

Leistungsversuche an Kühltürmen

(VDI-Kühlturmregeln)

DIN
1947

Inhalt

	Seite		Seite
1. Formelzeichen	3	6.21 Wasserdurchsatz	8
2. Zweck der Regeln	4	6.22 Wassertemperaturen	9
3. Grundbegriffe	4	6.3 Luftmessungen	9
3.1 Kühlturm	4	6.31 Luftdruck	9
3.2 Teile des Kühlturms	4	6.32 Zugstärke	9
3.3 Kühlturm-Bauarten	4	6.33 Luftdurchsatz	9
3.4 Nenndurchsatz	5	6.34 Temperatur und Feuchte der Außenluft	10
3.5 Kühlzonenbreite	5	6.35 Temperatur und Feuchte der Abluft	10
3.6 Kühlgrenze	5	6.36 Windgeschwindigkeit	10
3.7 Kühlgrenzabstand	5	6.4 Toleranzen	10
3.8 Wärmedurchsatz	5	6.41 Bautoleranz	10
3.9 Regendichte	5	6.42 Meßtoleranz	10
4. Arbeitsprinzip des Kühlturms	5	6.43 Einzeltoleranzen	10
4.1 Allgemeines	5	6.44 Bildung der Gesamttoleranz	11
4.2 Kühlvorgang	5	6.5 Durchführung des Versuchs	12
4.3 Güte des Kühlturms	5	6.51 Zeitpunkt des Versuchs	12
4.4 Luftdurchsatz	6	6.52 Vorversuch	12
4.5 Wasserverluste	6	6.53 Versuchsumfang	12
4.6 Verunreinigung des Kühlwassers	6	6.54 Versuchsdauer	12
5. Garantien	6	6.55 Messungsintervalle	12
5.1 Gegenstand der Garantien	6	6.56 Versuchswiederholung	12
5.2 Garantie- und Berichtigungskurven	7	6.6 Versuchsbericht	12
5.21 Garantiekurven	7	6.61 Angaben des Versuchsberichtes	12
5.22 Berichtigungskurven für Wasserdurchsatz und Kühlzonenbreite	7	6.62 Bestimmung der mittleren Abweichung	12
5.23 Abweichung der Ventilatorleistung	7	6.63 Erfüllung der Garantie	12
5.24 Abweichung des Düsendrucks	8	6.64 Vertragsstrafen und Prämien	12
5.3 Gültigkeitsgrenzen für die Kurven	8	6.65 Ventilatorleistung und Düsendruck	12
5.31 Abweichungen der Versuchsbedingungen	8	7. Musterbeispiele von Abnahmeversuchen	13
5.32 Windgeschwindigkeit	8	7.1 Selbstventilierender Kühlturm (Beispiel 1)	13
6. Der Abnahmeversuch	8	7.2 Ventilatorkühlturm (Beispiel 2)	14
6.1 Allgemeine Versuchsbedingungen	8	Schrifttum	16
6.2 Wassermessungen	8	Tafeln	17

Vorwort

Die VDI-Kühlturmregeln wurden völlig überarbeitet, um die im Laufe der letzten Jahre bei zahlreichen Abnahmeversuchen gesammelten Erfahrungen zu verwerten. Die Aufgliederung des Stoffes ist im wesentlichen beibehalten, nur sind die den eigentlichen Abnahmeversuch behandelnden Abschnitte jetzt zu einem Kapitel „Abnahmeversuch“ zusammengefaßt; hierin werden auch die Toleranzen behandelt. Entsprechend den Empfehlungen des Wissenschaftlichen Beirats des VDI sind die spezifischen Größen nicht auf das Gewicht, sondern auf 1 kg Masse bezogen. Die Krafteinheit (Gewicht) wird mit kp bezeichnet.

Die Garantie- und Berichtigungskurven, die für die Erfüllung der garantierten Kühlleistung maßgebend sind, unterscheiden sich dadurch von der bisherigen Darstellungsweise, daß die Kaltwassertemperatur nicht mehr in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, sondern von der Temperatur am feuchten Thermometer, der „Kühlgrenztemperatur“ (kurz auch „Kühlgrenze“ genannt) dargestellt wird. Dieser Wert ist von Bedeutung für den ganzen Kühlvorgang, da die Annäherung der Kaltwassertemperatur an die Kühlgrenztemperatur, der „Kühlgrenzabstand“, ein Bewertungsmaßstab für den Kühlvorgang ist.

Die beiden Musterbeispiele von Abnahmeversuchen an einem selbstventilierenden und einem Ventilatorkühlturm wurden wesentlich erweitert. Das Schema der Versuchsprotokolle kann als Muster für Abnahmeversuche dienen.

Die Regeln wurden von einem Ausschuß der VDI-Fachgruppe Energietechnik erarbeitet, dem folgende Herren angehörten:

Dr.-Ing. W. O t t e , Essen (Obmann)
Dipl.-Ing. H. F r i t z s c h , Essen, Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG.
Dr.-Ing. G. H a u s b e r g , Essen, Gottfried Bischoff GmbH.
Dir. Dr.-Ing. J. K o c h , Heidelberg, Kraftanlagen Aktiengesellschaft
Dipl.-Ing. J. K ö c h l i n g , Helmstedt, Braunschweigische Kohlen-Bergwerke
Ing. P. v. L o m , Essen, Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG.
Dir. A. O d e n t h a l , Bochum, Maschinenbau AG. Balcke
Dr. phil. H. R ö g e n e r , Essen, Technischer Überwachungs-Verein Essen e. V.
Dr.-Ing. K. S c h w a r z , Essen, Technischer Überwachungs-Verein Essen e. V.
Dr.-Ing. O. S e i b e r t , Gelsenkirchen, Gelsenberg Benzin AG.
Prof. Dipl.-Ing. U. S e n g e r , Stuttgart, Technische Hochschule
Dr.-Ing. K. S p a n g e m a c h e r , Bochum, Maschinenbau AG. Balcke
für die VDI-Geschäftsstelle: Dr.-Ing. G. R u p p e l , Düsseldorf
Dipl.-Ing. R. L a n g e r , Düsseldorf

Verein Deutscher Ingenieure

1. Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Benennung	Zeichen	Einheit	Benennung
a	grd	Kühlgrenzabstand ($t_{w2} - t_{f1}$)			Oberfläche eines Wasserteilchens und bei $\varphi = 100\%$ (Phasengrenzfläche)
b_t	mm QS	Barometerstand bei Außenlufttemperatur			Anzahl der Temperatur-Spannweiten R
b_0	Torr ¹⁾	Barometerstand auf 0 °C reduziert	m	—	Öffnungsverhältnis (bei Drosselmeßgeräten)
c_w	kcal/kg grd	Spezifische Wärme des Wassers	m	—	Anzahl der benutzten Thermometer
f	grd	Streufehler ($\delta - \delta_m$)	n	—	Anzahl der ausgewerteten Meßabschnitte
f_m	grd	Mittelwert von f für die ausgewerteten Teilmeßabschnitte	n	—	Leistungs a u f n a h m e des Ventilatorantriebsmotors (an den Klemmen)
f_{GW}	%	Meßspiel für die Messung des Wasserdurchsatzes	N_{K1}	kW	Leistungs a b g a b e des Ventilatorantriebsmotors (an der Motor-kupplung)
f_t	grd	Meßspiel der Temperaturmessung	N_M	kW	Änderung der Leistungsabgabe des Ventilatorantriebsmotors je Grad Änderung der Kaltwassertemperatur
f_{tw1}	grd	Meßspiel für die Messung der Warmwassertemperatur	ΔN_M	kW/g·d	Leistungsaufnahme des Ventilators (an der Ventilatorwelle)
f_{tw2}	grd	Meßspiel für die Messung der Kaltwassertemperatur	p	Torr	Gesamtdruck der feuchten Luft
f_{tL1}	grd	Meßspiel für die Messung der Luft Eintrittstemperatur	p_D	Torr	Teildruck des Wasserdampfs in ungesättigter Luft von der Temperatur t_L
f_{t1}	grd	Meßspiel für die Messung am feuchten Thermometer	p_L	Torr	Sättigungsdruck des Wasserdampfs bei der Temperatur t_L
F	m ²	fiktive Austauschfläche Wasser/Luft	p_t	Torr	Sättigungsdruck des Wasserdampfs bei der Temperatur t_f
F_{k0}	m ²	Oberfläche des Kühleinbaues	Q	kcal/h	Wärmedurchsatz des Kühlturms ($G_w \cdot c_w \cdot z$)
F_{L1}	m ²	Luft Eintrittsfläche	q	kcal/m ³ h	Wärmedurchsatz des Kühlturms, bezogen auf die berechnete Grundfläche (Q/F_r)
F_{L2}	m ²	Luft Austrittsfläche	r	t/m ³ h	Regendichte, d.i. Wasserdurchsatz bezogen auf die berechnete Grundfläche (G_w/F_r)
F_r	m ²	berechnete Grundfläche des Kühlturms	R	grd	Differenz zwischen Temperaturgrößtwert und -kleinstwert (sog. Temperatur-Spannweite) ($t_{\max} - t_{\min}$)
G_K	kg/h	Durchsatz des durch das Kühlwasser im Kondensator niedergeschlagenen Dampfes	R	grd	mittlere Spannweite
G_L	kg/h	Luftdurchsatz	R_D	kpm/kg grd	Gaskonstante des Wasserdampfs
G_W	kg/h (t/h)	Wasserdurchsatz	R_L	kpm/kg grd	Gaskonstante der trockenen Luft
G_{Wa}	kg/h	abgefluteter Teil des Wasserdurchsatzes	S	mg/kg	höchstzulässiger Salzgehalt des umlaufenden Kühlwassers
G_{Wk}	kg/h	Wasserverluste im Kreislauf	s	mg/kg	Salzgehalt des Zusatzwassers
G_{Wo}	kg/h	verdunsteter Teil des Wasserdurchsatzes	t_1	°C	Temperatur des Kühlwassers am Eintritt in den Kondensator
G_{Ws}	kg/h	in Tropfenform fortgeführter Teil des Wasserdurchsatzes	t_2	°C	Temperatur des Kühlwassers am Austritt aus dem Kondensator
G_{Wz}	kg/h	Durchsatz des Zusatzwassers	t_{f1}	°C	Temperatur der Eintrittsluft am feuchten Thermometer (Kühlgrenztemperatur, kurz: Kühlgrenze)
h_d	m WS	Gesamtdruckhöhe im Kühlwassereintritt, bezogen auf Beckenoberkante	t_{f2}	°C	Temperatur der Austrittsluft am feuchten Thermometer
Δh_d	m WS/grd	Änderung der Gesamtdruckhöhe je grd Änderung der Kaltwassertemperatur	t_L	°C	Lufttemperatur
h_e	m	Einlaufhöhe des Wassers über Beckenoberkante	t_{L1}	°C	Temperatur der Luft bei Eintritt in den Kühlturm
h_{ka}	m	Höhe des Kamins oberhalb des Wassereinlaufs	t_{L2}	°C	Temperatur der Luft oberhalb der Wasserverteilung
h_{k0}	m	Höhe des Kühleinbaus	t_{w1}	°C	Temperatur des Wassers bei Eintritt in den Kühlturm
H	m	Gesamthöhe des Kühlturms über Beckenoberkante	t_{w2}	°C	Temperatur des gekühlten Wassers am Eintritt in das Becken (Kaltwassertemperatur)
i_0	kcal/kg	Enthalpie des Dampfes bei Eintritt in den Kondensator			
i_k	kcal/kg	Enthalpie des den Kondensator verlassenden Kondensats			
i	kcal/kg	Enthalpie der feuchten Luft mit einem Anteil von 1 kg Trockenluft			
i_1	kcal/kg	dasselbe, gemessen am Kühlturmeintritt			
i_2	kcal/kg	dasselbe, gemessen oberhalb der Wasserverteilung			
i^*	kcal/kg	dasselbe bei der Temperatur der			

¹⁾ 1 Torr = 1 mm QS bei 0 °C

Zeichen	Einheit	Benennung	Zeichen	Einheit	Benennung
t_{W2}'	°C	nicht berichteter Sollwert der Kaltwassertemperatur (Garantiewert)	ΔG_W	grad	durch f_{G_W}
t_{W2u}	°C	berichteter Sollwert der Kaltwassertemperatur, die sich für die jeweiligen Betriebsverhältnisse aus den Garantiekurven ergibt (umgerechnet)	Δt_{W1}	grad	durch $f_{t_{W1}}$
t_{Wk}	°C	Temperatur des Wassers bei Austritt aus dem Becken nach Mischung mit dem Zusatzwasser	Δt_{W2}	grad	durch $f_{t_{W2}}$
t_{Wz}	°C	Temperatur des Zusatzwassers	Δt_{L1}	grad	durch $f_{t_{L1}}$
w	m/s	Windgeschwindigkeit in Höhe der Kühlturmöffnung	Δt_{f1}	grad	durch $f_{t_{f1}}$
$w_{L1}, w_{L2} \dots$	m/s	Luftgeschwindigkeit an den einzelnen Meßpunkten der Luft Eintrittsfläche	ΔSt	grad	durch f_m
w_{Lm}	m/s	mittlere Luftgeschwindigkeit in der Luft Eintrittsfläche	Δ_{ges}	grad	Gesamt toleranz für die Differenz ($t_{W2} - t_{W2u}$)
x_1	kg/kg (g/kg)	Wasserdampfgehalt, bezogen auf 1 kg Trockenluft, gemessen am Kühlturmeintritt	δ	grad	Unterschied zwischen gemessener und garantierter Kaltwassertemperatur ($t_{W2} - t_{W2u}$)
x_2	kg/kg (g/kg)	desgl. oberhalb der Warmwasserverteilung	δ_m	grad	Mittelwert von δ für die einzelnen ausgewerteten Meßabschnitte
z	grad	Kühlzonenbreite ($t_{W1} - t_{W2}$)	η_M	%	Wirkungsgrad des Motors für den Ventilatorantrieb
			λ	kg/kg	Luftzahl (G_L/G_W)
			ρ_L	kg/m³	Dichte der feuchten Luft
			ρ_{tr}	kg/m³	Trockenluftdichte je m³ feuchter Luft
			σ	kg/m²h	Verdunstungszahl
			φ_1	%	relative Feuchte der Luft beim Eintritt in den Kühlturm
			φ_2	%	relative Feuchte der Abluft oberhalb der Wasserverteilung im Kühlturm

2. Zweck der Regeln

2.1 Die Regeln sollen für Leistungsversuche an Kühltürmen allgemein gültige Grundlagen schaffen. Es soll erreicht werden, daß die Hersteller von Kühltürmen ihre Leistungszusicherung im Sinne dieser Regeln abgeben, so daß Abnahmeversuche auf einheitlicher Grundlage durchgeführt und ihre Ergebnisse auf die Garantiebedingungen umgerechnet werden können.

2.2 Die Regeln sollen ferner durch Vereinheitlichung der bei Untersuchungen an Kühltürmen anzuwendenden Ausdrücke, Grundbegriffe und Meßverfahren den Vergleich von Kühltürmen verschiedener Bauarten und Größen

unter verschiedenen Betriebs- und Witterungsverhältnissen erleichtern und so der technischen Weiterentwicklung dienen.

2.3 Das Schriftumsverzeichnis im Anhang der Regeln enthält Veröffentlichungen über Fragen der Kühlung von Wasser durch Luft. Eine Ergänzung der Regeln bilden die Tafeln I bis VIII; sie enthalten die für den Kühlvorgang wesentlichen Zustandswerte von trockener und feuchter Luft zwischen 0 und 50 °C, Vergleiche von Fahrenheit- und Celsiusgraden und Angaben zur Umrechnung von britischen und USA-Maßeinheiten in metrische.

3. Grundbegriffe

3.1 Ein Kühlturm im Sinne dieser Regeln ist eine Einrichtung, in der herunterrieselndes oder -tropfendes Wasser durch atmosphärische Luft abgekühlt wird, so daß es wieder zur Kühlung verwendet werden kann.

3.2 Die wesentlichen Teile des Kühlturmes sind (Bild 1): die aus offenen Rinnen oder Rohrleitungen bestehende Verteilungsanlage (a) und die Versprüheinrichtung für das in den Kühlturm eintretende Warmwasser,

der aus Tropfplatten, Rieselkörpern oder dgl. bestehende Kühleinbau (b),

das Becken (c) unterhalb des Kühleinbaus zur Aufnahme des gekühlten Wassers,

bei natürlich belüfteten Kühltürmen: der Kamin (d) oberhalb des Kühleinbaus,

bei künstlich belüfteten Kühltürmen: der Ventilator (e) mit Antrieb und eventuell Diffusor.

3.3 Die Kühlturm-Bauarten werden nach folgenden Gesichtspunkten unterschieden:

- Konstruktion des Kühleinbaus:
Tropfenfall- und Rieselflächen-Kühltürme sowie solche gemischter Bauweise,
- Konstruktion des Gehäuses:
z. B. Holz-, Stahlskelett- oder Stahlbetonbauweise,
- Werkstoff des Kühleinbaus:
z. B. Holz, Asbestzement, Kunststoff,

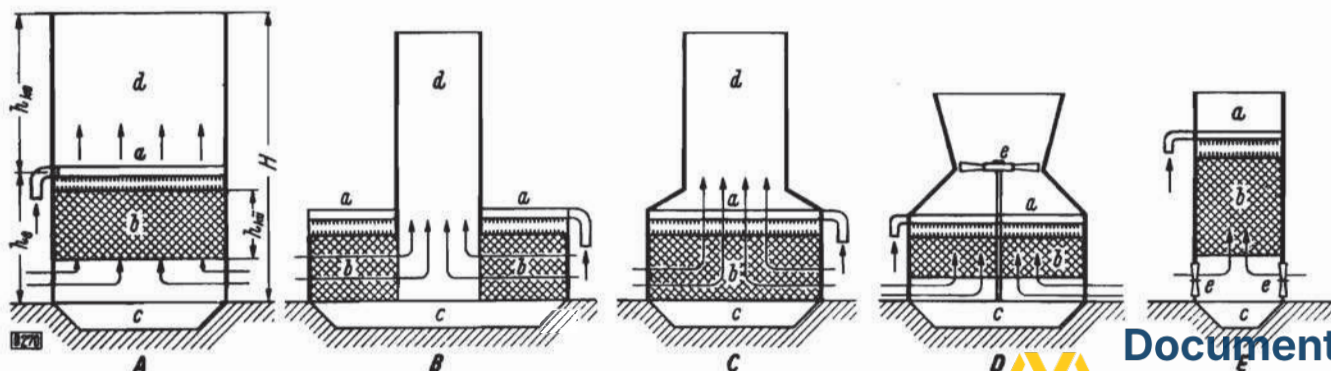


Bild 1. Grundformen von Kühltürmen.

d) Verlauf der Luftströmung zur Wasserbewegung im Kühleinhau:
Gegenstrom- (A), Querstrom- (B), Quergegenstrom- Kühltürme (C) (siehe Bild 1),

e) Triebkraft der Luftströmung:

natürlich belüftete (selbstventilierende) (A bis C) und künstlich belüftete (Ventilator-)Kühltürme, die entweder mit saugenden (D) oder drückenden (E) Ventilatoren arbeiten.

3.4 Der Nenndurchsatz ist der Wasserdurchsatz G_W , für den der Kühlturm ausgelegt ist. Bei Festlegung des Wasserdurchsatzes kann $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ t}$ gesetzt werden.

3.5 Die Kühlzonenbreite z ist die Differenz zwischen der Wassertemperatur t_{W1} bei Eintritt in den Kühlturm (Warmwassertemperatur) und derjenigen bei Eintritt in das Becken t_{W2} (Kaltwassertemperatur), also $z = t_{W1} - t_{W2}$.

3.6 Die Kühlgrenze ist die im äußersten Fall erreichbare Kaltwassertemperatur („Kühlgrenztemperatur“). Sie stimmt überein mit der am feuchten Thermometer des Aspirations-Psychrometers in der Umgebungsluft gemessenen Temperatur t_{f1} .

3.7 Der Kühlgrenzabstand a (englisch „approach“) ist die Differenz von Kaltwassertemperatur t_{W2} und Kühlgrenztemperatur t_{f1} , also $a = t_{W2} - t_{f1}$.

3.8 Als Wärmedurchsatz Q gilt das Produkt aus dem Wasserdurchsatz G_W , der spezifischen Wärme des Wassers c_W und der Kühlzonenbreite z , also $Q = G_W \cdot c_W \cdot z$.

3.9 Die Regendichte r ist der Wasserdurchsatz G_W , bezogen auf die berechnete Grundfläche F_r . Als berechnete Grundfläche gilt der waagerechte Querschnitt des Kühleinhau.

4. Arbeitsweise des Kühlturms

4.1 Allgemeines

Im Kühlturm wird warmes Wasser durch Wärmeabgabe an die freie Atmosphäre soweit abgekühlt, daß es für technische Kühlzwecke, sei es zum Niederschlagen von Dampf in Kondensationsanlagen, sei es für chemische Prozesse oder dgl., wieder verwendet werden kann. Das Wasser wird meist im Kreislauf dem Kühlturm wieder zugeführt. Bei gleichbleibendem Wasser- und Wärmedurchsatz ist im Beharrungszustand die Kühlzonenbreite konstant; die Lage der Kühlzone ist jedoch durch die Luftverhältnisse und die Güte des Kühlturms bedingt. Bleiben dagegen Warmwassertemperatur und Wasserdurchsatz konstant, so ist die Breite der Kühlzone durch die Luftverhältnisse und die Güte des Kühlturms bestimmt.

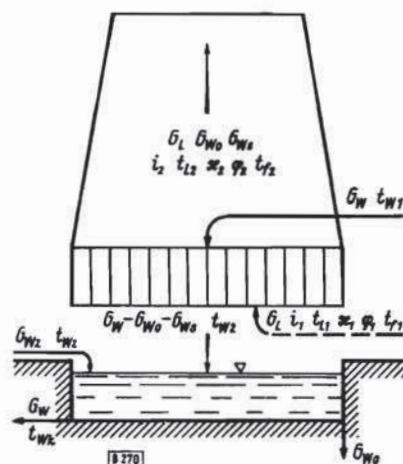


Bild 2. Schema des Kühlvorganges.

4.2 Kühlvorgang

Die Wärme des Wassers wird an die Luft zum Teil durch direkte Erwärmung der Kühlluft, überwiegend jedoch durch Verdunsten eines Teiles des Warmwassers abgegeben. Tritt die Luft beispielsweise mit $t_{L1} = 15^\circ \text{C}$ und $\varphi_1 = 70\%$ in den Kühlturm ein und verläßt ihn in gesättigtem Zustand mit $t_{L2} = 30^\circ \text{C}$, so beträgt nach Tafel VIa der gesamte Enthalpiezuwachs je 1 kg Trockenluft $i_2 - i_1$ rund $23,7 - 8,0 = 15,7 \text{ kcal/kg}$, wovon auf die Erwärmung der trockenen Luft ($\varphi_1 = 0\%$) nur $7,2 - 3,6 = 3,6 \text{ kcal/kg}$ entfallen. Rund 77% der gesamten Wärme werden in diesem Falle dem Wasser durch Verdunsten entzogen.

Aus der Näherungsgleichung²⁾

$$G_L \cdot (i_2 - i_1) = G_W \cdot c_W (t_{W1} - t_{W2})$$

ergibt sich die Luftzahl

$$\lambda = G_L / G_W = \frac{c_W \cdot (t_{W1} - t_{W2})}{(i_2 - i_1)}$$

Hier und im folgenden kann $c_W = 1 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C}$ gesetzt werden.

4.3 Güte des Kühlturms

Die Güte eines Kühlturms ist gekennzeichnet durch die unter gegebenen Bedingungen erreichte Annäherung der Kaltwassertemperatur t_{W2} an die Kühlgrenze t_{f1} . Als quantitatives Gütemaß kann dabei entweder der Kühlgrenzabstand selbst oder die von Merkel [31] aufgestellte Beziehung

$$\frac{\sigma \cdot F}{G_W} = \int_{t_{W2}}^{t_{W1}} \frac{c_W \cdot dt_W}{i^* - i}$$

benutzt werden [11, 16, 18, 21, 42, 47].

Der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft wird begünstigt durch

- a) große Wasseroberfläche,
- b) hohe Luftgeschwindigkeit,
- c) zweckmäßige Verteilung von Wasser und Luft über den Strömungsquerschnitt.

Diese Abhängigkeit muß beim Bemessen der Kaminhöhe bzw. der Ventilatoren, der Lufteintritts- und -austrittsöffnungen und der strömungstechnisch günstigsten Anordnung des Kühleinhau beachtet werden; die Luftgeschwindigkeit ist begrenzt durch die Gefahr des Mitreißen von Wasser in Tropfenform.

4.4 Luftdurchsatz

Bei selbstventilierenden Kühltürmen stellt sich der Luftdurchsatz nach dem Gleichgewicht zwischen Auftrieb und Widerständen ein; er ändert sich mit dem Luftzustand am Eintritt, dem Wasserdurchsatz, den Wassertemperaturen und der Windgeschwindigkeit. Bei künstlich belüfteten Kühltürmen wird der Luftdurchsatz vorwiegend durch die Charakteristik des Ventilators und den Strömungswiderstand des Kühlturms bestimmt.



Documents

Document Sharing Hub

²⁾ Genaue Gleichung hierfür siehe Abschnitt 6.332

4.5 Wasserverluste

Durch Verdunsten und „Spucken“ entstehen Wasserverluste (G_{W0} und G_{W8}). Um die durch Verdunsten entstehende Salzanreicherung in zulässigen Grenzen zu halten, muß ferner ein Teil des umlaufenden Wassers abgelassen (abgeflutet) werden (G_{Wk}). Die so entstehenden Verluste zuzüglich der Kreislaufverluste (G_{Wk}) müssen laufend oder in bestimmten Zeitabständen durch Zusatz frischen Wassers gedeckt werden (G_{Wz}).

4.51 Der reine Verdunstungsverlust G_{W0} kann unter Benutzung der Tafeln IIIa (oder IIIb) und VIa (oder VIb) nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$G_{W0} = \frac{G_W \cdot c_W \cdot (t_{W1} - t_{W2})}{\frac{i_2 - i_1}{x_2 - x_1} - c_W \cdot t_{W2}}$$

4.52 Der Wasserverlust durch Abfluten G_{Wk} ergibt sich rechnerisch daraus, daß der Salzgehalt s des Zusatzwassers G_{Wz} , das als Ersatz für den verschwundenen Teil ($G_{W0} + G_{W8} + G_{Wk}$) des Wasserdurchsatzes zugesetzt werden muß, dem Salzgehalt S des mit Salz angereicherten abgefluteten Wassers und der Kreislaufverluste entspricht, d.h.:

$(G_{W8} + G_{Wz} + G_{Wk}) \cdot S = (G_{W0} + G_{W8} + G_{Wz} + G_{Wk}) \cdot s$, also

$$G_{Wk} = G_{W0} \frac{s}{S - s} - G_{W8} - G_{Wz}$$

4.53 Einzelne Kühlturmbauarten, insbesondere solche mit hoher Luftgeschwindigkeit im Kamin, neigen zum Mitreißen von Wasser in Tropfenform in den Schwaden (Spucken), wodurch die Nachbarschaft belästigt wird. Unter Umständen werden auch Störungen an elektrischen Freileitungen infolge Salzablagerung und Eisbildung sowie Glatt-

eis auf Straßen verursacht. Die Tropfen entstehen entweder durch Nachkondensation oder durch den Aufprall des Wassers in den Verspritzern und an den Flächen des Kühleinbaus; im letzteren Falle enthalten sie auch einen Teil der im Kühlwasser gelösten Salze. Durch Einbau von Tropfenfängern oberhalb der Wasserverteilung läßt sich der Tropfenauswurf in erträglichen Grenzen halten.

Den Salzgehalt kann man dadurch nachweisen, daß man im Raum oberhalb des Kühleinbaus ein an der Unterkante mit einer Abflußrinne versehenes schwach geneigtes Blech von rund 1 m² Fläche anbringt, an dem sich die in den Schwaden enthaltenen Wassertropfen fangen, oder daß man einen Teilstrom der Schwaden geschwindigkeitsgleich absaugt und die darin enthaltenen Wassertropfen in einer geeigneten Vorrichtung (z. B. Zyklon) abscheidet. Der Niederschlag wird gemäß Abschnitt 4.6 auf seinen Salzgehalt untersucht.

4.6 Verunreinigung des Kühlwassers

Die durch Verdunsten bewirkte Salzanreicherung des Kühlwassers kann durch Eindampfen, Maßanalyse, Messen der elektrischen Leitfähigkeit oder auch durch Aräometrieren [35] ermittelt werden. Bei Abnahmeversuchen sollte mit nicht zu hohem Salzgehalt gefahren werden.

Karbonathärte im Zusatzwasser kann durch Steinbildung auf den Kühlflächen die Leistung des Kühlturms beeinträchtigen; sie sollte durch eine chemische Vorbehandlung des Wassers niedrig gehalten werden.

Das Kühlwasser kann ferner durch Staub in der angesaugten Luft verunreinigt werden. In einzelnen Fällen treten auch Spuren von Öl im Kühlwasser auf, welche sich filmartig auf den Kühlflächen niederschlagen und dadurch deren Benetzbarkeit zum Nachteil der Kühlwirkung verringern.

Algenbildung im Kühleinbau kann ebenfalls die Kühlwirkung beeinträchtigen.

5. Garantien

5.1 Gegenstand der Garantien

5.11 Der Lieferer hat die Garantie dafür zu übernehmen, daß der Kühlturm bei vereinbarten atmosphärischen Verhältnissen (Druck, Temperatur sowie relativer Feuchte der Luft) und bei gegebener Kühlzonenbreite $z = t_{W1} - t_{W2}$ einen bestimmten Wasserdurchsatz G_W auf eine bestimmte Temperatur t_{W2} abkühlt. Damit ist auch der Kühlgrenzabstand $a = t_{W2} - t_{f1}$ garantiert.

Nach Abschnitt 4.1 ist durch die Betriebsverhältnisse entweder die Kühlzonenbreite oder die Warmwassertemperatur unabhängig von der Kühlturmwirkung gegeben. Um eine einheitliche Beurteilung der Kühltürme zu erzielen, wird jedoch in allen Fällen die sich einstellende (gemessene) Kühlzonenbreite als Bestimmungsgröße für die nach der Garantie zu erreichende Kaltwassertemperatur verwendet.

Hierdurch werden die Garantie und ihre Nachprüfung von den Zufälligkeiten der Betriebsverhältnisse losgelöst und auf die den Kühlturm als Wärmeübertragungsanlage charakterisierende Frage zugeschnitten, wie sich die Wassertemperaturen bei einer bestimmten Wärmebelastung des Turmes und bei bestimmten Luftverhältnissen einstellen.

5.12 Ebenso ist die Gesamtdruckhöhe h_d des Kühlwassers beim Nenndurchsatz zu garantieren. Bei Kühltürmen mit freiem Einlauf kann $h_d = h_e$ gesetzt werden.

5.18 Bei Ventilatorkühltürmen ist der Leistungsbedarf des Ventilators einschließlich Getriebe (N_M) zu garantieren.

5.14 Zur Vermeidung schädlicher Feuchtigkeitsniederschläge in der Umgebung des Kühlturms können ferner wirksame Maß-

nahmen gefordert werden, durch die ein Spucken des Kühlturms verhindert wird (siehe Abschnitt 4.53).

5.15 Die Garantieverfüllung wird durch Vergleich der gemessenen Kaltwassertemperatur t_{W2} mit dem garantierten Wert t_{W2u} festgestellt.

In vielen Fällen ist darüber hinaus noch die Feststellung von besonderem Interesse, um welchen Betrag bei einer Über- oder Unterschreitung der garantierten Kaltwassertemperatur der Wärme- oder Wasserdurchsatz bei den im Vertrag festgelegten Luft- und Wassertemperaturen nach unten oder oben von den garantierten Werten abweicht.

Diese Abweichung läßt sich z. B. durch folgende Meßmethode ermitteln:

Bei möglichst genauer Einhaltung der dem Vertrag zugrundeliegenden Kühlzonenbreite z wird der Wasserdurchsatz so lange nach unten oder oben geändert, bis diejenige Kaltwassertemperatur erreicht ist, welche bei der jeweilig herrschenden Temperatur t_{f1} garantiert ist.

Bei künstlich belüfteten Kühltürmen (Ventilatorkühltürmen) mit regelbaren Ventilatoren ist mit der Änderung des Wasserdurchsatzes auch noch die Ventilatorleistung, und zwar im gleichen Verhältnis, zu verändern.

Sind die Ventilatoren nicht regelbar, so wird durch Änderung des Wasserdurchsatzes diejenige Kaltwassertemperatur eingestellt, die sich nach Umrechnung gemäß Abschnitt 5.23 ergibt.

Der Unterschied zwischen Q_{gem} und Q_{gar} ergibt alsdann die Minder- bzw. Mehrleistung des Kühlturms gegenüber der Garantie.

5.2 Garantie- und Berichtigungskurven

5.21 Garantiekurven

Da die Versuchsbedingungen im allgemeinen nicht mit den Garantiebedingungen im Auslegungspunkt übereinstimmen, sollen Kaltwassertemperatur t_{w2} bzw. Kühlgrenzabstand a nicht als einzelne Zahl, sondern in Kurvenform als Funktion des Luftzustandes garantiert werden. Innerhalb bestimmter Grenzen (siehe Abschnitt 5.3) soll jeder Punkt dieser Garantiekurven für sich zur Beurteilung der Erfüllung der Garantie genügen.

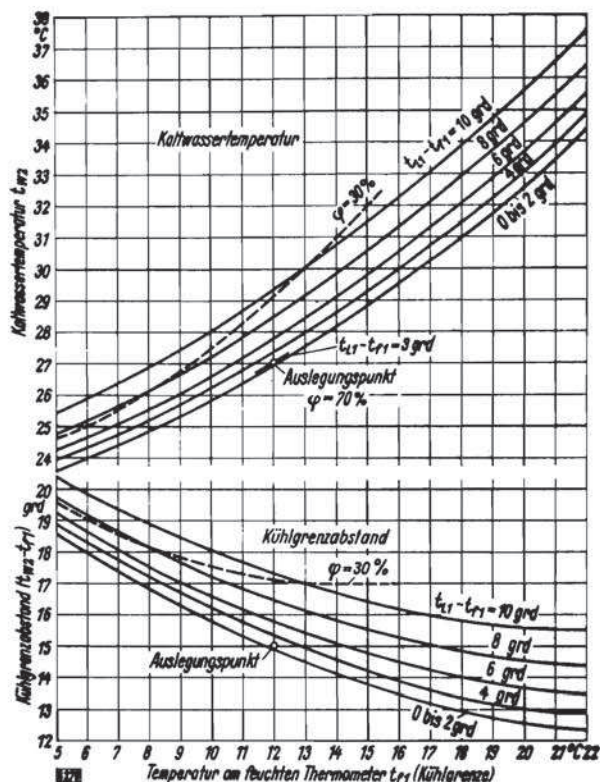


Bild 3. Beispiel von Garantiekurven für einen Kühlturm mit natürlicher Belüftung (selbstventilierend).

$$G_w = 9000 \text{ t/h; } z = 10 \text{ grad.}$$

Diese Kurven geben für die Auslegungswerte des Wasserdurchsatzes G_w und der Kühlzonenbreite z entweder die garantierte Kaltwassertemperatur t_{w2} oder den Kühlgrenzabstand a an, beides in Abhängigkeit von dem Eintrittsluftzustand t_{L1} und t_{f1} ; beide Darstellungen können gleichberechtigt benutzt werden. Beispiele zeigen die Bilder 3 und 4.

5.22 Berichtigungskurven für Wasserdurchsatz und Kühlzonenbreite

Für Abweichung des Wasserdurchsatzes G_w und der Kühlzonenbreite z sind Berichtigungskurven nach Art der Bilder 3a bzw. 4a in die Garantie aufzunehmen.

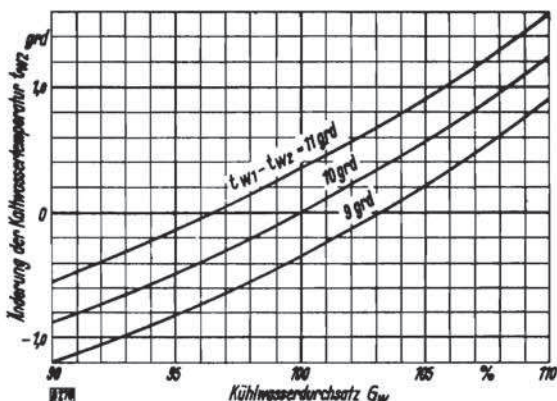


Bild 3a. Beispiel von Berichtigungskurven für einen selbstventilierenden Kühlturm.

5.23 Abweichung der Ventilatorleistung

Der Ventilator soll beim Abnahmeversuch nach Möglichkeit so eingestellt werden, daß der dem Vertrag zugrunde liegende Leistungsbedarf eingehalten wird. Die Mehr- oder Minderleistung des Ventilators ist innerhalb der in Abschnitt 5.31 genannten Grenzen nach einer in die Garantie aufzunehmenden Berichtigungskurve nach Art des Bildes 4b umzurechnen. Bei Kraftwerkskühltürmen kann

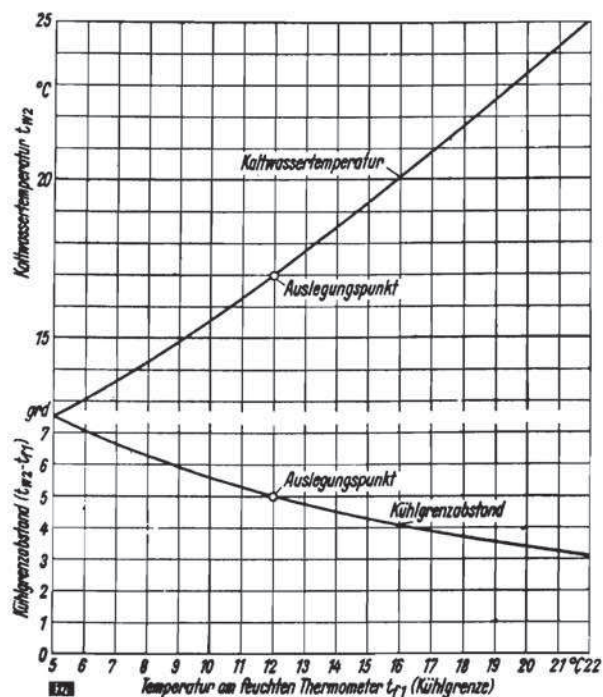


Bild 4. Beispiel einer Garantiekurve für einen Ventilator-Kühlturm.

$$G_w = 2500 \text{ t/h; } N_v = 230 \text{ kW; } z = 10 \text{ grad.}$$

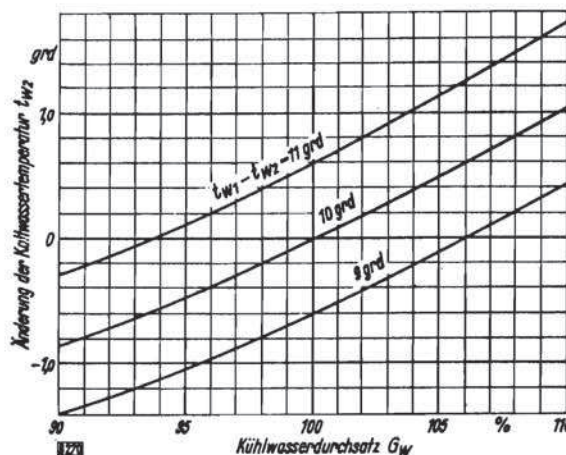


Bild 4a. Beispiel von Berichtigungskurven für einen künstlich belüfteten Kühlturm.

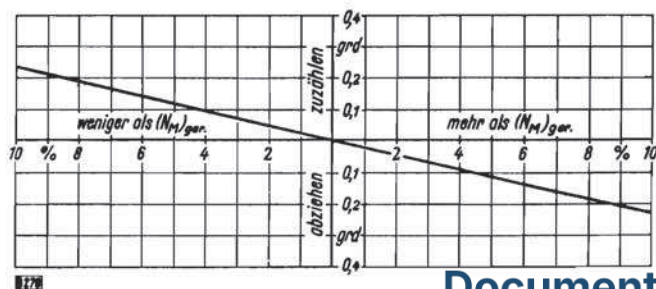


Bild 4b. Beispiel einer Berichtigungskurve für die Kaltwassertemperatur für Abweichungen vom garantierten N_M -Wert.

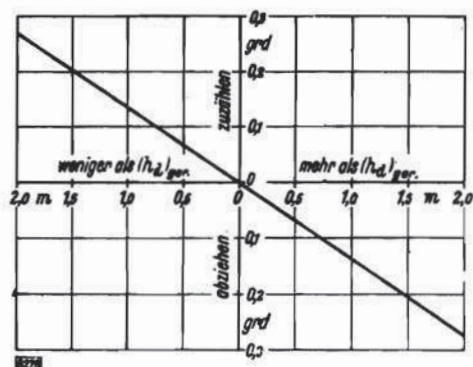


Bild 4c. Beispiel einer Berichtigung des Sollwertes der Kaltwassertemperatur für Abweichungen vom garantierten h_d -Wert (Düsendruck).

auch vereinbart werden, daß eine Umrechnung über die Leistungsabgabe der Turbine vorgenommen wird, die sich aus der Änderung der Wassertemperatur über das Vakuum der Turbine ergibt. Sodann kann die Änderung der Leistungsabgabe des Ventilatorantriebsmotors je $^{\circ}\text{C}$ Änderung der Kaltwassertemperatur (ΔN_M) nach folgender Zahlenwertgleichung ermittelt werden:

$$\Delta N_M = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot G_W \cdot (t_{W1} - t_{W2}).$$

5.24 Abweichung des Düsendrucks

Wenn Druckdüsen verwendet werden, ist der Wasserzufluß möglichst so einzustellen, daß der dem Vertrag zugrundeliegende Druck eingehalten wird. Liegt dieser innerhalb der in Abschnitt 5.31 festgesetzten Grenzen, so ist nach einer in die Garantie aufzunehmenden Belastungskurve (siehe Bild 4c) umzurechnen. Soll bei Kraftwerkskühltürmen die für die Kühlwasserpumpen erforderliche Änderung der Antriebsleistung gegen die Leistung der Turbine kompensiert werden, so gilt überschlägig, daß 1 $^{\circ}\text{C}$ tiefere bzw. höhere Kaltwassertemperatur einer Ände-

rung der Druckhöhe Δh_d entspricht, die sich aus folgender Zahlenwertgleichung ergibt:

$$\Delta h_d = 0,75 (t_{W1} - t_{W2}).$$

5.3 Gültigkeitsgrenzen für die Garantie- und Berichtigungskurven

5.31 Abweichungen der Versuchsbedingungen vom Auslegungspunkt sollen im Mittel, wenn im Vertrag nichts anderes vereinbart ist, in folgenden Grenzen bleiben:

Wasserdurchsatz G_W	$\pm 10\%$
Kühlzonenbreite z	$\pm 10\%$
Leistungsabgabe des Ventilatorantriebsmotors N_M	
a) bei Drehzahlregelung oder verstellbaren Schaufeln	$\pm 5\%$
b) bei nicht regelbaren Ventilatoren	$\pm 20\%$
Betriebsdruckhöhe der Düsen	$\pm 2 \text{ m WS}$
Kühlgrenztemperatur t_{f1} zwischen	5 und 22°C (absolute Werte).

Falls in Ausnahmefällen die Gültigkeitsgrenzen nicht eingehalten werden können, sind besondere Vereinbarungen zwischen den Beteiligten zu treffen. Dies gilt insbesondere, wenn die Abnahmeversuche aus besonderen betrieblichen Gründen, und um ihre Durchführung nicht unzulässig hinauszuschieben, unter Betriebsverhältnissen außerhalb dieser Grenzen vorgenommen werden müssen.

5.32 Die Windgeschwindigkeit w in Höhe der Kühlturm-mündung sollte während des Garantieversuchs bei einer Turmhöhe von $H = 30 \text{ m}$ den Wert 4 m/s und bei $H = 50 \text{ m}$ 5 m/s nicht überschreiten (siehe auch Abschnitt 6.36). Werden größere Windgeschwindigkeiten beobachtet, so können die zugehörigen Meßergebnisse nur dann als gültig gewertet werden, wenn beide Vertragspartner hiermit einverstanden sind.

6. Der Abnahmeversuch

6.1 Allgemeine Versuchsbedingungen

6.11 Mit der Durchführung und Auswertung der Versuche nach diesen Regeln sind nur Personen zu betrauen, welche die hierfür erforderliche Sachkenntnis besitzen. Sie sollen unter Beachtung des jeweiligen Untersuchungszwecks festlegen, welche der nachstehend aufgeführten Messungen im einzelnen vorzunehmen sind. Ihren Arbeiten sind daher die folgenden Bestimmungen mit sinngemäßer Anwendung und Auswahl für den einzelnen Fall zugrunde zu legen.

6.12 Soweit bei Versuchen an Kühltürmen Meßverfahren verwendet werden, für welche bereits VDI-Regeln bzw. DIN-Normen bestehen, sind die hierin enthaltenen Bestimmungen in jedem Falle bindend. Wasser- und Lufttemperaturen sind nach DIN 1953, VDI-Temperaturmeßregeln [56], zu bestimmen. Für alle Temperaturmessungen sind Thermometer zu verwenden, an denen Zehntelgrade abgelesen werden können; sie sollen mit amtlich geeichten Thermometern verglichen sein.

6.13 Das Meßergebnis kann stark von der Zahl und Anordnung der Meßstellen abhängen. Unterscheiden sich die Anzeigen der einzelnen Meßinstrumente nennenswert voneinander, so ist zu prüfen, ob die Bildung des arithmetischen Mittels ausreicht oder ob ein gewichtetes Mittel gebildet werden muß.

6.14 Während des Versuchs sind Wasser- und Wasserdurchsatz nach Möglichkeit konstant zu halten. Ein Beharrungszustand im strengen Sinne läßt sich wegen des im Tagesverlauf veränderlichen Zustandes der Außenluft sowie in manchen Fällen auch aus betrieblichen Gründen nicht erreichen.

6.15 Bei den für Kühlturmversuche im mitteleuropäischen Raum in Betracht kommenden klimatischen Verhältnissen können eine Lufttemperatur $t_{L1} = 15^{\circ}\text{C}$ und eine relative Luftfeuchte $\phi_1 = 70\%$, entsprechend einer Kühlgrenztemperatur $t_{f1} = 12^{\circ}\text{C}$, als Normalwerte gelten. Dieser Luftzustand sollte daher in der Regel bei der Auslegung von Kühltürmen als Richtwert zugrunde gelegt und bei der Wahl des Versuchszeitpunktes angestrebt werden.

6.2 Wassermessungen

6.21 Wasserdurchsatz

Wichtig ist es, bereits bei der Planung der Rohrleitungen Rücksicht auf die Messung des Wasserdurchsatzes zu nehmen. Beim Versuch ist sorgfältig darauf zu achten, daß zwischen Meßstelle und Kühlturm Wasser weder zu- noch abgeführt wird. Abzweigende Leitungen sind blindzufanschen. Große Wasserdurchsätze, wie sie bei dem Betrieb von Kühltürmen in Frage kommen, können nach folgenden Verfahren bestimmt werden:

- a) mit Düse, Blende oder Venturidüse (siehe DIN 1952, VDI-Durchflußmeßregeln [55]),
- b) mit Überfallwehr (siehe DIN 1943, VDI-Wasserturbinenregeln [58]),
- c) mit Staurohr (siehe DIN 1945, VDI-Verdichterregeln [57]),
- d) aus der Wärmebilanz des Kondensators der Kraftmaschine.

Gesichtspunkte, nach denen die Eignung eines Verfahrens für den besonderen Fall beurteilt werden können, sind in nachstehenden Abschnitten enthalten.