

DIN EN 14705

ICS 27.060.30; 27.200

Ersatz für
DIN 1947:1989-05

**Wärmeaustauscher –
Verfahren zur Messung und Bewertung der wärmetechnischen
Leistungsdaten von Nasskühltürmen;
Deutsche Fassung EN 14705:2005**

Heat exchangers –
Method of measurement and evaluation of thermal performances of wet cooling towers;
German version EN 14705:2005

Echangeurs de chaleur –
Méthode de mesure et évaluation des performances thermiques des aéroréfrigérants
humides;
Version allemande EN 14705:2005

Gesamtumfang 66 Seiten

Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) im DIN
Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN
Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14705:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 110 „Wärmeaustauscher im Bereich Kältetechnik und Klimageräte“ (Sekretariat: BSI) unter deutscher Mitwirkung ausgearbeitet.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss AA 11 „Kälte-Apparate“ im Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) verantwortlich.

Änderungen

Gegenüber DIN 1947:1989-05 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Inhalt der europäischen Norm übernommen.

Frühere Ausgaben

DIN 1947: 1923, 1931, 1944, 1951, 1959-06, 1989-05

Deutsche Fassung

Wärmeaustauscher —
Verfahren zur Messung und Bewertung der wärmetechnischen
Leistungsdaten von Nasskühltürmen

Heat exchangers — Method of measurement and
evaluation of thermal performances of wet cooling towers

Echangeurs de chaleur — Méthode de mesure et
évaluation des performances thermiques des
aéroréfrigérants humides

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 24. März 2005 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe und Symbole	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole	8
4 Funktionsprüfungen — Allgemeines	11
5 Garantie	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Garantieunterlagen	12
5.3 Bedingungen für die Gültigkeit der Messungen	13
6 Prüfverfahren	15
6.1 Prüfparameter	15
6.2 Zu messende Größen	16
6.3 Zu bestimmende Größen	17
6.4 Messungen und Berechnungen mittlerer Größen	17
6.5 Anordnung der Messgeräte	24
6.6 Messgeräte	29
7 Durchführung der Funktionsprüfungen	30
7.1 Definition einer Prüfung	30
7.2 Prüfdauer	31
8 Berechnungsverfahren	35
8.1 Allgemeines	35
8.2 Verfahren	35
9 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens	39
9.1 Allgemeines	39
9.2 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens bei der Grundprüfung	39
9.3 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens bei der erweiterten Prüfung	41
10 Messtoleranz	47
10.1 Allgemeines	47
10.2 Fehler durch nicht messbare systematische Abweichungen der Betriebsparameter	48
Anhang A (informativ) Leistungskurven	51
Anhang B (normativ) Anforderungen an die für die Prüfungen verwendeten Messgeräte	56
Anhang C (normativ) Berechnung des Stromes des verdunsteten Wassers	58
Anhang D (normativ) Hinweise zu den Fehlerberechnungen	61
Anhang E (normativ) Korrektur der Kaltwassertemperatur für die durch die Pumpe eingebrachte Wärme	63
Literaturhinweise	64

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14705:2005) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 110 „Wärmeaustauscher“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2005 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument enthält Literaturhinweise.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Anforderungen, Prüfverfahren und Abnahmeprüfungen zum Nachweis wärmetechnischer Leistungsdaten, der Pumpförderhöhe für Nasskühltürme sowie zur Verminderung von sichtbaren Schwaden für Nass-/Trockenkühltürme fest.

Diese Europäische Norm gilt für Naturzug-Nasskühltürme (siehe 3.1.2.2), für Naturzugkühltürme mit Ventilatorunterstützung (siehe 3.1.2.3), Nass-/Trockenkühltürme (siehe 3.1.2.4) und mit Ausnahme von Serienkühltürmen auch für „zwangsbelüftete“ Kühltürme.

Es werden Prüfverfahren, die erforderlichen Prüfgeräte, Fehlergrenzen und das Verfahren zur Auswertung der Ergebnisse festgelegt.

Die Abnahmeprüfung umfasst den Nachweis wärmetechnischer Kenndaten und der Pumpförderhöhe für Kühltürme, die im Vertrag zwischen Lieferant und Käufer festgelegt sind. Falls Abnahmeprüfungen gefordert werden, sollten sie bereits im Vertrag festgelegt werden, da zusätzliche Prüfausrüstungen und -vorbereitungen erforderlich werden können.

Abweichungen von und Zusätze zu den nachfolgend festgelegten Regeln bedürfen einer besonderen Vereinbarung zwischen Käufer und Lieferant und sollten dokumentiert werden.

Die vorliegende Norm gilt nicht für zwangsbelüftete Serien-Nasskühltürme, die in EN 13741 erfasst werden.

ANMERKUNG Ausdrücke wie „Auslegung“, „Werte“, „Garantie“ und „Abnahme“ werden in dieser Norm im technischen und nicht im juristischen oder kaufmännischen Sinne gebraucht.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 306, *Wärmeaustauscher — Messungen und Messgenauigkeit bei der Leistungsbestimmung*

EN 872, *Wasserbeschaffenheit — Bestimmung suspendierter Stoffe — Verfahren durch Abtrennung mittels Glasfaserfilter*

EN 60751, *Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Messwiderstände (IEC 60751:1983 + A1:1986)*

EN ISO 5167-1, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (ISO 5167-1:2003)*

ISO 1438-1, *Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes — Part 1: Thin-plate weirs*

ISO 2975-3, *Measurement of water flow in closed conduits — Tracer methods — Part 3: Constant rate injection method using radioactive tracers*

ISO/TR 3313, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Guidelines on the effects of flow pulsations on flow-measurement instruments*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Kühlturm

Einrichtung, in der Wasser durch Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft abgekühlt wird

3.1.2

Nasskühlturm

Kühlturm, in dem der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft durch direkten Kontakt erreicht wird

3.1.2.1

zwangsbelüfteter Nasskühlturm

Nasskühlturm, in dem die Luft durch einen Ventilator gefördert wird

3.1.2.1.1

zwangsbelüfteter Serien-Nasskühlturm

zwangsbelüfteter Nasskühlturm, der in seiner Bauart genormt ist und in einem vom Hersteller herausgegebenen Katalog beschrieben wird und für den Leistungsdaten verfügbar sind, die eine Prüfauswertung über den festgelegten Bereich von Betriebsbedingungen ermöglichen

3.1.2.1.2

nicht serienmäßiger zwangsbelüfteter Nasskühlturm

zwangsbelüfteter Nasskühlturm, der anforderungsspezifisch gestaltet wird und für den Leistungsdaten und Prüfauswertung unter bestimmten Betriebsbedingungen vereinbart werden können

3.1.2.2

Naturzugkühlturm

Nasskühlturm, in dem die Luftförderung ausschließlich durch die Dichtedifferenz zwischen der kalten Luft außerhalb und der warmen Luft innerhalb des Kühlturms erzeugt wird

3.1.2.3

Naturzugkühlturm mit Ventilatorunterstützung

Kühlturm mit natürlichem Zug, der durch einen Ventilator unterstützt wird

3.1.2.4

Nass-/Trockenkühlturm (Kühlturm mit verminderter sichtbarer Schwadenbildung)

Kühlturm, der aus zwei Teilen besteht: Im ersten Teil erfolgt der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft durch direkten Kontakt, im zweiten Teil durch eine wasserundurchlässige Wand

3.1.2.4.1

Nass-/Trockenkühlturm mit verminderter sichtbarer Schwadenbildung

Nass-/Trockenkühlturm, der zur Verminderung der Schwadensichtbarkeit konstruiert worden ist

3.1.2.4.2

Nass-/Trockenkühlturm zur Wassereinsparung

Nass-/Trockenkühlturm, der zur Reduzierung des Wasserverbrauchs konstruiert worden ist

3.1.3

Luftstrom

gesamte Menge der Luft und des in ihr enthaltenen Wasserdampfes, die durch den Kühlturm fließt

3.1.3.1

Gegenstrom

Luft und Wasser fließen in den Rieseleinbauten des Kühlturms in entgegengesetzten Richtungen

3.1.3.2

Querstrom

die Luft fließt in den Rieseleinbauten rechtwinklig zum Wasser

3.1.4

Umgebungs-Feucht(Trocken)lufttemperatur; Umgebungstemperatur des feuchten (trockenen) Thermometers

Feucht(Trocken)lufttemperatur der Luft, die auf der dem Wind zugekehrten Seite des Kühlturms gemessen und nicht vom Kühlturm beeinflusst wird

3.1.5

Kühlgrenzabstand

Differenz zwischen der Temperatur des rückgekühlten Wassers und der Feuchtlufttemperatur der Eintrittsluft

3.1.6

Kühlwassermassenstrom

Massenstrom des in den Kühlturm fließenden warmen Wassers

3.1.7

Kaltwasserbecken

unterhalb des Kühlturms angeordneter Behälter zur Aufnahme des rückgekühlten Wassers aus dem Kühlturm und zur Ableitung dieses Wassers in die Saugleitung oder Pumpenkammer

3.1.8

Kühlzonenbreite

Differenz zwischen Warmwassertemperatur und Temperatur des rückgekühlten Wassers

ANMERKUNG Diese Anmerkung betrifft nur die englische Fassung.

3.1.9

Tropfenauswurf

Wasser, das am Kühlturm in Form von mit der Austrittsluft mitgerissenen feinen Tröpfchen verloren geht und das die gleichen chemischen Kennwerte wie das Kühlwasser hat

3.1.10

Wärmelast

Menge der aus dem Wasser innerhalb des Kühlturms abzuführenden Wärme

3.1.11

Warmwassertemperatur

Temperatur des eintretenden Wassers

3.1.12

Feucht(Trocken)lufttemperatur der Eintrittsluft

mittlere Feucht(Trocken)lufttemperatur der eintretenden Luft unter Berücksichtigung möglicher Rezirkulationseffekte

3.1.13

Zusatzwasser

Wasser, das dem Kreislaufwasser zugesetzt wird, um Wasserverluste auszugleichen, die durch Verdunstung, Tropfenauswurf, Abflutung und Leckage verloren gehen

3.1.14

Abflutwassermenge (auch Abflutung)

Wasser, das aus dem System abgeführt wird, um die Konzentration von Salzen oder anderen Verunreinigungen im Kühlwasser zu bestimmen

3.1.15

Temperatur des rückgeköhlten Wassers

mittlere Temperatur des Wassers am Auslass des Kaltwasserbeckens ohne Berücksichtigung des in das Becken fließenden Zusatzwassers oder am Auslass des Wärmeaustauschers eines Nass-/Trockenkühlturns

3.1.16

Rezirkulation

Anteil der austretenden Luft, die in den Kühlturm zurückgesaugt wird

3.1.17

Interferenz

Ansaugung von Abluft aus benachbarten Kühltürmen

3.1.18

Kühlturm-Pumpförderhöhe

gesamte Druckhöhe des Wassers, die am Eintritt in den Kühlturm benötigt wird, um das eintretende Wasser durch die Wasserverteilung zu befördern

3.1.19

Regendichte

eintretender Wasserstrom, der als Menge je Einheit der vorgesehenen Fläche der Kühlturmeinbauten angegeben wird

3.1.20

Feucht(Trocken)lufttemperatur

Temperatur, die an einem ausreichend belüfteten und befeuchteten (trockenen) Thermometer im Schatten und (falls zutreffend) geschützt gegen alle Strahlungswirkungen angezeigt wird

3.1.21

atmosphärischer Temperatur-Gradient

Änderung der Trockenlufttemperatur der Luft in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel, angegeben in Grad Celsius je 100 m

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Größe	Einheit
A	Wärmeübergangsfläche je Volumeneinheit	m^{-1}
a	Winkel eines Rohrbogens	Grad
ap	Kühlgrenzabstand ($t_c - t_w$)	K
C	Wärmeoeffizient	—
CEV	Verdunstungsbeiwert bezogen auf die Differenz des Wasserinhalts	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
C_F	Lastverlustbeiwert	—
CFV	Verdunstungsbeiwert bezogen auf die Differenz des Wasserinhalts	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
C_S	Spezifischer Wasserverbrauch	$\text{kg} \cdot \text{J}^{-1}$
c_{pa}	Massebezogene Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c_{pe}	Massebezogene Wärmekapazität des Wassers	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
c_{pv}	Massebezogene Wärmekapazität des Dampfes bei konstantem Druck	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
D_{10}	Referenz-Windrichtung bezogen auf Norden	Grad
d	Hydraulischer Durchmesser	m
F_p	Ventilator-Antriebsleistung	kW
F_{pG}	Zugesicherte Ventilator-Antriebsleistung	KW
g	Erdbeschleunigung	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
H	Auftriebshöhe	m
h	Massenbezogene Enthalpie der Luft	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h_1	Massenbezogene Enthalpie der Luft am Lufteintritt, errechnet aus pa , t_s und φ	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h_2	Massenbezogene Enthalpie der gesättigten warmen Luft am Luftaustritt hinter den Tropfenabscheidern	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h_s	Massenbezogene Enthalpie der gesättigten feuchten Luft bei der Temperatur des Wassers	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
h_{s1}, h_{s2}	Massenbezogene Enthalpie der gesättigten feuchten Luft bei der Temperatur des Wassers, Index 1 = Eintritt, Index 2 = Austritt	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
k	Anzahl der Prüfungen	
$\frac{KAV}{q_{me}}$	Merkel-Zahl	—
L_{vt}	Latente Verdunstungswärme des Wassers bei der Temperatur t	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
m	Volumenstrom des Kühlwassers (Kreislaufwassers) am Kühlturm-eintritt	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
m_b	Errechneter Volumenstrom des Abflutwassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_{bm}	Gemessener Volumenstrom des Abflutwassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_E	Volumenstrom des verdunsteten Wassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_m	Volumenstrom des Zusatzwassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m^0	Nummer der Windgeschwindigkeitsklasse	
m_p	Volumenstrom des durch Tropfenauswurf verloren gegangenen Wassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
N	Bezeichnung für den Nennwert	
n	Konstanter Exponent des Austauschgesetzes	
n^b	Anzahl der Prüfungen je Klasse m^0	
$n^b m$	Anzahl der bei jeder Prüfung aufgezeichneten Werte	
P	Wärmelast	kW
pa	Luftdruck	Pa
p_{vs}	Sättigungsdruck des Dampfes	Pa
p_s	Statischer Druck	Pa
p_v	Teildruck des Dampfes in der Luft	Pa
q_{mas}	Massenstrom der trockenen Luft	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
q_{me}	Massenstrom des Kreislaufwassers am Kühlturmeintritt	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
q_{VF}	Leckwasser-Volumenstrom im Kühlwasser-Rekuperationssystem	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
q_{Vi}	Lokaler Volumenstrom	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
q_{VPC}	Volumenstrom der Umwälzpumpen	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
S_i	Strömungsquerschnitt für die Messstelle i	m^2
S_1, S_2	Querschnitte rechtwinklig zu den Druckmessstutzen im Wasserkreislauf	m^2
S_F	Anströmfläche des Kühleinbaus	m^2
T	Zeitpunkt des Prüfbeginns	h, min
t	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
t_a	Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft	$^{\circ}\text{C}$
t_b	Abflutwassertemperatur	$^{\circ}\text{C}$
t_c	Mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers unmittelbar über der Ebene des Kaltwasserbeckens (Kühlturm mit Regenzone) oder unmittelbar über dem Wasserspiegel in den Behältern (Kühlturm mit Wasser-Rückgewinnung)	$^{\circ}\text{C}$
t_{ci}	Mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers für die Prüfung i	$^{\circ}\text{C}$
t_{cGi}	Zugesicherte mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers für die Prüfung i	$^{\circ}\text{C}$
t_e	Mittlere Temperatur des Kaltwassers am Kühlturmaustritt (Mischung aus Kaltwasser und Zusatzwasser)	$^{\circ}\text{C}$
t_h	Mittlere Temperatur des Warmwassers am Kühlturmeintritt	$^{\circ}\text{C}$
t'_h, t''_h	Mittlere Temperatur des Warmwassers an den Zuflüssen	$^{\circ}\text{C}$

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
t_k	Lokale Temperatur	°C
t_m	Zusatzwassertemperatur	°C
t_w	Feuchtlufttemperatur am Lufteintritt	°C
t_{wa}	Feuchtlufttemperatur der Umgebungsluft	°C
t_s	Mittlere Trockenlufttemperatur am Lufteintritt	°C
T_V	Dauer bis zum Austausch des Kaltwassers im Becken	min
V	Gesamtvolumen des Kühleinbaus	m ³
v_D	Mittlere Frontalgeschwindigkeit der Luft am Eintritt des Kühleinbaus	m·s ⁻¹
v_i	Lokale Strömungsgeschwindigkeit	m·s ⁻¹
v_1, v_2	Wassergeschwindigkeiten rechtwinklig zu den Messquerschnitten	m·s ⁻¹
v_{W10}	Referenz-Windgeschwindigkeit 10 m über dem Bodenniveau	m·s ⁻¹
x	Höhenunterschied zwischen Sprühdüsenaustritt und dem Wasserspiegel im Kaltwasserbecken	m
γ	Korrekturbeiwert im Merkel-Integral	—
τ	Student-Zahl	—
$x\varphi$	Absolute Feuchte der Umgebungsluft	$\frac{\text{kg Wasser}}{\text{kg trockene Luft}}$
$x\varphi_1$	Absolute Feuchte der Luft am Lufteintritt	$\frac{\text{kg Wasser}}{\text{kg trockene Luft}}$
$x\varphi_2$	Absolute Feuchte der Luft am Kühlturmaustritt	$\frac{\text{kg Wasser}}{\text{kg trockene Luft}}$
φ	Relative Feuchte der Umgebungsluft	%
φ_1	Relative Feuchte der Umgebungsluft am Lufteintritt	%
φ_2	Relative Feuchte der Umgebungsluft am Kühlturmaustritt	%
Φ	Einflussfaktor Ventilator-Antriebsleistung	K/%
ρ	Dichte der Luft	kg·m ⁻³
$\rho_e(t)$	Dichte des Wassers im Kühlwassersystem bei der Temperatur t	kg·m ⁻³
ρ_1	Dichte der in den Kühlturm eintretenden Luft	kg·m ⁻³
ρ_2	Dichte der warmen Luft am Austritt, hinter den Tropfenabscheidern	kg·m ⁻³
σ	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit bei 10 m (v_{W10}) während der Prüfung	m·s ⁻¹
α_r	Wichtungsbeiwert für die Referenz-Windgeschwindigkeit der Klasse r	
Δp	Druckverlust des Kühlwassers	Pa
Δp_s	Statischer Differenzdruck, gemessen am Wasserkreislauf zwischen den Abschnitten s_1 und s_2	Pa

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
Δt	Gewichtete Differenz der Temperatur des rückgeköhlten Wassers	K
z	Differenz der Wassertemperaturen zwischen Kühlturmein- und -austritt (Kühlzonenbreite)	K
$t_{C_k} - t_{C_G}$	Differenz gegenüber dem zugesicherten Wert für die Temperatur des rückgeköhlten Wassers bei einer Prüfung	K
Δt_r	Differenz der Temperatur des rückgeköhlten Wassers bei der Referenz-Windgeschwindigkeit der Klasse r	K
θ	Augenblickstemperatur des rückgeköhlten Wassers	°C
λ	Allgemeiner Lastverlustbeiwert für Wasserkanäle	
μ	Koeffizient $\mu = \frac{h_2 - h_1}{h_{s1} - h_1}$	
ν	Koeffizient $\nu = \frac{h_{s1} - h_{s2}}{h_2 - h_1}$	

4 Funktionsprüfungen — Allgemeines

Sofern im Vertrag nicht anders festgelegt, müssen die in dieser Norm festgelegten Prüfungen des wärmetechnischen Verhaltens nach mindestens 3 Monaten Dauerbetrieb und unbedingt nach der Inbetriebnahme durchgeführt werden. Folgende Leistungskenndaten werden erfasst:

- Pumpförderhöhe — Fördermengen und Druckverlust (siehe 6.4.5);
- wärmetechnische Leistungskenndaten — Bestimmung der Temperatur des rückgeköhlten Wassers unter Messbedingungen (siehe 6.4.4.4);
- Emissionskenndaten (Verluste durch Tropfenauswurf);
- Schwadenzustandsdaten am Austritt (nur für Nass-/Trockenkühltürme).

Das in dieser Norm beschriebene Verfahren zum Nachweis der wärmetechnischen Leistungskenndaten gilt für alle im Anwendungsbereich definierten Kühltürme.

5 Garantie

5.1 Allgemeines

Vor Vertragsabschluss muss der Lieferant alle verfügbaren Unterlagen zur Betriebscharakteristik vorlegen, in denen die für den zu liefernden Kühlturm zugesicherten Eigenschaften in Abhängigkeit von den zulässigen Einflussparametern dokumentiert und festgelegt sind.

5.2 Garantieunterlagen

Der Lieferer eines Kühlturms muss garantieren:

- a) die Pumpförderhöhe des Kühlturms;
- b) die mittlere Temperatur des rückgekühlten Wassers (t_c) als Funktion
 - der Trockenlufttemperatur t_s ;
 - der relativen Feuchte φ oder der Feuchtlufttemperatur t_w ;
 - der Kühlzonenbreite (z) oder der Warmwassertemperatur t_h ;
 - des Kühlwassermassenstroms (m oder q_{me})

und, falls zutreffend, als Funktion anderer Parameter, z. B.

- der Ventilator-Antriebsleistung F_p ;
- des Interferenzfaktors;
- des Rezirkulationsfaktors;
- des Umgebungsluftdrucks P_a ;
- des atmosphärischen (vertikalen) Temperatur-Gradienten G .

Für Naturzugkühltürme dürfen in Abhängigkeit vom jeweiligen Vertrag erweiterte Prüfungen durchgeführt werden, bei denen die Windeinwirkungen am Prüfort, bezogen auf die Kühlturmleistung, berücksichtigt werden. Durch diese erweiterten Prüfungen ist vom Lieferer die mittlere Temperatur des Rückkühlwassers t_c als Funktion folgender Größen zu garantieren:

- der Windgeschwindigkeit v_{w10} ;
- der Windrichtung D_{10} .

Die Garantieunterlagen können in Form von Kalkulationstabellen, Kennlinien, Gleichungen, Computerprogrammen usw. vorgelegt werden.

Leistungskennlinien sollten entsprechend der Darstellung im Anhang A vorgelegt werden, wobei jedoch andere Darstellungen oder geeignete Gleichungen unter der Bedingung zulässig sind, dass sie den gleichen Informationsgehalt besitzen.

Die Leistungskennlinien müssen Ablesungen auf 0,1 K ermöglichen. Der Bereich, in dem Abnahmeprüfungen zulässig sind, muss nach 5.3.2 angegeben werden.

Falls zur Berücksichtigung von Einwirkungen anderer Parameter (z. B. Windgeschwindigkeit, atmosphärischer Temperatur-Gradient, Schwadenreduzierung, Luftdruck, Interferenzfaktor, Rezirkulationsfaktor) Korrekturkurven vorgesehen werden, müssen sie entsprechend den Festlegungen im Vertrag angewendet werden.

- c) Für Hybridkühltürme muss der Zustand der Austrittsluft für alle festgelegten Grenzbedingungen vorhergesagt werden:
- für die Trockenlufttemperatur t_s ;
 - für die relative Feuchte φ oder die Feuchtlufttemperatur t_w .

Andere Parameter dürfen in Abhängigkeit vom jeweiligen Vertrag zugesichert werden.

5.3 Bedingungen für die Gültigkeit der Messungen

5.3.1 Allgemeines

Die im Verlauf der Prüfungen ermittelten Messergebnisse dürfen nur berücksichtigt werden, wenn die nachfolgend aufgeführten Anforderungen erfüllt werden.

5.3.2 Zulässige Betriebsbedingungen

- a) während der Prüfungen dürfen die Werte für folgende Größen von den Auslegungswerten um die nachfolgend angegebenen Prozentanteile abweichen:
- Volumenstrom des Kreislaufwassers m : ± 10 % des Auslegungs-Volumenstromes m_N ;
 - Kühlzonenbreite $t_h - t_c$: ± 20 % des Auslegungs-Temperaturanstiegs $t_h - t_{cN}$;
 - Wärmelast P : ± 20 % der Auslegungs-Wärmelast P_N ;
- b) während der letzten Stunde am Ende der Messperiode müssen für den jeweiligen Temperatur-Gradienten folgende Bedingungen erfüllt sein:
- Wasserstrom $\leq \pm 2$ % je Stunde;
 - Wärmelast $\leq \pm 5$ % je Stunde;
 - Umgebungs-Feuchtlufttemperatur ≤ 1 K/Stunde.

5.3.3 Kreislaufwasser-Qualität

Die Qualität des im Umlaufsystem verwendeten Wassers und des Zusatzwassers muss den im Vertrag definierten Festlegungen entsprechen.

Das Wasser muss auf gelöste und suspendierte Feststoffe, Öl und die Konzentration organischer Bestandteile überprüft werden.

Die insgesamt gelösten Feststoffe dürfen die nachstehenden Werte nicht überschreiten (es gilt der jeweils höhere Wert):

- a) 5 000 ppm;
- b) 1,1fache Auslegungskonzentration.

Das Kühlwasser darf höchstens 10 ppm Öl, Teer oder fettige Stoffe enthalten.

Messverfahren für Feststoffe, siehe EN 872.

5.3.4 Sonstige Bedingungen

5.3.4.1 Anforderungen an die Einrichtung

Die gesamte Kühlturmanlage muss sich in einem einwandfreien Betriebszustand befinden. Besonders das Wasserverteilungssystem, die Tropfenabscheider und der Kühleimbau dürfen Fremdkörper nicht in Mengen enthalten, die wahrscheinlich eine Beeinträchtigung des üblichen Wasser- und Luftstroms bewirken.

Um festzustellen, ob die Anlage einwandfrei arbeitet, muss sie vor der Prüfung von beiden Vertragspartnern gemeinsam inspiziert werden.

5.3.4.2 Anforderungen an die klimatischen Bedingungen

Die klimatischen Bedingungen müssen innerhalb der üblichen Betriebsbereiche liegen, die im Rahmen einer Vereinbarung zwischen Besteller und Hersteller festgelegt werden.

Falls die Windbedingungen vertraglich vorgeschrieben werden, müssen die mittlere und die Spitzenwindgeschwindigkeit innerhalb der im Vertrag festgelegten Auslegungsgrenzen liegen. In diesem Fall muss der Kühlturmhersteller Angaben für die Windeinwirkung vorlegen (wie in 9.3.2 oder Anhang A aufgeführt).

Sind im Vertrag keine Grenzwerte vorgegeben, darf die mittlere Windgeschwindigkeit $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ nicht überschreiten. Für die Windstabilität gilt, dass während einer halben Stunde (30 min) vor Beginn und während der Messungen die Standardabweichung σ der Windgeschwindigkeit ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) des Referenzwindes einen festgelegten Grenzwert nicht überschreiten darf, unabhängig von der Dauer der Prüfung.

$$\sigma < 0,5 + 0,2 v_{\text{mean}} \text{ in allen Fällen}$$

Außerdem müssen während der Prüfung folgende atmosphärische Bedingungen eingehalten werden:

- Regen, Schnee oder Hagel dürfen nicht auftreten;
- Nebel darf nicht auftreten; die Differenz zwischen Trockenlufttemperatur t_a und Feuchtlufttemperatur t_w muss größer als $0,1 \text{ K}$ sein;
- für den Fall, dass in der Umgebung des Kühlturms große Hindernisse (andere Kühltürme, Maschinenräume, ...) vorhanden sind, dürfen nur die Prüfungen berücksichtigt werden, bei denen der Wind nicht aus Richtung dieser Hindernisse weht;
- die Feuchtlufttemperatur der Umgebungsluft t_w , für die am Lufteintritt der Mittelwert bestimmt wurde, muss mindestens 2 °C oder mehr betragen:

$$t_w \geq 2 \text{ °C}.$$

Besonders für Naturzugkühltürme ist es wichtig, während der Prüfung den atmosphärischen Temperatur-Gradienten zu überprüfen, da dieser die Dichte der Eintrittsluft beeinflusst, die als Teil der Antriebsleistung die Leistung des Kühlturms bewirkt. Falls der atmosphärische Temperatur-Gradient vertraglich vorgeschrieben wird, muss der mittlere Temperatur-Gradient, der bis zur doppelten Kühlturmhöhe gemessen wird, den vertraglichen Festlegungen entsprechen. Ist er im Vertrag nicht festgelegt, muss der mittlere Gradient negativ sein und mehr als $-1 \text{ K}/100 \text{ m}$ betragen.

Ein Indikator für den Temperatur-Gradienten kann die absolute Differenz zwischen der Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft t_a und der mittleren Trockenlufttemperatur am Lufteintritt in den Kühlturm t_s sein. Zwischen -1 K und 0 K entspricht sie in den meisten Fällen einem atmosphärischen Temperatur-Gradienten zwischen $+0 \text{ K} / 100 \text{ m}$ und $-1 \text{ K}/100 \text{ m}$.

Die Differenz zwischen der Trockentemperatur der Umgebungsluft t_a und der mittleren Trockentemperatur am Lufteintritt in den Kühlturm t_s muss wie folgt sein:

$$-1 < t_s - t_a < 0 \text{ K}$$

Ein weiterer Indikator für den vertikalen Temperatur-Gradienten der Trockenlufttemperatur des Kühlturms ist die Differenz zwischen der Trockenlufttemperatur auf Bodenniveau und der obersten Stelle des Lufteintritts. Für eine zulässige Prüfung muss die mittlere Trockenlufttemperatur an oder nahe der obersten Stelle des Lufteintritts mindestens $0,15^\circ\text{C}$ weniger als die $1,5 \text{ m}$ über Bodenniveau gemessene mittlere Trockenlufttemperatur betragen.

Bei möglicherweise zu erwartenden Inversionswetterlagen (positiver atmosphärischer Temperatur-Gradient) dürfen unabhängig vom jeweiligen Indikator Leistungsprüfungen nur auf Vereinbarung zwischen allen Vertragspartnern fortgesetzt werden.

5.3.4.3 Anforderungen an die betriebliche Konfiguration

Der Kühlturm muss sich im Normal-Betriebszustand befinden; Frostschutzsystem und Bypassleitungen müssen abgeschaltet sein.

5.3.4.4 Bedingungen für die Messgeräte

Vor Durchführung der Prüfungen müssen alle eingesetzten Messfühler und die im Falle der Verwendung eines indirekten Verfahrens zur Bestimmung eines Stromes eingesetzten Messgeräte kalibriert werden.

6 Prüfverfahren

6.1 Prüfparameter

In Tabelle 2 werden die Parameter zusammengestellt, die für alle im Anwendungsbereich dieser Europäischen Norm erfassten Kühlturmarten einen Einfluss auf die wärmetechnische Prüfung ausüben.

Tabelle 2 — Parameter, die bei allen Kühlturmarten einen Einfluss auf die wärmetechnische Prüfung ausüben

Art des Kühlturms	Lufttemperatur	Atmosphärischer Temperatur-Gradient	Windeinwirkung	Ventilator-Antriebsleistung	Sonstige Einflüsse
Mit Naturzug	Trockenlufttemperatur (Eintritt) Feuchtlufttemperatur (Umgebung)	X	X	—	
Mit Naturzug und Ventilatorunterstützung	Trockenlufttemperatur (Eintritt) Feuchtlufttemperatur (Umgebung)	X	X	X	
Mit Zwangsbelüftung (außer Serienkühltürme)	Feuchtlufttemperatur (Eintritt)	—	X	X ^a	X
Verminderung der feuchten/trockenen Abluft					
Mit Naturzug	Feuchtlufttemperatur (Umgebung oder Eintritt) Trockenlufttemperatur (Eintritt)	X	X		Besonderer Nachweis des Abluftzustandes
Mit Zwangsbelüftung	Feuchtlufttemperatur (Umgebung oder Eintritt) Trockenlufttemperatur (Eintritt)		X	X	

^a Die Rezirkulation ist nicht Teil der Garantie.

6.2 Zu messende Größen

Für alle aufgeführten Leistungskennndaten sind folgende Größen zu messen:

a) Wärmetechnische Leistungskennndaten:

- Referenz-Windgeschwindigkeit, gemessen 10 m über dem Boden;
- Richtung des 10 m über dem Boden gemessenen Referenz-Windes (nur, wenn bestimmte Sektoren zu berücksichtigen sind);
- Niederschlagsmessung (falls notwendig);
- Luftdruck p_a ;
- Feuchtlufttemperatur der Umgebungsluft t_{wa} , gemessen 10 m über dem Boden, oder alternativ die relative Feuchte der Umgebungsluft φ ;
- Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft t_a , gemessen 10 m über dem Boden;
- mittlere Trockenlufttemperatur der Luft am Eintritt in den Kühlturm t_{s1} ;
- mittlere Feuchtlufttemperatur der Luft am Eintritt in den Kühlturm t_w oder alternativ die relative Feuchte der Luft am Eintritt in den Kühlturm φ_1 ;
- Kaltwassertemperatur t_e ;
- mittlere Warmwassertemperatur des Kreislaufwassers t_h (falls zutreffend);
- Temperatur des Zusatzwassers t_m (falls erforderlich)¹⁾;
- Temperatur des Abflutwassers t_b (falls erforderlich)¹⁾;
- Volumenstrom des in den Kühlturm eintretenden Kreislaufwassers m ;
- Volumenstrom des Zusatzwassers m_m (falls erforderlich)¹⁾;
- Volumenstrom des Abflutwassers m_b (falls erforderlich)¹⁾.

b) Pumpförderhöhe des Kühlturms:

- Wasseransaugdruck am Kältemiteleintritt (oder Grenzwert für die Zuleitung).

c) Tropfenauswurfmessung:

- Volumenstrom des durch Tropfenauswurf verloren gegangenen Wassers, m_p , das die gleichen chemischen Kennwerte hat wie das Kreislaufwasser;

d) Verminderung von sichtbaren Schwaden:

- Feuchtlufttemperatur am Kühlturmaustritt t_{w2} oder relative Feuchte φ_2 ;
- Trockenlufttemperatur am Kühlturmaustritt t_{s2} ;

e) vertikaler atmosphärischer Temperatur-Gradient G ;

f) Ventilatorantriebsleistung.

1) Diese Temperaturen und Volumenströme müssen nur gemessen werden, wenn die Zu- oder Abführung des entsprechenden zusätzlichen Wasserdurchsatzes zwischen den Sektionen erfolgt, an denen die Warm- und Kaltwassertemperatur gemessen wird.

6.3 Zu bestimmende Größen

Folgende Größen sind zu errechnen:

- Kühlwassermassenstrom am Kühlturmeintritt;
- Kühlzonenbreite $t_h - t_c$;
- übertragene Wärmelast P ;
- Volumenstrom des verdunsteten Wassers m_E (kann gemessen werden);
- mittlere Temperatur des rückgekühlten Wassers t_c .

6.4 Messungen und Berechnungen mittlerer Größen

6.4.1 Messungen der atmosphärischen Parameter

6.4.1.1 Messungen der Referenz-Windgeschwindigkeit und -richtung

Die Messungen der Windgeschwindigkeit v_{w10} und der Windrichtung D_{10} müssen mit Flügelradanemometern und Windfahnen oder mit kombinierten Anemometern/Windfahnen durchgeführt werden.

Eine Messeinrichtung ist ausreichend. Bei erweiterten Prüfungen, bei denen der Einfluss des Windes auf die Kühlturmleistung am Prüfort beurteilt wird, müssen jedoch drei Messeinrichtungen eingesetzt werden.

In offenen Bereichen muss die Messeinrichtung in einer Höhe von 10 m über dem mittleren Bodenniveau angeordnet werden, und die Lage des Stützmastes muss in Abhängigkeit von den für die Prüfung ausgewählten Windsektoren nach Möglichkeit an einer offenen Stelle in einem Abstand von mindestens 300 m von einem größeren Hindernis (Kühlturm, Maschinenraumaussparungen usw.) festgelegt werden. Sollte diese Bedingung nicht einzuhalten sein, muss zwischen Hersteller und Besteller eine entsprechende Vereinbarung getroffen werden.

6.4.1.2 Messung der Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft t_a und der Feuchtlufttemperatur t_w oder der relativen Feuchte und des Luftdrucks

Bei Bedarf müssen die Trockenlufttemperatur und die Feuchtlufttemperatur oder die relative Feuchte der Umgebungsluft und der Luftdruck mit Temperaturmessfühlern und einem Barometer 10 m über dem Boden in der Nähe der Stelle gemessen werden, an der die Messungen der Windgeschwindigkeit und -richtung durchgeführt wurden.

Erforderlichenfalls muss der mittlere vertikale Temperatur-Gradient der Trockenlufttemperatur in der Umgebung des Kühlturms zwischen der Höhe der Mittellinie des Lufteintritts und bis zur doppelten Höhe des Kühlturms gemessen werden.

Die Messfühler müssen gegen Sonneneinstrahlung und Regen geschützt sein.

6.4.1.3 Erfassung von Regen

Regen kann mit einem Niederschlagsmesskübel oder mit einer Regenanzeigeeinrichtung (z. B. einem Regenmelder) oder durch Sichtprüfung nachgewiesen werden.

6.4.1.4 Messungen der Trockenlufttemperatur t_s am Lufteintritt und der Feuchtlufttemperatur t_w oder der relativen Feuchte

Für nicht beeinträchtigte Kühltürme müssen die Eintritts-Trockenlufttemperatur t_s und die Eintritts-Feuchtlufttemperatur t_w (oder die relative Feuchte) in der Nähe des Lufteintritts in einer Entfernung von höchstens 1,5 m vom Lufteintritt gemessen werden.

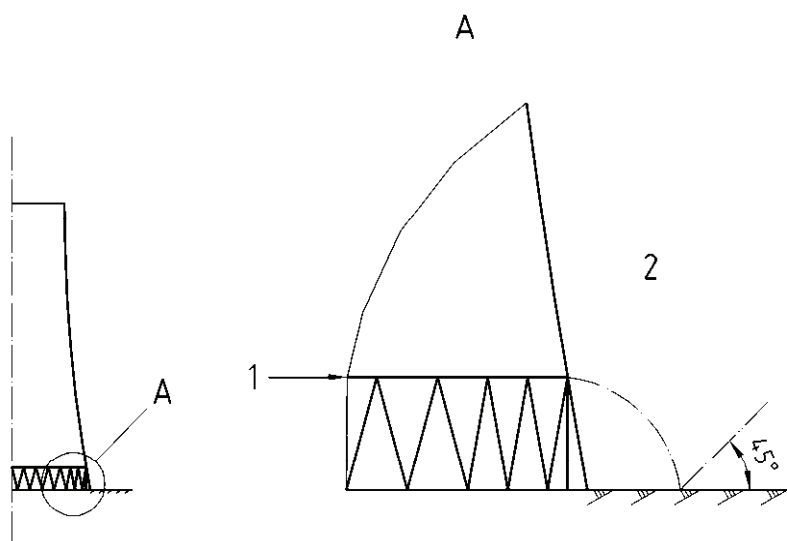
Die Mindestanzahl der Messfühler muss $n_c \times n_v$ betragen, dabei sind n_c die Anzahl der Messfühler am Umfang und n_v die Anzahl der Messfühler entlang der Höhe des Lufteintritts (siehe Tabelle 4).

Wenn mehrere Messfühler angewendet werden, müssen sie sowohl am Umfang als auch in vertikaler Richtung gleichmäßig verteilt angeordnet werden.

Wenn die Messfühler in nur einer Ebene angeordnet sind, sind sie vorzugsweise in der Mitte des Lufteintritts anzubringen.

Die Messfühler müssen gegen mögliche Wassereinwirkungen und gegen Sonneneinstrahlung geschützt sein.

Ein nicht beeinträchtigter Kühlturm ist dadurch gekennzeichnet, dass sich innerhalb eines Bereiches, der durch einen Kreis mit einem Radius, der der Höhe des Lufteintritts entspricht, und eine unter 45° geneigte Linie begrenzt wird, keine Hindernisse befinden, siehe Bild 1.



Legende

- 1 Höhere Ebene des Luftaustritts
- 2 Bereich ohne Hindernis

Bild 1 — Bereich ohne Hindernis am Lufteintritt

Falls diese Bedingungen nicht erfüllt werden, sind spezielle Grenzbedingungen erforderlich, die zwischen den Vertragspartnern vereinbart werden müssen. Bei Anwendung zusätzlicher Messstellen müssen die Ergebnisse entsprechend der Fläche gewichtet werden, die sie repräsentieren.

6.4.2 Messung und Berechnung der absoluten und relativen Feuchte der Umgebungsluft ($x\varphi$ und φ)

Messungen

Die Feuchte der Umgebung muss entweder unter Anwendung von drei Aspirationspsychrometern oder drei Hygrometern (z. B. mittels der Taupunktmessung) gemessen werden. Die Messeinrichtung muss geschützt gegen Sonneneinstrahlung und Regen in einer Höhe von 10 m über dem Bodenniveau in der Nähe der Messstellen angeordnet werden, an denen Windgeschwindigkeit und -richtung gemessen werden.

Die Messungen der Trocken- und der Feuchtlufttemperatur mit einem Psychrometer ermöglichen eine Bestimmung der relativen Feuchte der Umgebungsluft und auch eine Bestimmung der absoluten Feuchte, wozu die in 8.2.3 angegebenen Gleichungen angewendet werden.