

# 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 Rückkühlsysteme .....	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>