

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Systeme und Verfahren der Wasserkühlung .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2.</b>	<b>Grundlagen der Stoff- und Wärmeübertragung .....</b>	<b>37</b>
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
<b>3.</b>	<b>Kühlwasserkreislauf .....</b>	<b>53</b>
3.1	Kreislaufkomponenten .....	54
3.2	Wasserverluste .....	54
3.3	Kühlwasserpumpen .....	56
3.4	Rohrleitungssystem .....	59
3.5	Betriebskontrolle (MSR-System) .....	60

<b>4.</b>	<b>Nasskühltürme</b> .....	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
<b>5.</b>	<b>Zusatzwasseraufbereitung</b> .....	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 Schwebestoffe .....	106
5.4.3	Chemische Reaktion der Flockung .....	106
5.4.4	Flockungsmittel .....	107
5.4.5	Flockungshilfsmittel .....	112
5.4.5.1	Aktivierte 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
<b>6.</b>	<b>Wärmeaustauscher .....</b>	<b>171</b>
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
<b>7.</b>	<b>Reinigungsmaßnahmen im Kühlwasserkreislauf .....</b>	<b>207</b>
7.1	Kühlwasserverschmutzung .....	208
7.1.1	Sedimentationsverschmutzung .....	210
7.1.2	Kristallisationsverschmutzung .....	211
7.1.2.1	Ausfall von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) .....	212
7.1.2.2	Ausfall von Gips ( $\text{CaSO}_4$ ) .....	214
7.1.2.3	Ausfall von Silikat ( $\text{SiO}_2$ ) .....	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 trüben 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

<b>8.</b>	<b>Mess- und Regeltechnik in Kühlwasserkreisläufen .....</b>	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
<b>9.</b>	<b>Kühlwasser und Umwelt .....</b>	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
<b>10.</b>	<b>Arbeitshygienische Gesichtspunkte bei Kühlwassersystemen .....</b>	299
10.1	Einführung .....	300

10.2	Werkstoffe im Kühlwasserkreislauf .....	300
10.2.1	Holz im Kühlturnbau .....	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