

Inhaltsverzeichnis

1.	Systeme und Verfahren der Wasserkühlung	1
1.1	Kühlwassersysteme	2
1.2	Kühlverfahren	3
1.2.1	Durchlaufkühlung	5
1.2.1.1	Grundwasser	6
1.2.1.2	Oberflächenwasser	7
1.2.1.3	Brackwasser	9
1.2.1.4	Meerwasser	13
1.2.2	Ablaufkühlung	17
1.2.3	Kreislauf-Nasskühlung	18
1.2.4	Kreislauf-Trockenkühlung	19
1.2.5	Kreislauf-Hybridkühlung	20
1.3	Industrielle Kühlwasseranwendung	22
1.3.1	Klima- und Kältetechnik	22
1.3.2	Lebensmittelindustrie	22
1.3.3	Verfahrenstechnik	24
1.3.3.1	Chemische Industrie und Petrochemie	24
1.3.3.2	Kokereien	25
1.3.3.3	Stahlwerke und NE-Metallhütten	26
1.3.4	Maschinen- und Motorenkühlung	28
1.3.5	Energieerzeugung	29
1.3.5.1	Hauptkühlwasserkreislauf	30
1.3.5.2	Nebenkühlwasserkreisläufe	32
2.	Grundlagen der Stoff- und Wärmeübertragung	37
2.1	Hauptsätze der Thermodynamik	38
2.2	Stoffübertragung	39
2.2.1	Stoffeigenschaften	39
2.2.2	Feuchte Luft	40
2.2.3	Verdunstungskühlung	43
2.3	Wärmeübertragung	45
2.4	Kombinierte Stoff- und Wärmeübertragung	47
2.5	Theorie der Wasserrückkühlung	47
3.	Kühlwasserkreislauf	53
3.1	Kreislaufkomponenten	54
3.2	Wasserverluste	54
3.3	Kühlwasserpumpen	56
3.4	Rohrleitungssystem	59
3.5	Betriebskontrolle (MSR-System)	60

4.	Nasskühltürme	63
4.1	Bauarten	64
4.2	Auslegungs- und Betriebsbedingungen	66
4.2.1	Wärmestrom (Kühlleistung)	66
4.2.2	Wassermassenstrom	66
4.2.3	Wassertemperaturen	67
4.2.4	Umgebungsluftzustand	68
4.2.5	Betriebsbedingungen	72
4.3	Aufbau von Nasskühltürmen	74
4.3.1	Bautechnischer Teil	75
4.3.2	Kühltechnischer Teil	76
4.3.3	Maschineller Teil	81
4.4	Ventilatorkühltürme	82
4.5	Naturzugkühltürme	86
5.	Zusatzwasseraufbereitung	89
5.1	Wasserangebot	90
5.2	Rohwasseranalyse	94
5.3	Wasservorreinigung	96
5.4	Flockung	101
5.4.1	Bedeutung des Zeta-Potenzials	102
5.4.2	Art der Schwebstoffe	106
5.4.3	Chemische Reaktion der Flockung	106
5.4.4	Flockungsmittel	107
5.4.5	Flockungshilfsmittel	112
5.4.5.1	Aktivierter Kieselsäure	113
5.4.5.2	Organische Polyelektrolyte	114
5.4.6	Sonderfälle der Flockung	119
5.4.6.1	Huminsäuren und Farbkolloide	119
5.4.6.2	Mikroorganismen	120
5.4.6.3	Störmöglichkeiten	120
5.4.7	Verfahrenstechnik der Flockung	122
5.5	Filtration	126
5.5.1	Kiesfilter	126
5.5.1.1	Bauelemente der Kiesfilter	132
5.5.1.2	Betrieb von Kiesfiltern	135
5.5.2	Sonderformen der Filtration	136
5.5.2.1	Aufwärtsfiltration	137
5.5.2.2	Zweistromfiltration	137
5.5.2.3	Sonstige Filtermethoden	138
5.6	Zusatzwasserqualität	140
5.6.1	Wasserhärte	140
5.6.1.1	Schnellentcarbonisierung	140
5.6.1.2	Langsamfällentcarbonisierung	150
5.6.1.3	Ionenaustauschverfahren	151

5.6.1.4	Säureimpfung	156
5.6.1.5	Härtestabilisierung	160
5.6.2	Schwefelverbindungen	167
5.6.3	Chloridverhalten	168
6.	Wärmeaustauscher	171
6.1	Bauarten	172
6.2	Rohrbündel-Wärmeaustauscher	172
6.3	Plattenwärmeaustauscher	176
6.4	Weitere Bauarten	179
6.5	Werkstoffauswahl	179
6.6	Werkstoffverhalten	185
6.6.1	Kohlenstoffstahl	185
6.6.2	Edelstahl	189
6.6.2.1	Fertigung mit Längsnaht geschweißter Edelstahlrohre	192
6.6.2.2	Qualitätsprüfung der Edelstahlrohre	194
6.6.3	Kupferlegierungen	195
6.6.4	Aluminium	195
6.6.5	Titan	199
6.7	Berechnungsmethoden	201
7.	Reinigungsmaßnahmen im Kühlwasserkreislauf	207
7.1	Kühlwasserverschmutzung	208
7.1.1	Sedimentationsverschmutzung	210
7.1.2	Kristallisationsverschmutzung	211
7.1.2.1	Ausfall von Calciumcarbonat (CaCO_3)	212
7.1.2.2	Ausfall von Gips (CaSO_4)	214
7.1.2.3	Ausfall von Silikat (SiO_2)	215
7.1.3	Verschmutzung durch chemische Reaktion	216
7.1.4	Korrosionsverschmutzung	216
7.1.4.1	Angriff auf Stahlbeton	219
7.1.4.2	Angriff auf Metalle	223
7.1.5	Verschmutzung durch biologisches Wachstum	228
7.1.5.1	Angriff auf Holz	233
7.1.5.2	Angriff auf Kunststoffe	237
7.2	Teilstromfiltration	239
7.2.1	Teilstromfiltration bei trübstofffreien Zusatzwasser	239
7.2.2	Teilstromfiltration bei trübem Zusatzwasser	240
7.3	Kontinuierliche Wasserreinigung	241
7.3.1	Physikalische Wasserbehandlung	242
7.3.1.1	Aktivanoden	242
7.3.1.2	Magnetfeld-Methode	246
7.3.2	Schwammgummikugel-Verfahren	247
7.3.2	Kunststoffbürsten-Reinigung	248

8.	Mess- und Regeltechnik in Kühlwasserkreisläufen	253
8.1	Einführung	254
8.2	Elektrische Leitfähigkeit	254
8.3	pH-Wert	255
8.4	Säurekapazität	255
8.5	Physikalisch-chemische Messmethoden	256
8.5.1	Wasserhärte	256
8.5.2	Sonstige Ionenkonzentrationen	257
8.5.2.1	Calciumionen	257
8.5.2.2	Chloridionen	257
8.5.2.3	Sulfationen	258
8.5.2.4	Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumionen	259
8.5.3	Konzentration weiterer Wasserbegleiter	260
8.5.3.1	Eisen	260
8.5.3.2	Mangan	260
8.5.3.3	Molybdataktive Kieselsäure	261
8.5.3.4	Permanganatsalz	261
8.5.3.5	Huminsäuren	262
8.5.3.6	Chlorbedarf und Chlorzehrung	263
8.5.4	Gasförmige Stoffe im Kühlwasser	264
8.5.4.1	Kohlensäure	264
8.5.4.2	Sauerstoff	264
8.5.4.3	Schwefelwasserstoff und Sulfide	266
8.5.4.4	Biologischer Sauerstoffbedarf	267
8.6	Regelung im Kühlwasserkreislauf	270
9.	Kühlwasser und Umwelt	271
9.1	Wasserhaushaltsgesetz (WHG)	272
9.2	Wärmeeinleitung in öffentliche Gewässer	273
9.3	Biologische Selbstreinigung der Gewässer	275
9.4	Temperatureinfluss auf Lebewesen	282
9.4.1	Thermischer Einfluss auf Fische	283
9.4.2	Toxischer Einfluss auf Fische	286
9.4.3	Toxischer Einfluss von Metallionen	290
9.5	Umweltbelastungen	291
9.5.1	Belastung durch Kühlwasser	291
9.5.1.1	Tropfenauswurf	292
9.5.1.2	Rekondensation	292
9.5.2	Salzgehalt der atmosphärischen Luft	293
9.5.2.1	Vegetationsschäden	294
9.5.2.2	Schäden an Gebäuden und Anlagen	298
10.	Arbeitshygienische Gesichtspunkte bei Kühlwassersystemen	299
10.1	Einführung	300

10.2	Werkstoffe im Kühlwasserkreislauf	300
10.2.1	Holz im Kühlturmbau	300
10.2.1.1	Imprägnierverfahren	301
10.2.1.2	Verbindungselemente	306
10.2.2	Anstrich- und Beschichtungsverfahren	306
10.3	Kühlwasserbehandlung	312
10.3.1	Korrosionsinhibitoren	312
10.3.1.1	Chromathaltige Inhibitoren	312
10.3.1.2	Natriumnitrit	313
10.3.1.3	Zinksulfat	314
10.3.1.4	Anorganische Phosphate	314
10.3.1.4	Moderne Korrosionsinhibitoren	314
10.3.2	Biozide	315
10.3.2.1	Chlor	315
10.3.2.2	Acrolein	317
10.3.2.2	Pentachlorphenol	318
10.3.2.4	Quaternäre Ammoniumverbindungen	318
10.3.2.5	Schlussbemerkungen	320
	Literaturübersicht	321