Inhaltsverzeichnis

Vorwort 5

1 Einführung 11

2 Technische Grundlagen von Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen ... 17

2.1 Einleitung 17

2.2 Zustandsgrößen der feuchten Luft 18

2.3 Aufbau des Mollier- bzw. h,x-Diagramms 19
2.3.1 Temperatur und Isothermen 19
2.3.2 Absolute Feuchtigkeit 19
2.3.3 Dampfdruck 19
2.3.4 Sättigungsdruck und Sättigungslinie 20
2.3.5 Sättigungstemperatur und Taupunkttemperatur 20
2.3.6 Linien mit konstanter relativer Feuchtigkeit 21
2.3.7 Linien mit konstanter Enthalpie 21
2.3.8 Feuchtkugel- oder Feuchttemperatur 22
2.3.9 Dichte 23

2.4 Zustandsänderungen im h,x-Diagramm 24

2.5 Kühltürme (Verdunstungskühlanlagen) 27
2.5.1 Definition Kühlturm und Verdunstungskühlanlage 27
2.5.2 Aufbau und Funktion von Verdunstungskühlanlagen 28
2.5.3 Ventilator-Bauarten 29
2.5.4 Bauarten von Kühltürmen 29
2.5.5 Kühltürme mit offenem Kreislauf 30
2.5.6 Kühltürme mit geschlossenem Kreislauf 31
2.5.7 Gegenstrom-Kühltürme mit saugenden Axialventilatoren 33
2.5.8 Gegenstrom-Kühltürme mit drückenden Axialventilatoren 34
2.5.9 Gegenstrom-Kühltürme mit Radialventilatoren 34
2.5.10 Kreuzstrom-Kühltürme mit saugenden Axialventilatoren 35
2.5.11 Komponenten von Verdunstungskühlanlagen 35
2.5.12 Betrieb von Verdunstungskühlanlagen 39

2.6 Trockenkühler 43
2.6.1 Trockenrückkühler mit Besprühung 44

2.7 Hybride Kühltürme 46

2.8 Verflüssiger 49
2.8.1 Verdunstungsverflüssiger 49
2.8.2 Hybride Verflüssiger 51

2.9 Energetische Bewertung von Rückkühlsystemen ... 52
2.9.1 Grundlagen für die wirtschaftliche Betrachtung ... 53
2.9.2 Leistungszahl der Kälteanlage ... 53
2.9.3 Temperaturdifferenzen an Wärmeübertragern ... 54
2.9.4 Vergleich unterschiedlicher Rückkühlsysteme ... 56

3 Grundlagen der Mikrobiologie und Ursachen des Hygienerisikos ... 61

3.1 Mikrobiologische Grundlagen ... 61
3.1.1 Mikroorganismen ... 61
3.1.2 Eigenschaften und Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen ... 64
3.1.3 Legionellen ... 70
3.1.4 Mikroorganismen und Biofilme ... 71
3.1.5 Verdunstungskühlanlagen und Kühltürme als Lebensräume von Mikroorganismen ... 72
3.1.6 Nachweis von Mikroorganismen in Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen ... 79
3.1.7 Bekämpfung von Mikroorganismen ... 93
3.1.8 Förderung mikrobiellen Wachstums durch Werkstoffe aus organischem Material ... 103

3.2 Gesundheitliche Risiken und Legionellenausbrüche ... 104
3.2.1 Gesundheitliche Risiken durch Mikroorganismen und deren Bestandteile ... 105
3.2.2 Legionellenausbrüche ... 114

3.3 Gefährdungsbeurteilung für Verdunstungskühlanlagen und Kühltürme ... 118
3.3.1 Gefährdungsbeurteilungen bei biologischen Gefährdungen im Arbeitsschutz ... 119
3.3.2 Gefährdungsbeurteilung nach VDI 2047 und 42. BImSchV ... 124

4 Gesetzliche Anforderungen ... 143

4.1 Zuordnung der Verantwortungsträger, der Verantwortungsbereiche und die Festlegung der damit verbundenen Pflichten ... 143

4.2 Arbeitsschutz beim Betrieb von Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen ... 146

4.3 Das Immissionsschutzrecht ... 150

4.4 Die 42. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) ... 156

5 Anforderungen aus dem technischen Regelwerk ... 209

5.1 Die Bedeutung des technischen Regelwerks im Recht ... 209

5.2 Überblick zum technischen Regelwerk ... 211
5.2.1 VDI 2047 Blatt 2 (01/2019) Rückkühlwerke: Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln) ... 211
5.2.2 VDI 2047 Blatt 3 (04/2018) Rückkühlwerke: Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen – Kühltürme über 200 MW Kühlleistung (VDI-Kühlturmregeln) ... 214

5.2.3 VDI-MT 2047 Blatt 4 (01/2019) Rückkühlwerke: Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln) – Qualifikation von Personal zum Betreiben von Verdunstungskühlanlagen ... 216
5.2.4 VDMA 24649 (01/2018) Betriebsempfehlungen für Verdunstungskühlanlagen ... 217
5.2.5 VGB-R 455 (01/2000) Kühlwasser-Richtlinie – Wasserbehandlung und Werkstoffeinsatz in Kühlsystemen ... 219
5.2.6 Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) – Referenzdokument über die Besten Verfügbaren Techniken bei industriellen Kühlsystemen, Umweltbundesamt, Dezember 2001 ... 221

5.3 Hygieneanforderungen an Planung und Errichtung ... 224
5.3.1 Hygieneanforderungen an die Konstruktion ... 225
5.3.2 Hygieneanforderungen an Werkstoffe ... 231
5.3.3 Standortauswahl und Aufstellort unter hygienischen Aspekten ... 232
5.3.4 Stoffeintrag in Kühlsysteme ... 234
5.3.5 Prozesssteuerung und Überwachung ... 234
5.3.6 Wasserbeschaffenheit: Hygieneanforderungen an Wasseraufbereitung und -behandlung ... 238

5.4 Hygieneanforderungen an Betrieb und Instandhaltung ... 240
5.4.1 Übernehmen ... 242
5.4.2 Inbetriebnahme ... 242
5.4.3 Betätigen (Überwachen, Stellen, Störungsbeseitigung) ... 245
5.4.4 Instandhalten ... 257
5.4.5 Außerbetriebnehmen / Ausmustern / Stilllegen ... 262
5.4.6 Anforderung an die Schulung und Qualifikation des Personals ... 263

5.5 Gefährdungsbeurteilung und Anlagenprüfung ... 263
5.5.1 Gefährdungsbeurteilung ... 263
5.5.2 Anlagenprüfung ... 266

Anhang: Normen und Vorschriften ... 269

Literaturverzeichnis ... 273

Stichwortverzeichnis ... 277