

Wärmetauscher
Verfahren zur Messung und Auswertung der wärmetechnischen
Leistungskennndaten von Nasskühltürmen
Deutsche Fassung prEN 14705:2003

DIN
EN 14705

ICS 27.060.30; 27.200

Einsprüche bis 2003-09-30

Entwurf

Vorgesehen als
Ersatz für
DIN 1947:1989-05

Heat exchangers — Method of measurement and evaluation of
thermal performances of wet cooling towers;
German version prEN 14705:2003

Echangeur de chaleur — Méthode de mesure et évaluation des
performances thermiques des aéroréfrigérants humides;
Version allemande prEN 14705:2003

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nhrs@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter <http://www.din.de/stellungnahme> abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRs) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...*)

*) Wird bei Herausgabe als Norm festgelegt.

Fortsetzung Seite 2
und 60 Seiten prEN

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRs) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) im DIN
Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN

Nationales Vorwort

Dieser Norm-Entwurf wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 110 „Wärmetauscher“ (Sekretariat: Vereinigtes Königreich) erarbeitet.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist hierfür der Arbeitsausschuss 1.29.1 „Abnahmebedingungen für Nasskühltürme (SpA CEN/TC 110/WG 5)“ bisher zuständig gewesen. Die Arbeit wird künftig aber betreut werden vom FNKä „Normenausschuss Kältetechnik“.

Änderungen

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

— Inhalt der Europäischen Norm übernommen.

Wärmetauscher — Verfahren zur Messung und Auswertung der wärmetechnischen Leistungskenndaten von Nasskühltürmen

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

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.1c

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	6
3.1 Begriffe.....	6
3.2 Symbole	9
4 Funktionsprüfungen — Allgemeines	12
5 Garantie	12
5.1 Garantieunterlagen	13
5.2 Bedingungen für die Gültigkeit der Messungen.....	14
5.2.1 Zulässige Betriebsbedingungen.....	14
5.2.2 Kreislaufwasser-Qualität	14
5.2.3 Sonstige Bedingungen	14
6 Prüfverfahren.....	16
6.1 Prüfparameter.....	16
6.2 Zu messende Größen	16
6.3 Zu bestimmende Größen	17
6.4 Messungen und Berechnungen mittlerer Größen	17
6.4.1 Messungen der atmosphärischen Parameter	17
6.4.2 Messung und Berechnung der absoluten und relativen Feuchte der Umgebungsluft ($x\phi$ und ϕ)	19
6.4.3 Messung des Luftdrucks (p_a).....	19
6.4.4 Wassertemperatur.....	19
6.4.5 Wasserdurchsätze	20
6.4.6 Analyse des Kühlwassers	22
6.4.7 Pumpförderhöhe des Kühlturms	22
6.4.8 Ventilator-Antriebsleistung	22
6.4.9 Nachweismessung des Tropfenauswurfs	23
6.4.10 Besonderer Nachweis des Abluftzustandes	23
6.5 Anordnung der Messgeräte	24
6.6 Messgeräte.....	27
6.6.1 Datenerfassungsverfahren.....	27
6.6.2 Messfühler	27
6.6.3 Vor der Prüfung durchzuführende Inspektionen	27
7 Durchführung der Funktionsprüfungen	28
7.1 Definition einer Prüfung	28
7.1.1 Grundprüfung.....	28
7.1.2 Erweiterte Prüfung	28
7.1.3 Prinzipien	28
7.2 Prüfdauer	29
7.2.1 Dauer der Abnahmeprüfung — Anzahl der Perioden.....	29
7.2.2 Häufigkeit der Ablesungen (siehe 7.1)	29
8 Berechnungsverfahren.....	32
8.1 Berechnung der Stoffwerte	32
8.2 Verfahren.....	32
8.2.1 Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit und -richtung.....	32
8.2.2 Berechnung der mittleren absoluten und relativen Feuchte	33
8.2.3 Berechnung der mittleren Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft.....	33
8.2.4 Berechnung der mittleren Temperatur	33
8.2.5 Berechnung des mechanischen Druckverlusts.....	33
8.2.6 Berechnung des Volumendurchsatzes des in den Kühlturm eintretenden Kühlwassers m	34
8.2.7 Bestimmung der übertragenen Wärmelast (P).....	34
8.2.8 Nachweis der Garantie für die Unsichtbarkeit der Schwadenfahne	34

	Seite
9 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens	36
9.1 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens bei der Grundprüfung.....	36
9.1.1 Bewertung der Messwerte	36
9.1.2 Vergleich mit den zugesicherten Werten	36
9.1.3 Korrektur der Garantiebedingungen bei einer Abweichung	37
9.1.4 Einfluss der Luftdichte auf die Ventilator-Antriebsleistung.....	37
9.2 Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens bei der erweiterten Prüfung	38
9.2.1 Verfahren zur Untersuchung des wärmetechnischen Verhaltens bei Prüfungen	38
9.2.2 Charakteristische Gleichungen für den Kühlturm	38
9.2.3 Vereinfachende Annahmen	38
9.2.4 Berechnung der Merkel-Zahl	39
9.2.5 Aufbereitung der Prüfungen	43
10 Messtoleranz	44
10.1 Fehler durch nicht messbare systematische Abweichungen der Betriebsparameter	44
10.1.1 Einflussfaktor Φ_W für Unsicherheiten bei Messung der Feuchtlufttemperatur.....	45
10.1.2 Einflussfaktor Φ_Z für Unsicherheiten bei Messung der Kühlzonenbreite.....	45
10.1.3 Einflussfaktor Φ_F für Unsicherheiten bei Messung der Ventilator-Antriebsleistung	45
10.1.4 Einflussfaktor Φ_m für Unsicherheiten bei Messung des Wasserdurchsatzes	45
10.1.5 Bestimmung der Toleranzen für die Messeinrichtung.....	45
10.1.6 Durch nicht messbare systematische Abweichungen der Betriebsbedingungen verursachter Fehler	46
10.1.7 Bestimmung von Fehlern, die durch die Zufallsabweichung der Prüfergebnisse und zeitweilige Schwankungen der Betriebsparameter verursacht werden.....	46
Anhang A (informativ) Leistungskurven	48
Anhang B (normativ) Anforderungen an die für die Prüfungen angewendeten Messgeräte	51
Anhang C (informativ) Berechnung des Durchsatzes des verdampften Wassers	53
C.1 Einleitung.....	53
C.2 Spezifischer Wasserverbrauch C_S	53
C.3 Volumendurchsatz des verdampften Wassers m_E	54
C.4 Empfindlichkeit der Änderung von C_S gegenüber den Betriebsparametern	54
Anhang D (normativ) Hinweise zu den Fehlerberechnungen	55
D.1 Mittelwert (arithmetischer Mittelwert)	55
D.2 Standardabweichung der aufgezeichneten Einzelwerte in Bezug zum Mittelwert	55
D.3 Vertrauensgrenze und Vertrauensintervall des Mittelwertes	55
Anhang E (informativ) Korrelation des atmosphärischen Temperatur-Gradienten zur Luft Eintrittstemperatur	57
E.1 Allgemeines	57
E.2 Prüfergebnisse	58
E.3 Auswertung der Ergebnisse	59
E.4 Folgerung	59
Anhang F (normativ) Korrektur der Kaltwassertemperatur für die durch die Pumpe eingebrachte Wärme.....	60

Vorwort

Dieses Dokument prEN 14705 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 110 „Wärmetauscher“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom BSI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Es wird keine vorhandene Europäische Norm ersetzt.

Normative und informative Anhänge zu dieser Norm werden im Inhaltsverzeichnis aufgeführt.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Anforderungen, Prüfverfahren und Abnahmeprüfungen zum Nachweis wärmetechnischer Leistungskennndaten, 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 Serienkühltürme, die in prEN ... (TC 110/WG 5) erfasst werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 306, *Wärmetauscher — Verfahren zur Messung von Leistungsparametern.*

prEN 870, *Wasserqualität — Bestimmung suspendierter Feststoffe mit Filtern in Größen von 0,4 µm bis 0,5 µm.*

prEN 872, *Wasserqualität — Bestimmung suspendierter Feststoffe mit Glasfaserfiltern.*

EN 60651, *Schalldruckmessgeräte.*

ISO 1438-1, *Water flow measurement in open channels using thin wall weir.*

ISO 1771, *Thermometers with protected scale for general use.*

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

ISO/TR 3313, *Measurement of pulsating fluid flow in a pipe by means of orifice plates, nozzles or Venturi tubes.*

ISO 3354:1998, *Measurement of clean water flow in closed conduits — Velocity-area method using current-meters in full conduits and under regular flow conditions.*

ISO 3966:1977, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Velocity-area method for regular flows using pitot static tubes.*

ISO 4185, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Weighting method.*

ISO 5167-1:1992, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices — Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.*

ISO 8316:1988, *Measurement of liquid flow in closed conduits — Method by collection of the liquid in a volumetric tank.*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm 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 rückgeköhlten 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 rückgeköhlten Wassers aus dem Kühlturm und zur Ableitung dieses Wassers in die Saugleitung oder Pumpenkammer

3.1.8

Kühlzonenbreite

Differenz zwischen Warmwassertemperatur und Temperatur des rückgeköhlten 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 Rezirkulations-effekte

3.1.13**Zusatzwasser**

Wasser, das dem Kreislaufwasser zugesetzt wird, um Wasserverluste auszugleichen, die durch Verdampfung, 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 rückgekühlten Wassers**

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

3.1.16**Rezirkulation**

Anteil der austretenden Luft, die in den Kühlturm zurück gesaugt 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

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

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 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	Verdampfungsbeiwert bezogen auf die Differenz des Wasserinhalts	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
C_F	Lastverlustbeiwert	—
CFV	Verdampfungsbeiwert 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 Verdampfungswärme des Wassers bei der Temperatur t	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
m	Volumendurchsatz des Kühlwassers am Kühlturmeintritt	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
m_b	Errechneter Volumendurchsatz für das Abflutwasser	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_{bm}	Gemessener Volumendurchsatz für das Abflutwasser	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_E	Volumendurchsatz für das verdampfte Wasser	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m_m	Volumendurchsatz für das Zusatzwasser	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
m^0	Nummer der Windgeschwindigkeitsklasse	
m_p	Volumendurchsatz des durch Tropfenauswurf verloren gegangenen Wassers	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
N	Charakteristischer Index für das Nennmuster	
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_{mass}	Massendurchsatz der trockenen Luft	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
q_{me}	Massendurchsatz des Kühlwassers am Kühlturmeintritt	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
q_{VF}	Leckwasser-Volumendurchsatz im Rückkühlwasser-Rekuperationssystem	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
q_{Vi}	Lokaler Volumendurchsatz	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
q_{VPC}	Volumendurchsatz der Umwälzpumpen	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
S_{5t}	Strömungsquerschnitt für die Messstelle i	m^2
S_1, S_2	Querschnitte rechtwinklig zu den Druckmessstutzen im Wasserkreislauf	m^2
S_F	Vorderfläche des Wärmetauscherelements	m^2
T	Zeitpunkt des Prüfbeginns	h, min
t	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
t_a	Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft	C
t_b	Abflutwassertemperatur	C
t_c	Mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers unmittelbar über der Ebene des Kaltwasserbeckens (frei regnender Kühlturm) oder unmittelbar über dem Wasserspiegel in den Behältern (Kühlturm mit Wasser-Druckrückgewinnung)	C
t_{ci}	Mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers für die Prüfung i	C
t_{cGi}	Zugesicherte mittlere Temperatur des rückgeköhlten Wassers für die Prüfung i	C
t_e	Mittlere Temperatur des Kaltwassers am Kühlturmaustritt (Mischung aus Kaltwasser und Zusatzwasser)	C

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
t_h	Mittlere Temperatur des Warmwassers am Kühlturmeintritt	C
t'_h, t''_h	Mittlere Temperatur des Warmwassers an den Zuflüssen	C
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

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Größe	Einheit
σ	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit bei 10 m (v_{W10}) während der Prüfung	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
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
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 für die 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

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.

5.1 Garantieunterlagen

Der Lieferant eines Kühlturms muss garantieren:

- a) die Pumpförderhöhe des Kühlturmturms;
- 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)

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

- der Ventilator-Antriebsleistung F_p ;
- des Interferenz-Einflussfaktors;
- des Rezirkulations-Einflussfaktor;
- des Umgebungsluftdrucks P_a ;
- des (vertikalen) Temperatur-Gradienten der Umgebungstemperatur G .

Für Kühltürme mit einer Wärmeleistung von mehr als 1 500 MW dürfen in Abhängigkeit vom jeweiligen Vertrag erweiterte Prüfungen durchgeführt werden, bei denen die Windeinwirkungen am Prüfort berücksichtigt werden. Durch diese erweiterten Prüfungen ist 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 Tabellen, Kennlinien, 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 der Kurven, in dem Abnahmeprüfungen zulässig sind, muss nach 5.2.1 angegeben werden.

Falls zur Berücksichtigung von Einwirkungen anderer Parameter (z. B. Windgeschwindigkeit, atmosphärischer Temperatur-Gradient, Schwadenreduzierung, Luftdruck) Korrekturkurven vorgesehen werden, müssen sie entsprechend der 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.

5.2 Bedingungen für die Gültigkeit der Messungen

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

5.2.1 Zulässige Betriebsbedingungen

- a) Um in einem Zeitraum von einer Stunde vor der ersten Prüfung und während der Messungen stabile Bedingungen sicherzustellen, darf die Differenz zwischen den größten und den kleinsten Werten für die vom Kühlturm abgeführte Wärmelast P , die Kühlzonenbreite $t_h - t_c$ und den Eintritts-Wasserstrom m 5 % des während der Prüfung gemessenen mittleren Wertes nicht überschreiten;
- b) während der Prüfungen dürfen die Werte für folgende Größen von den Auslegungswerten um die nachfolgend angegebenen Prozentanteile abweichen:
- Kühlwassermassenstrom m : ± 10 % des Auslegungs-Volumendurchsatzes m_N ;
 - Kühlzonenbreite $t_h - t_c$: ± 20 % des Auslegungs-Temperaturanstiegs $t_h - t_{cN}$;
 - Wärmelast P : ± 20 % der Auslegungs-Wärmelast P_N ;
- c) während der Messperiode müssen für den jeweiligen Temperatur-Gradienten folgende Bedingungen erfüllt sein:
- Wasserdurchsatz $\leq \pm 2$ % je Stunde;
 - Wärmelast $\leq \pm 5$ % je Stunde;
 - Umgebungs-Feuchtlufttemperatur ≤ 1 K/Stunde;
 - Kaltwassertemperatur $\leq 1,2$ K je Stunde.

5.2.2 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.

Messverfahren für Feststoffe, siehe EN 872.

5.2.3 Sonstige Bedingungen

5.2.3.1 Anforderungen an die Einrichtung

Die gesamte Kühlturmanlage muss sich in einem einwandfreien Betriebszustand befinden. Besonders das Wasserverteilungssystem, die Tropfenabscheider und der Kühleinbau 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.

5.2.3.2 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 Kurven für die Windeinwirkung vorlegen (z. B. siehe 10.2).

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.

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

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 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: $t_w \geq 2 \text{ °C}$;
- die Differenz zwischen der Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft t_a und der mittleren Trockenlufttemperatur am Lufteintritt in den Kühlturm t_s muss folgende Ungleichung erfüllen (siehe Anhang E): $-1 \text{ K} < t_a - t_s < 0 \text{ K}$.

Besonders für Naturzugkühltürme ist es wichtig, während der Prüfung den atmosphärischen Temperaturgradienten zu überprüfen. Falls der atmosphärische Temperaturgradient 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 Hinweis auf den Temperatur-Gradienten ergibt sich aus der absoluten Differenz zwischen der Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft t_a und der mittleren Trockenlufttemperatur am Lufteintritt in den Kühlturm t_s zwischen -1 K und 0 K , die in den meisten Fällen einem atmosphärischen Temperatur-Gradienten zwischen $+0 \text{ K je } 100 \text{ m}$ und $-1 \text{ K je } 100 \text{ m}$ entspricht. In diesem Bereich ist möglicherweise keine Korrektur für die Temperatur des rückgeköhlten Wassers notwendig (siehe Beispiel einer Korrekturkurve für einen bestimmten Kühlgrenzabstand).

Bei Inversionswetterlagen darf keine Prüfung durchgeführt werden (positiver atmosphärischer Temperatur-Gradient).

Wenn $t_s - t_a \geq 0$ ist, können die Prüfungen nur auf Vereinbarung zwischen allen Vertragspartnern fortgesetzt werden.

5.2.3.3 Anforderungen an die betriebliche Konfiguration

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

5.2.3.4 Bedingungen für die Messgeräte

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

6 Prüfverfahren

6.1 Prüfparameter

In der folgenden Tabelle werden die Parameter zusammengestellt, die für alle im Anwendungsbereich erfassten Kühlturmarten einen Einfluss auf die wärmetechnische Abnahmeprüfung ausüben.

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

^a Die Rückführung ist nicht Teil der Garantie.

6.2 Zu messende Größen

Für alle aufgeführten Leistungskennndaten sind folgende Größen zu messen:

a) Wärmetechnische Leistungskennndaten:

- Referenz-Windgeschwindigkeit¹⁾;
- Referenz-Windrichtung¹⁾ (nur, wenn bestimmte Sektoren zu berücksichtigen sind);
- Niederschlagsmessung (falls notwendig);
- Luftdruck p_a ;
- Feuchtlufttemperatur der Umgebungsluft $t_{wa}^{1)}$ oder alternativ die relative Feuchte der Umgebungsluft φ ;
- mittlere Trockenlufttemperatur der Umgebungsluft $t_a^{1)}$;
- mittlere Trockenlufttemperatur der Luft am Eintritt in den Kühlturm t_{s1} ;
- Feuchtlufttemperatur der Luft am Eintritt in den Kühlturm t_{w1} oder alternativ die relative Feuchte der Luft am Eintritt in den Kühlturm φ_1 ;

1) Die Messung ist 10 m über dem Bodenniveau durchzuführen.

- Temperatur des rückgekühlten Wassers t_c ;
 - mittlere Warmwassertemperatur des Kreislaufwassers t_h (falls zutreffend);
 - Temperatur des Zusatzwassers t_m (falls zutreffend)²⁾;
 - Temperatur des Abflutwassers t_b (falls zutreffend)²⁾;
 - Volumenstrom des Abflutwassers m_b .
- b) Pumpförderhöhe des Kühlturms:
- Volumenstrom des Zusatzwassers m_m ;
 - Volumenstrom des Abflutwassers m_b (falls erforderlich);
 - Volumenstrom des in den Kühlturm eintretenden Kühlwassers m ;
- c) Wasserauswurfmessung:
- Volumenstrom des durch Sprühverlust mitgerissenen Wassers m_p , Wassers, das die gleichen chemischen Kennwerte hat wie das Kreislaufwasser;
- d) Verminderung des sichtbaren Schwadens:
- Feuchtlufttemperatur am Kühlturmaustritt t_{w2} ;
 - Trockenlufttemperatur am Kühlturmaustritt t_{s2} oder relative Feuchte ϕ_2 ;
- e) vertikaler atmosphärischer Temperatur-Gradient G ;
- f) Ventilator-Antriebsleistung.

6.3 Zu bestimmende Größen

Folgende Größen sind zu errechnen:

- Kühlwassermassenstrom;
- Kühlzonenbreite $t_h - t_c$;
- übertragene Wärmelast P ;
- Volumendurchsatz des verdampften Wassers m_E (kann gemessen werden);
- mittlere Kaltwassertemperatur t_e .

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_{10} und der Windrichtung D_{10} müssen mit Flügelradanemometern und Windfahnen oder mit kombinierten Anemometern/Windfahnen durchgeführt werden.

2) Diese Temperatur muss nur gemessen werden, wenn die Zu- oder Abführung des entsprechenden zusätzlichen Wasserdurchsatzes zwischen den Sektionen erfolgt, an denen die Warm- und Kaltwassertemperatur gemessen wird.