolyten	235
4.2.2.8	Stabilisierung von Gipshärte	235
4.2.3	Kühlwasserbehandlung mit Korrosionsinhibitoren	237
4.2.3.1	Theoretische Grundlagen der Korrosionsinhibierung	237
	a) Anodische Korrosionsinhibitoren	240
	b) Kathodische Inhibitoren	244
4.2.3.2	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	245

4.2.3.3	Korrosionsinhibierung der verschiedenen Kühlsysteme	248
	a) Durchlaufkühlung	248
	b) Offene Kühlwasserkeisläufe	249
4.2.3.4	Beeinträchtigung der Inhibitorwirkung durch Beläge	251
	a) Vorbehandlung	251
	b) Vorreinigung	252
4.2.4	Korrosionsinhibierung in offenen Kühlwasserkreislaufsystemen	253
4.2.4.1	Allgemeine Gesichtspunkte	253
4.2.4.2	Inhibierung der galvanischen Korrosion	255
4.2.4.3	Verschiedene Korrosionsinhibitoren und ihre Wirkung	255
4.2.4.4	Korrosionsinhibierung bei Kupfer und seinen Legierungen	281
4.2.4.5	Das Verhalten von Zinksalzen im Kühlwasser	285
4.2.4.6	pH-Wert-Abhängigkeit bei der Korrosionsinhibierung	290
4.2.4.7	Zusammenfassung	293
4.2.5	Behandlung geschlossener Kühlwasserkreislaufsysteme (Beispiel: Verbrennungskraftmaschinen)	301
	a) Kühlwasserbehandlung	301
	b) Korrosionsschutz	303
4.2.5.1	Eigenschaften von Frostschutzmitteln	306
4.2.5.2	Verhalten von metallischen Werkstoffen bei Äthylenglykol-/Wasser- Gemischen	308
4.2.5.3	Korrosionsinhibierung	308
4.2.5.4	Korrosionsinhibierung durch Zusatz emulgierbarer Öle	314

Kapitel 5

	Werkstoffauswahl und Werkstoffbehandlung bei Kühlwasseranlagen	319
5.1	Bauarten von Wärmeaustauschern	319
5.2	Bauelemente von Rohrbündel-Wärmeaustauschern	319
5.2.1	Innenrohre	322
	a) Übersicht der gebräuchlichen Rohrwerkstoffe	322
	b) Übersicht der üblichen Korrosionsschäden	322
5.2.1.1	Allgemeine Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl	322
	a) Schutzschichtbildung bei Rohren aus Kupferlegierungen	326
	b) Deckschichtbildung bei Kondensatorrohren	332
	c) Lochfraßbildung bei Kupfer und Kupferlegierungen	333
	d) Verhalten metallischer Werkstoffe bei Brackwasserkühlung	334
	e) Konstruktiv bedingte Verschmutzung von Kondensatorrohren	335
	f) Stillstandskonservierung kühlwasserbedingter Anlagen	336
5.2.1.2	Werkstoffauswahl und Betriebsverhalten	337
	a) Rohrschäden bei Kondensatoren durch Vibration	339
	b) Ungleichmäßige Beaufschlagung von Kondensatoren	340
5.2.1.3	Werkstoffe für Innenrohre	341
	a) Kupferlegierungen	341
	b) Kupfer	348
	c) Kupfer-Nickel-Legierungen	353
	d) Eisenwerkstoffe	360
	e) Aluminium	381
	f) Titan	384

5.2.2	Sonstige Bauelemente	386
5.3	Kühlwasserpumpen	390
5.4	Bauelemente von Kühltürmen	392
5.4.1	Holz im Kühlturmbau	392
	a) Methoden des Holzschutzes	392
	b) Probleme der Entsorgung	396
5.4.2	Verbindungselemente	397
5.4.3	Sonstige Werkstoffe im Kühlturmbau	397
	a) Asbestzement	397
	b) Kunststoff	399
	c) Stahlbeton	401

Kapitel 6

	Schutzverfahren für kühlwasserberührte Werkstoffoberflächen	403
6.1	Anstrich- und Beschichtungsverfahren	403
6.1.1	Vorbehandlung der Werkstoffoberfläche	404
6.1.2	Zusammensetzung und Verhalten der Anstrichmittel	405
6.2	Korrosionsschutzüberzüge	408
6.2.1	Kühlwasserleitungen	408
	a) Bitumen	408
	b) Epoxidharz-Teer-Kombinationen	409
	c) Sonstige kalthärtende Überzüge	414
6.2.2	Rohrbodenbeschichtung	415
6.2.2.1	Allgemeine Gesichtspunkte für die Dickfilmbeschichtung	415
6.2.2.2	Durchführung der Beschichtung von Rohrböden	415
6.2.3	Beschichtung von Stahlbeton und ähnlichen Werkstoffen in Kühltürmen	417
6.2.4	Qualitätssicherung der Anstrich- und Beschichtungsverfahren	417
	a) Qualitätsprüfung	418
	b) Überwachung der Ausführung	419
6.3	Kathodische Schutzverfahren	420
6.3.1	Die Schutzstromdichte und ihre Beeinflussung	420
6.3.2	Die Verfahren des kathodischen Schutzes	422
	a) Aktivanoden	422
	b) Mit Fremdstrom betriebene kathodische Schutzsysteme	426
6.3.3	Kombinierte Korrosionsschutzverfahren	428
	a) Kombination von Korrosionsschutzüberzug mit kathodischem Schutz	428
	b) Kombination von Korrosionsinhibitoren mit kathodischem Schutz	429

Kapitel 7

	Analytische Überwachung	431
7.1	Automatische Überwachung des Kühlwassers	431
7.1.1	pH-Wert-Registrierung	431
7.1.2	Überwachung des Gesamtsalzgehaltes über die Leitfähigkeits-Registrierung ...	432
7.1.3	Bestimmung der Säurekapazität bis pH = 4,3 des Kühlwassers durch Titrier- automaten	433
7.2	Chemische Analysemethoden für das unaufbereitete Wasser (Rohwasser)	434
7.2.1	Elektrische Leitfähigkeit	434

7.2.2	Ermittlung des pH-Wertes	435
7.2.3	Ermittlung des Mineralsalzgehaltes	435
7.2.4	Bestimmung der Säurekapazität bis pH = 8,3 (p-Wert) und pH = 4,3 (m-Wert)	435
7.2.5	Ermittlung der Härte	436
7.2.6	Bestimmung der Karbonathärte	437
7.2.7	Bestimmung der Calciumionenkonzentration	437
7.2.8	Bestimmung der Chloridionenkonzentration	438
7.2.9.	Sulfationenbestimmung	438
7.2.10	Bestimmung des Gehaltes an Nitrat-, Nitrit- und Amoniumionen	439
7.2.11	Ermittlung der Konzentrationen von Eisen und Mangan	440
7.2.12	Bestimmung der molybdataktiven Kieselsäure	441
7.2.13	Bestimmung der Oxidierbarkeit der im Wasser gelösten Stoffe (Permanganatzahl)	441
7.2.14	Ermittlung des Huminsäuregehaltes	443
7.2.15	Bestimmung der Trübung eines Wassers	443
7.2.16	Chlorbedarf, Chlorzehrung	443
7.2.17	Bestimmung der freien und kalkaggressiven Kohlensäure	444
7.2.18	Bestimmung des Gehalts an gasförmig gelöstem Sauerstoff	445
7.2.19	Bestimmung des Gehaltes von Schwefelwasserstoff und Sulfiden	446
7.2.20	Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfes	447
7.3	Analysemethoden für die Kühlwasseruntersuchung	450
7.3.1	Bestimmung des Überschusses an freiem Chlor	450
7.3.2	Bestimmung von freiem Chlor, Monochloramin und Dichloramin neben- einander	450
7.3.3	Bestimmung quaternärer Ammoniumsalze	451
7.3.4	Bestimmung der Dentachlorphenolkonzentration	452
7.3.5	Bestimmung der Zinkionenkonzentration	453
7.3.6	Bestimmung der Kupferionenkonzentration	453
7.3.7	Bestimmung des Phosphatgehaltes	454
7.3.8	Bestimmung des Lignin- und Tanningehaltes in Korrosionsinhibitor- gemischen	455
7.3.9	Ermittlung des Trübstoffgehaltes	455
7.3.10	Bestimmung der Konzentration von zweiwertig negativ geladenem Schwefel (z.B. Sulfiden)	456
7.3.11	Bestimmung des Gehalts an Chromverbindungen	456
7.3.12	Bestimmung des Detergentiengehaltes	457
7.3.13	Bestimmung des Phosphonsäuregehaltes	457
7.3.14	Bestimmung von Polycarbonsäuren	459
7.4	Mikrobiologische Untersuchungen	459
7.4.1	Kühlturmholzbewuchs	459
7.4.2	Bewuchs an anderen Werkstoffen	460
7.4.3	Verstopfungen durch schleimbildende Bakterien in Wärmeaustauschern	460
7.4.4	Nachweis sulfatreduzierender Bakterien	462
7.5	Betriebliche Überwachung der Zusatzwasseraufbereitungsanlage und des Kühlwassers	462
7.5.1	Überwachung von Schnellentkarbonisierungsanlagen	462
	a) Bestimmung der Säurekapazität	462
	b) Bestimmung des Trübstoffgehaltes am Ablauf des Schnellreaktors	463
	c) Bestimmung der Kalkmilchkonzentration	463

	d) Beurteilung der Anlagerungskapazität des Reaktorkorns	464
	e) Überprüfung der Kornfeinheit des angelieferten Kalkhydratmehls	465
7.5.2	Überwachung von Flockungs- und Chlorungsanlagen	465
	a) Eisen (III)-Sulfatlösung	465
	b) Chlorbedarf zur Oxidation von Eisen (III)-sulfat	466
7.5.3	Überwachung von Ionenaustausch-Enthärtungsanlagen	466
	a) Überwachung schwach saurer Ionenaustausch-Enthärtungsanlagen	466
	b) Resthärtebestimmung	467
7.6	Physikalische Überwachungsverfahren (Energiedispersive Elektronenstrahl-Mikroanalyse)	467

Kapitel 8

	Beeinflussung von öffentlichen Gewässern durch Kühlwasser	469
8.1	Allgemeines	469
8.2	Kühlwasser und Umweltschutz	471
8.3	Wärmeeinleitung in öffentliche Gewässer	483
8.3.1	Abwärmeverteilung in Gewässern	484
8.3.2	Basistemperatur der Gewässer	486
8.3.3	Die biologische Selbstreinigung von Oberflächengewässern	486
8.3.4	Thermische Beeinflussung der biologischen Selbstreinigung	491
8.3.5	Direkter Temperatureinfluß auf Lebensvorgänge von Lebewesen	494
	a) Süßwasserverhältnisse	494
	b) Meerwasserverhältnisse	496
8.3.6	Thermische Beeinträchtigung der Fische	497
8.3.7	Begrenzung der Einleitungstemperaturen für Abwärme aus Kühlsystemen	499
8.3.8	Toxischer Einfluß von Chemikalien zur Kühlwasserbehandlung auf Fische ...	501
8.4	Der toxische Einfluß von Metallionen auf den Vorfluter	504

Kapitel 9

	Umweltbelästigungen durch versprühtes Kühlwasser	507
9.1	Allgemeines	507
9.2	Der Salzgehalt der atmosphärischen Luft	508
9.3	Phytotoxische Grundlagen der atmosphärischen Vegetationsschäden	509
9.4	Vegetationsschäden in der Umgebung von Kühltürmen	511
9.5	Isolatorverschmutzungen durch versprühtes Kühlwasser (Ursachen und Folgen)	513

Kapitel 10

	Arbeitsmedizinische Gesichtspunkte bei der Kühlwasserbehandlung	515
10.1	Allgemeines	515
10.2	Korrosionsinhibitoren	515
10.2.1	Chromathaltige Inhibitorgemische	515
10.2.2	Natriumnitrit	517
10.2.3	Zinksulfat	517

10.2.4 Anorganische Phosphate	518
10.3 Biozide	518
10.3.1 Chlor	518
10.3.2 Acrolein	520
10.3.3 Pentachlorphenol	521
10.3.4 Quaternäre Ammoniumverbindungen	521
10.3.5 Phosphorsäuren und Phosphonate	521
Literaturübersicht	525
Stichwortverzeichnis	544