

Teil 2

Leistungspotential in schwindelnder Höhe

Bestimmung der Kühlleistung an Kühldecken in großen Höhen im Vergleich zur Kühlleistung nach DIN 4715

Christoph Kochendörfer* und Joachim Stimpel*

Normprüfungen von Kühldeckenleistungen nach DIN 4715 [1] sind heute Stand der Technik. Die Mehrzahl der eingebauten Kühldeckensysteme ist zwischenzeitlich nach dieser Norm geprüft. Es liegen somit Prüfberichte über die Kühlleistung dieser Systeme vor.

Bereits mehrfach wurde in Veröffentlichungen [2, 3, 4, 5, 6] auf die Problematik der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse in die Praxis hingewiesen. Die Mehrzahl der Autoren ist dabei der Auffassung, daß diese vergleichbar ermittelten Werte für die meisten Anwendungsfälle die einzige Basis für die Auswahl und die Auslegung von Kühldecken darstellen. Erst nach Einführung und durch die breite Akzeptanz dieser normierten Leistungswerte konnten die teilweise abenteuerlichen Leistungsangaben innerhalb der Branche auf eine sachliche, reproduzierbare Ebene gebracht werden. Die Thermodynamik und speziell die Gesetzmäßigkeiten der Wärmeübertragung sind nun auch in die technischen Unterlagen von Kühldeckensystemen zurückgekehrt.

* Dipl.-Ing. Christoph Kochendörfer, Jahrgang 1967, studierte Maschinenwesen an der Universität Stuttgart. Seit 1992 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter von Prof. Dr.-Ing. H. Bach am Lehrstuhl für Heiz- und Raumlufttechnik. Als Prüfbereichsleiter ist er seit 1993 verantwortlich für die Bereiche Raumkühlflächen und Deckenstrahlplatten an der Prüfstelle HLK Stuttgart.

* Joachim Stimpel, Jahrgang 1954, Techniker auf dem Gebiet Heizung - Lüftung - Klimatechnik. Seit 1984 ist er Mitarbeiter der Prüfstelle HLK Stuttgart. Als stellv. Prüfbereichsleiter ist er seit 1988 verantwortlich für den Bereich Heizkörper.

Die Gültigkeit der unter Normbedingungen ermittelten Kühlleistung kann für die meisten Anwendungsfälle zwischenzeitlich als gegeben angenommen werden. Dennoch wurde bereits in früheren Arbeiten auf Sonderfälle hingewiesen, bei denen eine differenziertere Betrachtungsweise vorteilhaft ist. An dieser Stelle soll nochmals auf den Einfluß warmer Fassaden sowie durch in die Decke eingebaute Luftdurchlässe hingewiesen werden. Beide Effekte können die übertragbare Kühlleistung von ebenen, geschlossenen Kühldecken erheblich gegenüber dem Basiswert aus der Normprüfung verändern.

In den folgenden Ausführungen soll nun ein weiterer Aspekt bei der Beurteilung von Kühldecken und deren Leistung beurteilt werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse von Messungen an Kühldecken sind ausschließlich im Bereich von 2,5 m bis max. 3 m Einbauhöhe ermittelt worden. Über den Einfluß großer Höhen auf die Gesamtleistung von Kühldecken liegen keine Erkenntnisse vor. Bisherige Veröffentlichungen beschränken sich auf die Beurteilung der veränderten Abstrahlung bei großen Höhen.

Teil 1 dieses Beitrags, der in KK 4/1998 veröffentlicht wurde, behandelte den Versuchsaufbau sowie die Durchführung, in dem nun folgenden Artikel werden die Ergebnisse der Messungen in einem speziell konstruierten Prüfstand beschrieben und diese mit Ergebnissen aus dem Prüfraum nach DIN 4715 verglichen. Die Einbauhöhe der Kühldecke beträgt dabei im großen Prüfstand 8 m (DIN-Prüfraum: 2,5 m). Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen soll gezeigt werden, ob und ggf. in welchem Maße die Leistung von Kühldecken bei sehr großen Einbauhöhen von den normierten Werten abweicht.

zu den Autoren

Dipl.-Ing.
Christoph
Kochendörfer,
Prüfbereichsleiter Raumkühlflächen an der Prüfstelle HLK Stuttgart



Joachim
Stimpel,
Techniker HLK,
stellv. Prüfbereichsleiter an der Prüfstelle HLK Stuttgart



Ergebnisse

Leistungsmessung bei Montagehöhe 8 m

Die grafische Darstellung der Kühlleistung in Abhängigkeit von der Untertemperatur zeigt Abb. 9. Die Kühlleistung bei einer Untertemperatur von 7 K (entspricht 16/18/24 °C) ergibt sich zu 74,6 W/m².

Wie erwähnt, wird parallel zur Bestimmung der Kühlleistung der vertikale Verlauf Lufttemperaturen gemessen

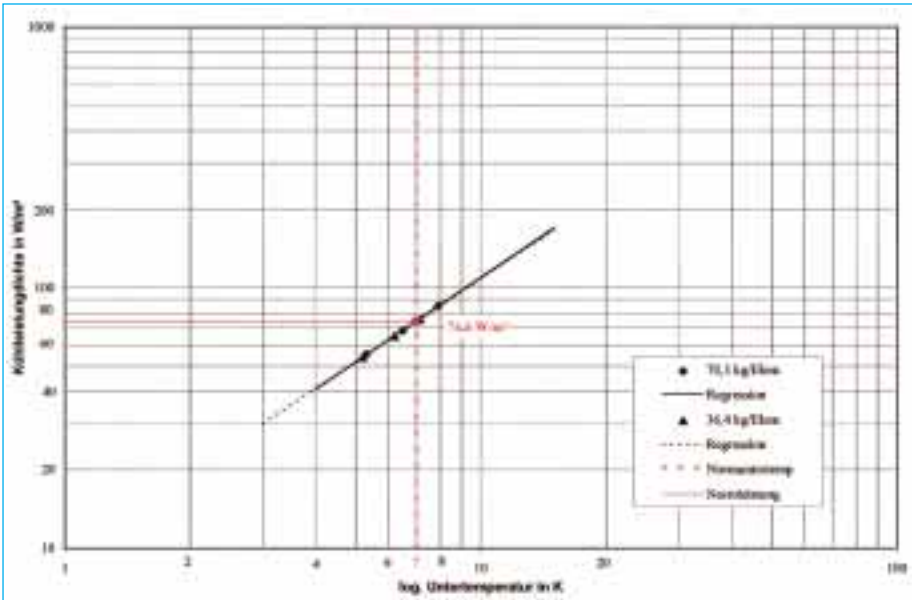


Abb. 9 Ergebnisdiagramm der Leistungsermittlung (mit Textilverhang)

(Abb. 10). Sehr gut erkennbar ist die Ähnlichkeit der Profile mit dem Maximalwert in der Höhe 3,0 m. Oberhalb dieser Höhe durchmischen sich der warme, aufwärtsgerichtete Thermikstrahl der Wärmequellen mit der von oben herabströmenden Kaltluft der Kühldecke. Bezieht man die gemessenen Temperaturen in den verschiedenen Höhen auf die Bezugslufttemperatur in 1,1 m Höhe, so ergibt sich die Darstellung in Abb. 11.

Es zeigt sich noch besser die Ähnlichkeit der Kurvenverläufe. Der maximale Gradient in der Lufttemperatur tritt zwischen den Höhen 1,1 m und 3,0 m auf. Er beträgt dort ca. 0,7 K/m, was jedoch deutlich innerhalb der gültigen Normen und Richtlinien für thermische Behaglichkeit liegt (DIN 1946 [8] bzw. ISO 7730 [9]).

Oberflächentemperaturverteilung bei Montagehöhe 8 m

Die thermographischen Untersuchungen zur Oberflächentemperaturverteilung werde im folgenden zusammengefaßt. Die Abbildungen 12 und 13 zeigen beispielhaft die Deckenansicht im Meßpunkt 1 für zwei verschiedene Auflösungen. Die hydraulische Durchströmung ist deutlich erkenn-

bar. Aus der Mitte heraus (oberes Element zusammen mit linker Reihe) sind 4 große Elemente in Reihe durchströmt. Ebenso sind die verbleibenden 2 Elemente der mittleren Reihe zusammen mit den 3 klei-

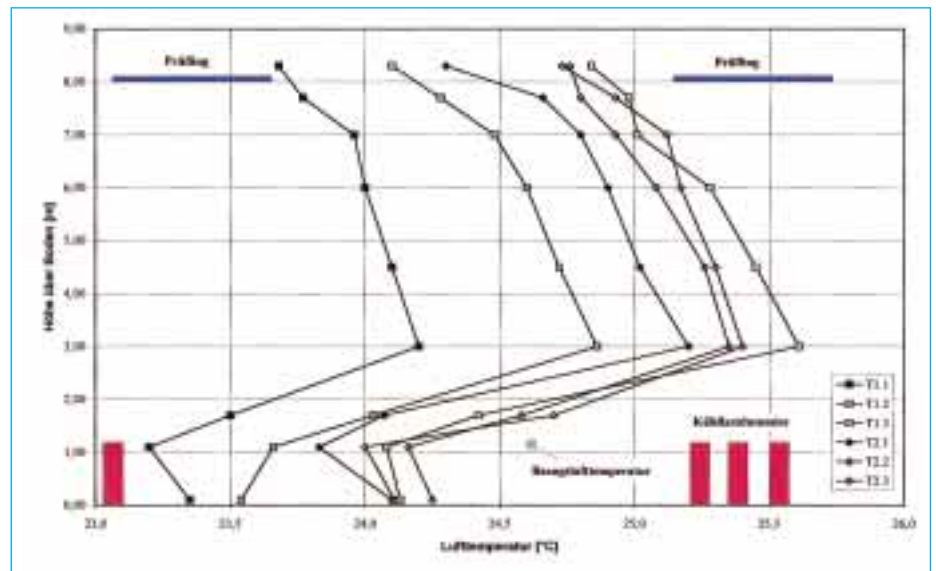


Abb. 10 Vertikaler Temperaturverlauf (Lufttemperaturen)

neren Elementen (rechte Reihe) in Reihe durchströmt (zusammen 5 Elemente). Somit ist der Rücklauf der beiden Kühlkreise links unten bzw. rechts oben.

Gut erkennbar sind die Bereiche, in denen der Kontakt zwischen den Aluminium-Wärmeleitschienen und der Stahlblechkassette nicht optimal hergestellt ist. Betrachtet man zwei Deckenmodule unterschiedlicher Qualität (gutes und schlechtes Element), so ergeben sich die folgenden Werte:

gut ausgeführtes Element: (links unten) mittlere Oberflächentemperatur: 19,7 °C Standardabweichung der Temp.: 0,65 K
schlecht ausgef. Element: (rechts unten) mittlere Oberflächentemperatur: 20,2 °C Standardabweichung der Temp.: 0,92 K
Der Vergleich zeigt, welchen Einfluß die Qualität der Anbindung zwischen Wärmeleitschiene und Kühldeckenmodul auf die Temperatur der Kühldeckenoberfläche hat.

Abb. 14 zeigt die Deckenansicht aus Abb. 6 mit den Temperaturverläufen in Längs- und Querrichtung.

Deutlich erkennbar ist die erhöhte Temperatur am Rand der Module sowie zwischen den Wärmeleitschienen. Wegen der starken Perforation der Metallkassette und deren geringer Blechstärke von 0,7 mm findet nur eine sehr geringe Wärmeleitung innerhalb der Metallkassette statt.

Die Überprüfung der Qualität der Kühldecke und somit der Kühlleistung nach der Installation im ausgeführten Projekt ist auf Basis solcher Untersuchungen möglich. Es bietet daher sowohl dem Bau-träger wie auch dem Planer die Möglichkeit der Kontrolle von Qualität und Leistung der gelieferten Bauleistung.

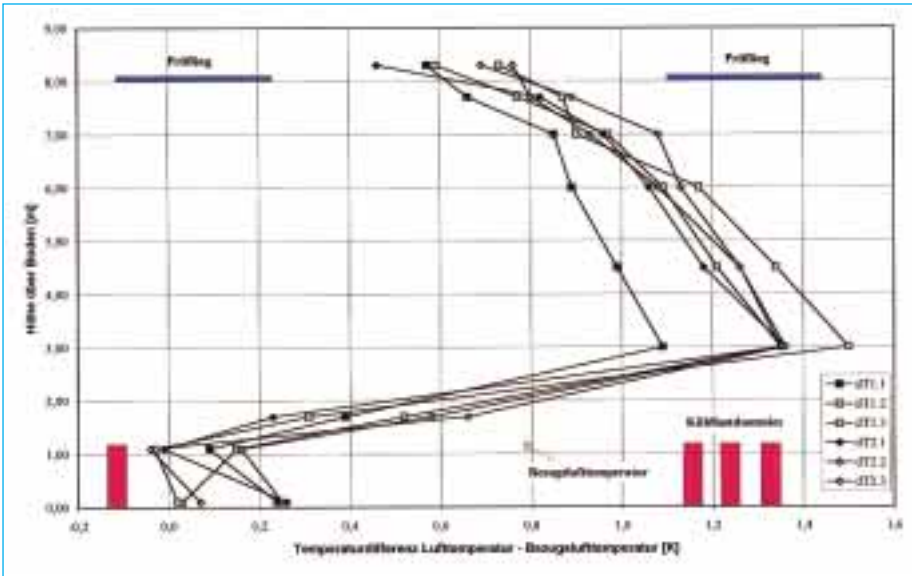


Abb. 11 Vertikaler Temperaturverlauf, bezogen auf die Bezugstemperatur in 1,1 m Höhe (Lufttemperatur)

DIN 4715 (ohne Textilvorhang, Bezugstemperatur = Globetemperatur in 1,1 m Höhe) durchgeführt werden. Der Textilverhang zur Strömungsberuhigung ist bei den Messungen im Normprüfstand lediglich 1 m lang. Abb. 15 zeigt die Ergebnisse der Leistungsermittlung.

Auffallend ist zunächst, daß der Vorhang für diese Untersuchungen keinen Einfluß auf das Ergebnis hat. Die Strömungsvorgänge im Prüfraum nach DIN 4715 sind gleichmäßig (12 Dummies, adiabate Wände) und insgesamt nur schwach ausgebildet (geringe Luftgeschwindigkeiten).

Betrachtet man nun die Abweichungen zwischen den Messungen mit den beiden verschiedenen Bezugstemperaturen, so ergibt sich bei einer Untertemperatur von 7 K eine Differenz von 2 W/m^2 (52 bzw. 50 W/m^2). Die auf eine strahlungsgeschützte Lufttemperatur bezogene Leistung ist somit 4 % geringer als die Werte

Leistungsermittlung nach DIN 4715 (Montagehöhe 2,6 m)

Die Leistungsermittlung wird in Anlehnung an DIN 4715 in einem geschlossenen Prüfstand ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$) durchgeführt. Die aktive Kühldeckenfläche beträgt $4,64 \text{ m}^2$ und ist somit kleiner als die vorgeschriebene Mindestfläche (ca. 10 m^2). Ansonsten wird die Prüfung entsprechend der Vorgaben aus der Norm durchgeführt. Es werden 4 verschiedene Versuchsvariationen untersucht:

1. mit Textilverhang, Bezugstemperatur = Globetemperatur in 1,1 m Höhe,
2. mit Textilverhang, Bezugstemperatur = strahlungsgeschützte Lufttemperatur in 1,1 m Höhe,
3. ohne Textilverhang, Bezugstemperatur = Globetemperatur in 1,1 m Höhe,
4. ohne Textilverhang, Bezugstemperatur = strahlungsgeschützte Lufttemperatur in 1,1 m Höhe.

Diese Unterteilung ist notwendig, da die Messungen im hohen Prüfstand (mit Textilverhang, Bezugstemperatur = strahlungsgeschützte Lufttemperatur in 1,1 m Höhe) abweichend von den Vorgaben aus

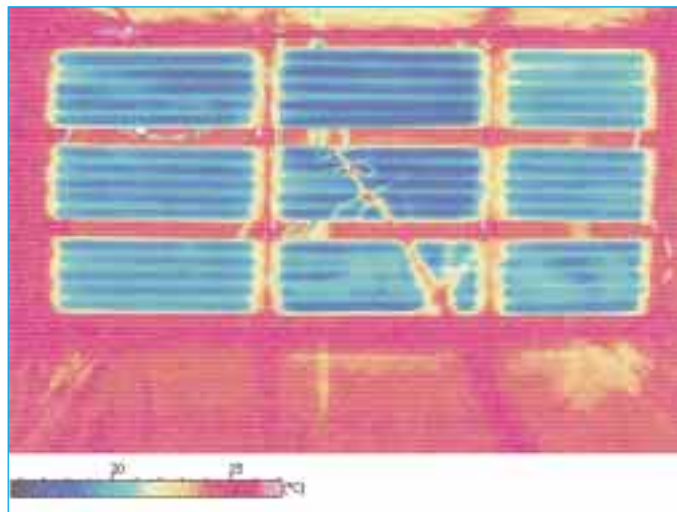


Abb. 12 Thermographie Meßpunkt 1

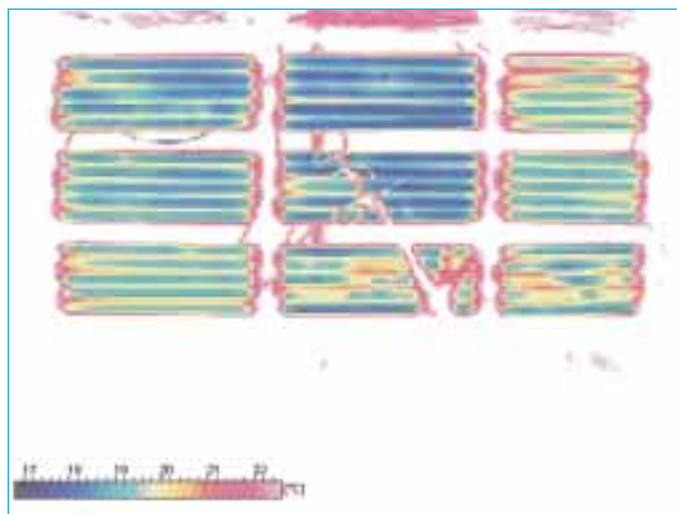


Abb. 13 Thermographie MP 1, hohe Auflösung

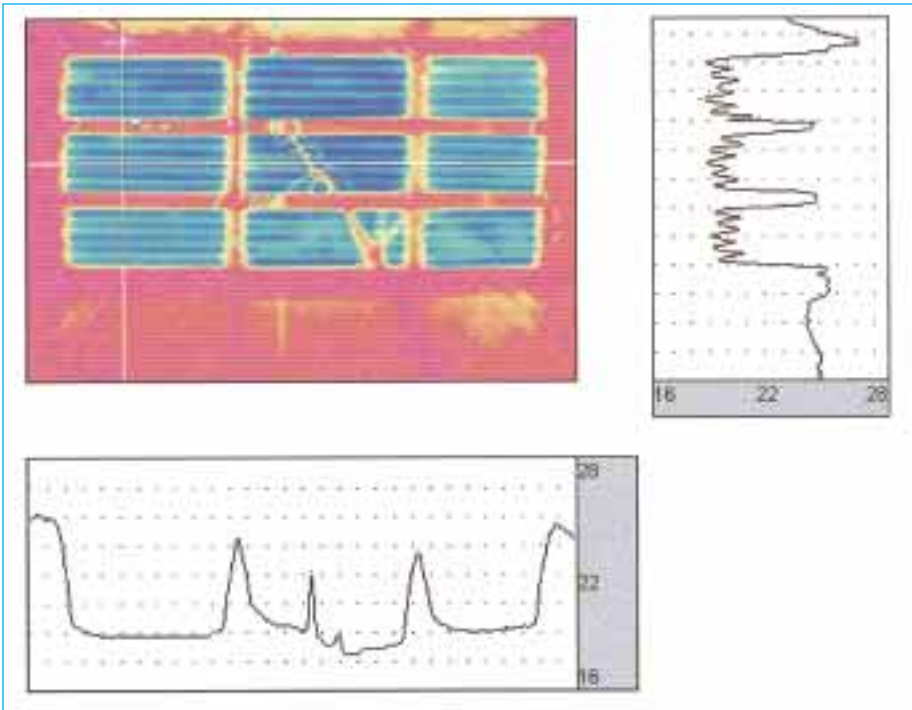


Abb. 14 Thermographie MP 1, Temperaturverlauf in Längs- und Querrichtung

nach DIN 4715 (Globetemperatur). Die Lufttemperatur ist um 0,1–0,4 K höher wie die in gleicher Höhe (1,1 m) gemessene Globetemperatur (abhängig vom Meßpunkt bzw. der Kühldeckentemperatur).

Dennoch ergibt der Vergleich der beiden verschiedenen Versuchsanordnungen (Montagehöhe 8 m bzw. 2,6 m) eine Abweichung der ermittelten Kühlleistungsdichte von 25 W/m^2 (75 bzw. 50 W/m^2) bei 7 K Untertemperatur. Dies bedeutet, daß die Montage derselben Kühldecke in 8 m Höhe eine um **50 %** gegenüber der Normprüfung **erhöhte Kühlleistung** ergibt. Sicherlich ist dies nicht allgemein gültig. Es zeigt jedoch ganz drastisch, welche Auswirkung stark abweichende Anwendungsfälle auf das Leistungspotential von Kühldecken haben können. Ergänzungsprüfungen zur Normprüfung sind hier sicherlich ab einer angemessenen Projektgröße ratsam.

Was könnte die Ursache für diese große Abweichung in der Kühlleistung sein? Abb. 16 zeigt zunächst die gemessenen Lufttemperaturen im Normprüfstand.

Wiederum ist die Ähnlichkeit der Kurvenverläufe auffallend. Allerdings ist im

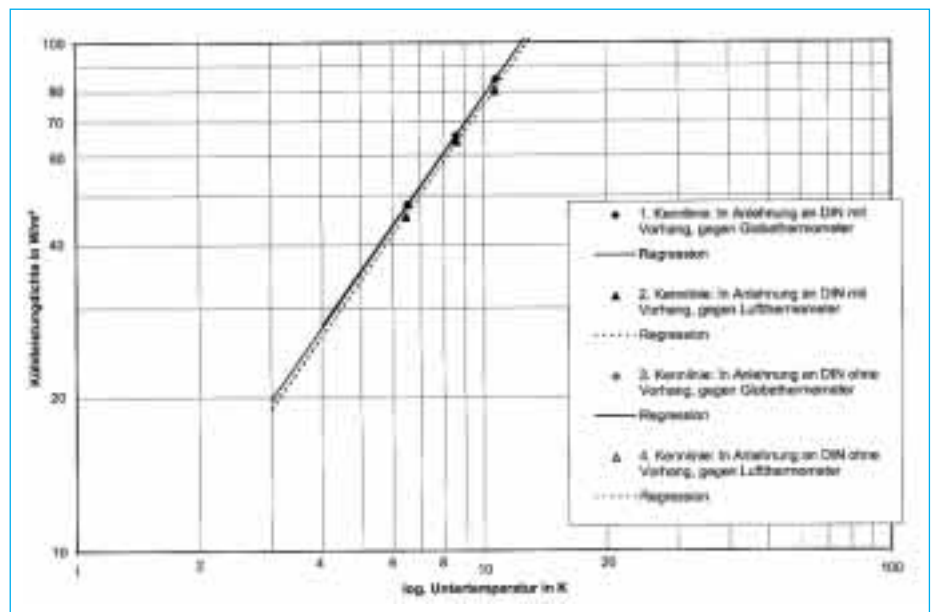


Abb. 15 Ergebnisdiagramm der Leistungsermittlung für Einbauhöhe 2,6 m (mit und ohne Textilverhang)

Unterschied zu den Messungen mit großer Montagehöhe der Kühldecke kein ausgeprägter Gradient in der Lufttemperatur erkennbar (vergl. Abb. 10). Die Lufttemperatur im Prüfraum ist weitgehend isotherm. Erst oberhalb der Kühldecke fällt die Lufttemperatur ab (trotz rückseitiger Wärmedämmung). Abb. 17 zeigt die Lufttemperaturen jeweils bezogen auf die Lufttemperatur in $1,1 \text{ m}$ Höhe. Die gemessenen Temperaturen um die und über der

Kühldecke liegen bis zu 1 K unter den Werten bei $1,1 \text{ m}$ Höhe.

Die gekühlte Raumluft kann nicht so frei abströmen und warme Raumluft nachgeführt werden, wie dies bei der größeren Montagehöhe der Fall ist (vergl. Abb. 11). Dies wird auch durch Visualisierung der Strömung mit Rauch erkennbar. Bei der niederen Montagehöhe behindern sich aufgrund der räumlichen Nähe die beiden entgegen gerichteten Luftströmungen an der Kühldecke (abwärts gerichtet) und den Kühllastdummies (aufwärts gerichtet).

Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Darstellung von Meßergebnissen an Kühldecken in 2 verschiedenen Versuchsanordnungen. In einem speziellen Prüfstand mit $8,5 \text{ m}$ Höhe werden Messungen an einer offenen Kühldecke, montiert in 8 m Höhe über dem Boden, durchgeführt. Vergleichend hierzu wird nach DIN 4715 in einem Prüfraum mit 3 m Höhe gemessen. Beide Prüfungen werden an der gleichen

Kühldecke durchgeführt, welche wiederum vom Aufbau so gestaltet ist, daß der Ab- und Wiederaufbau keine Beeinträchtigung der Kühldeckenleistung zur Folge hat.

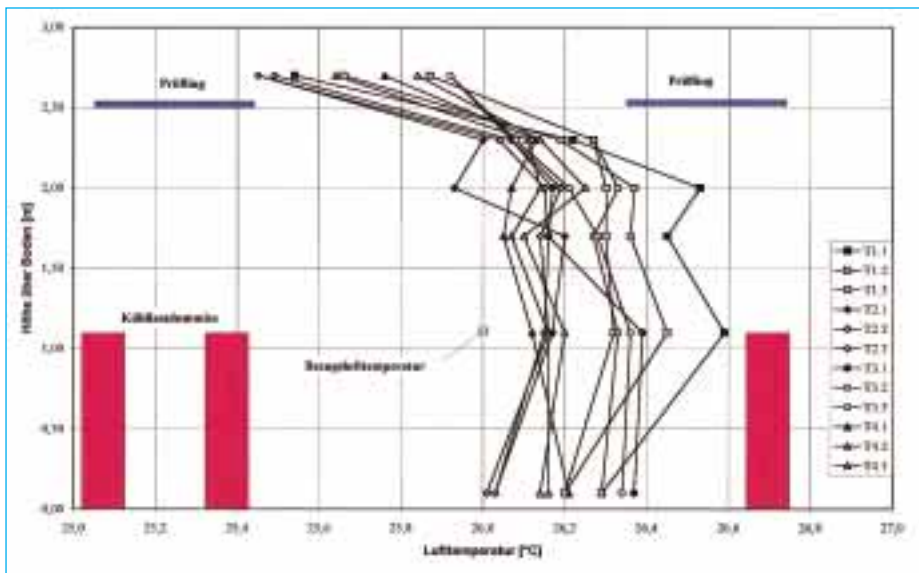


Abb. 16 Vertikaler Temperaturverlauf (Lufttemperaturen)

Der Vergleich der beiden Untersuchungen ergibt eine um 50 % höhere Kühlleistungsdichte des Prüflings bei großer Einbauhöhe gegenüber der Normprüfung. Ursache hierfür ist die durch die große Höhe begünstigte Abströmung der gekühlten Luft an der Kühldecke. Es bilden sich Raumbereiche mit ab- und aufwärts gerichteter Strömung aus.

Die Ergebnisse dieser in dieser Form bisher einmaligen Untersuchung sind nicht auf alle Anwendungsfälle gleichermaßen übertragbar, da das Ergebnis sicherlich vom Deckentyp (offene oder geschlossene Decke) sowie der Anordnung bei großer Montagehöhe abhängt. Allerdings zeigt der beschriebene Anwendungsfall sehr deutlich, wo die Grenzen der Übertragbarkeit von unter bestimmten Randbedingungen ermittelten Leistungswerte (z. B. nach Norm) auf andere abweichende Fälle sicherlich überschritten sind. Die Möglichkeit von speziellen Messungen unter Randbedingungen, welche den späteren Anwendungsfall besser abbilden (Modelluntersuchungen), sollte sorgfältig überdacht werden. Besonders in

Projekten, bei denen die Lastberechnungen z. B. mit Hilfe von Simulationsrechnungen sehr genau durchgeführt wurden, muß die Leistung der eingesetzten Kühlsysteme ebenfalls mit größerer Genauigkeit ermittelt werden.

„sicheren Seite“ darstellt, nicht gegeben. Abschließend soll jedoch nochmals festgestellt werden, daß für die meisten Anwendungsfälle (80–90 %) die Leistungswerte nach Norm direkt übertragbar sind und als Basis für Lastrechnungen verwendet werden sollten. Lediglich bei den oben beschriebenen Anwendungsfällen mit stark von der Norm abweichenden Randbedingungen (z. B. Montagehöhe, Belüftung, große Fassaden) können z. T. erhebliche Abweichungen zu den normierten Leistungswerten auftreten. □

Literatur

- [1] DIN 4715-1: Raumkühlflächen, Leistungsmessung bei freier Strömung, Prüfregeln.
- [2] Glück, B.: Kühldecken in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen, TAB 11/97, S. 59.
- [3] Leidinger, D.: Kühldecken: Einflußfaktoren – physikalisch gesehen, CCI 7/96, S. 45.
- [4] Grenzen und Möglichkeiten der Raumkühlflächen, Forum KI 12/96 und 1/97.
- [5] Kochendörfer, C.: Betriebsverhalten von Kühldecken, Heizung/Klima 3/96, S. 112.
- [6] Kochendörfer, C.; M. Schmid: Planungs- und Auslegungsprogramm für ebene, geschlossene Kühldecken, KK 10/96, S. 790.
- [7] VDI 2079, Beiblatt: Abnahmeprüfung an Raumlufttechnischen Anlagen, Funktions-Abnahmeprüfung von Raumkühlflächen, April 1995.
- [8] DIN 1946-2: Raumlufttechnik, Gesundheitliche Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln).
- [9] DIN ISO 7730: Gemäßigtes Umgebungsklima, Ermittlung des PMV und des PPD.

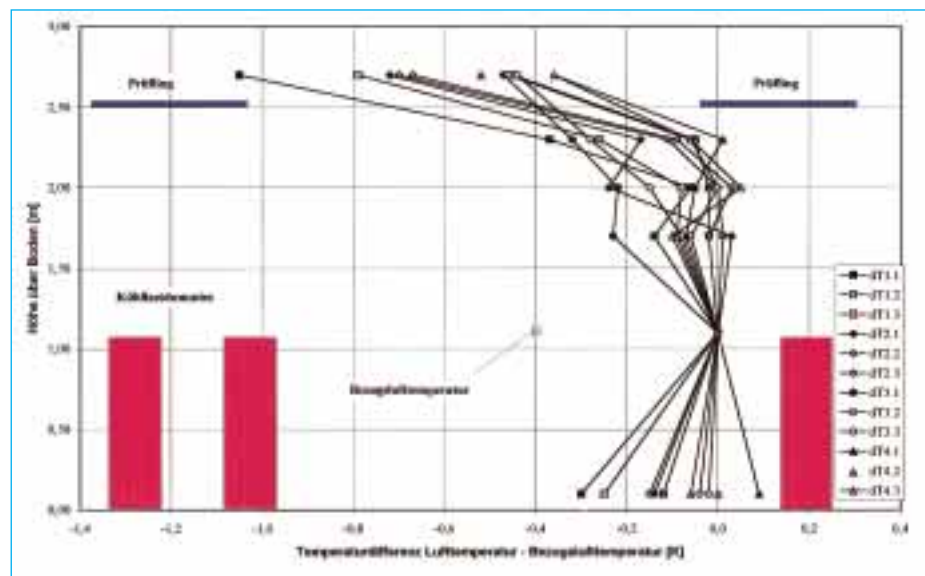


Abb. 17 Vertikaler Temperaturverlauf (Lufttemperatur), bezogen auf die Lufttemperatur in 1,1 m Höhe

Es sind im übrigen auch Ergebnisse bekannt, bei denen die nach Norm ermittelten Leistungswerte nicht – wie zumeist – unter den späteren Kühlleistungen liegen. In diesen Fällen ist die Annahme, daß die Normprüfung eine Absicherung nach der