

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	5
<b>1 Einführung</b> .....	11
<b>2 Technische Grundlagen von Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen</b> ...	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 Rückkühlssysteme .....	56
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Mikrobiologie und Ursachen des Hygienerisikos.....</b>	<b>61</b>
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
<b>4</b>	<b>Gesetzliche Anforderungen.....</b>	<b>143</b>
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
<b>5</b>	<b>Anforderungen aus dem technischen Regelwerk .....</b>	<b>209</b>
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 hygiene- gerechten 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
<b>Anhang: Normen und Vorschriften .....</b>		<b>269</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>		<b>273</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>277</b>