

## Teil 1

# 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.

Die Gültigkeit der unter Normbedingungen ermittelten Kühlleistung kann für die meisten Anwendungsfälle zwischenzeitlich als gegeben angenommen werden. Dennoch wurde bereits in früheren Arbei-

\* 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.

## 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



ten 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.

Der folgende Artikel beschreibt die Ergebnisse von Messungen in einem speziell konstruierten Prüfstand und vergleicht



Abb. 1a Prüfling mit rücks. WD

diese mit Ergebnissen aus dem Prüfraum nach DIN 4715. 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 welchen Maße die Leistung von Kühldecken bei sehr großen Einbauhöhen von den normierten Werten abweicht.



Abb. 1b Kupferrohrmäander und Alu-WLS

**Prüfgegenstände**

Die Kühlleistung wird an einer Metallkassetendecke (Stahlblech, 0,7 mm) mit Kupferrohrmäander und Aluminium-Wärmeleitschienen bestimmt. Die Abbildungen 1a und b zeigen den Prüfling mit und ohne eingeleger, rückseitiger Wärmedämmung. Die raumseitige untere Fläche der Kassetten ist perforiert. Der Perforationsgrad beträgt dabei 70 %, wobei der Durchmesser der Perforationslöcher 10 mm beträgt.

Den genauen Aufbau des Prüflings mit Abmessungen zeigt Abb. 2. Die Kupferrohre (12 x 1) sind in die Wärmeleitschienen aus Aluminium eingepreßt. In diese Aluminium-Strangpreßprofile sind an der Unterseite linienförmige Magnete eingefügt. Diese wiederum stellen durch ihre Zugkraft den Kontakt zwischen den Alu-Wärmeleitschienen und der Stahlblechkassette her. Zur Unterstützung sind die Mäander an insgesamt drei Stellen zusätzlich mit der Kassette verklemt. Die Mäander können somit – auch während dem Transport oder der Montage – nicht mehr verschoben werden. Die Decke ist als „offenes“ System ausgeführt, d. h. es findet ein Luftaustausch zwischen dem Deckenhohlraum und dem darunter liegenden Raum statt. Allerdings sind die Prüflinge auf der Rückseite aus Akustikgründen mit Dämmmaterial belegt, so daß kein Wärmeaustausch über die Oberseite der Kühldecke stattfinden kann. An

den vertikalen Seiten der Deckenmodule, begünstigt durch die seitlichen Aufkantungungen (Höhe insgesamt ca. 10 cm), bilden sich abwärts gerichtete Konvektionsströmungen aus.

**Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung**

Die Messungen werden von der Prüfstelle HLK Stuttgart durchgeführt. Ziel der Untersuchungen ist es, die Leistung dieser offenen Kühldecke in 8 m Höhe über dem Fußboden sowie vergleichend hierzu unter den Prüfbedingungen nach DIN 4715 festzustellen. Es werden vertikale Temperaturprofile unterhalb (8 bzw. 5 Meßpunkte) und oberhalb (1 Meßpunkt) der Kühldecke aufgenommen. Abb. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau der Untersuchungen im hohen Prüfraum. Der Versuchsaufbau nach Norm ist in [1] ausführlich beschrieben. Der wesentliche Unterschied besteht

in der Einbauhöhe der Prüflinge. Die Norm sieht hier eine Höhe von 2,5 bis 2,7 über Boden vor. Die Messungen dieser Untersuchung werden bei 2,6 Höhe durchgeführt.

Derartige Untersuchungen können leider nur noch im Rahmen eines bestimmten Projektes durchgeführt werden, so daß sich der Versuchsaufbau im hohen Prüfraum nach Vorgaben des Ausschreibungstextes orientieren muß. Die Messungen werden für ein großes Projekt durchgeführt, bei denen die gewählten Abmessungen einem Deckenfeld (Kühlinsel) innerhalb einer großen Halle entsprechen. Der Prüfling ist in 8 m Höhe über dem Fußboden montiert. Abb. 6 zeigt den Deckenspiegel von unten gesehen. Die Gesamtdeckenfläche mit Luftspalten beträgt 5,52 m<sup>2</sup>. Hiervon sind als aktive Deckenfläche 4,64 m<sup>2</sup> anzurechnen. Der lichte Abstand zwischen den Elemente beträgt an der Längsseite 120 mm und an der Querseite 30mm. Die Decke ist von der Prüf-

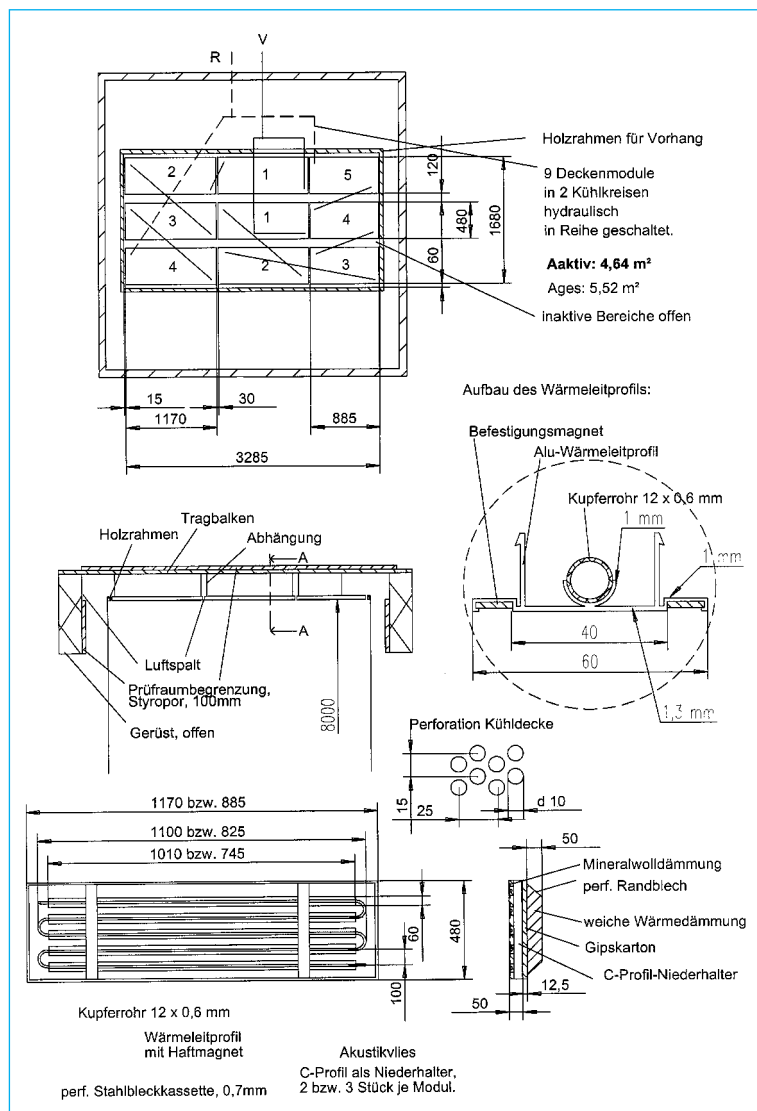


Abb. 2 Aufbau der Prüflinge für die Untersuchungen in beiden Räumen (Höhe 2,6 m bzw. 8 m)

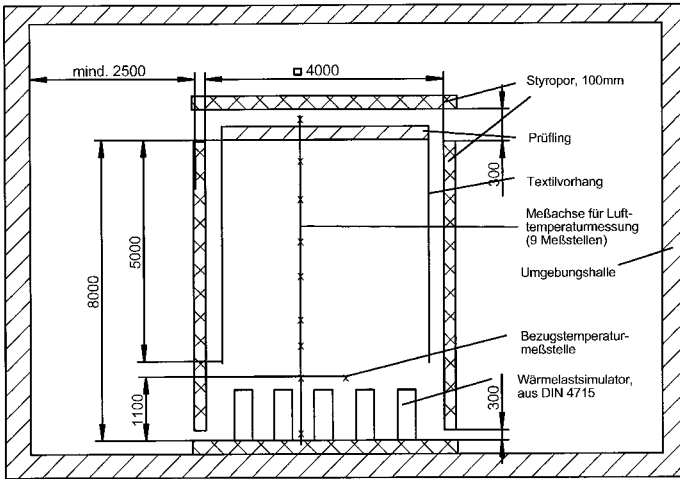


Abb. 3 Versuchsaufbau im hohen Prüfstand mit Einbauhöhe 8 m



Abb. 4 Prüfstand, Höhe 8,5 m

raumdecke abgehängt (ca. 300 mm). Den entstehenden Deckenhohlraum zeigt Abb. 7. Der umschließende Prüfraum ist innen-seitig mit Wärmedämmung ausgekleidet (Styropor, 100 mm). Unten und oben sind die Seitenwände umlaufend offen. Die Spalthöhe beträgt 300 mm. Der Fußboden und die Decke des Prüfraums ist ebenfalls wärmedämmt (Styropor, 100 mm). Die Kühllast wird über 12 Dummies (aus DIN 4715) in den Raum eingebracht. Die Vor-

gaben durch den Auftraggeber sehen einen Textilvorhang als Strahlungsschutz und zur seitlichen Abgrenzung der Konvektionsströmung vor. Im Rahmen der Untersuchung werden jedoch zusätzlich Messungen ohne diese seitliche Begrenzung durchgeführt.

Die folgenden Abbildungen sollen einen Eindruck von

lufttemperatur von ca. 1 K während der Gesamtmeßdauer.

Die Messungen zur Ermittlung der Kühlleistung werden entsprechend DIN 4715-1 („Kühldeckenprüfung“ [1]) durchgeführt.

Der Prüfling wird von einer mobilen Station mit Kühlwasser versorgt. Die Versorgungsstation setzt sich zusammen aus Kaltwassersatz, Speicher (160 l), Wärmetauscher sowie des sekundären Wasserkreislauf mit Umwälzpumpe, Durchflußmesser, Nacherhitzer und Drosselventilen. Die Regelung der Vorlauftemperatur erfolgt mit Hilfe eines speziellen Prüfstandsprogramms (Labview, Fabr.: National Instruments). Der Wasserstrom durch den Prüfling wird mit Drosselventi-



Abb. 5 PC-Station für Regelung und Auswertung



Abb. 6 Deckenspiegel von unten, mit Vorhang und Meßachse f. Lufttemperatur

der Versuchsdurchführung vermitteln. Die verwendete, leerstehende Maschinenhalle (ca. 100 m × 40 m × 10 m) befindet sich in Stuttgart-Bad Cannstatt. Da keine andere Nutzung der Halle im Betrachtungszeitraum gegeben ist, sind die Umgebungsbedingungen für die Messungen äußerst stabil. Die große Gebäudeschwere sowie der geringe Fensterflächenanteil ergeben ein maximale Schwankung der Umgebungs-

len eingestellt und mit einem kalibrierten Durchflußmesser (MID, Fabr.: Danfoss, Typ: Massflow) gemessen. Die Regelung der Kühllastsimulatoren erfolgt mit Hilfe

einer Leistungsschaltung (Thyristoren). Die abgegebene Wärmeleistung wird mit einem Leistungsmeßgerät (Fabr.: Wattavi) gemessen. Die für die Leistungsbestimmung maßgeblichen Temperaturen am Vor- und Rücklauf der Kühldecke sowie in der Luft in der Referenzhöhe 1,1 m (Bezugslufttemperatur) werden mit kali-

brierten Pt100-Widerstandsmeßfühlern gemessen.

Die Kontrolltemperaturen der Raumluft in den Höhen 0,1; 1,1; 1,7; 3,0; 4,5; 6,0; 7,0; 7,7 sowie 8,3 m werden ebenfalls mit Pt100-Meßfühler gemessen. Abb. 9 zeigt die Kühllastsimulatoren nach DIN 4715.

Abb. 7 Deckenhohlraum oberhalb Kühldecke mit aufliegender Dämmung



Abb. 8a Kühllastsimulatoren nach DIN 4715



Abb. 8b Kühllastsimulatoren von oben gesehen



### Thermografische Untersuchungen der Oberflächen-temperaturverteilung

Thermographie ist bei der Prüfung von Heiz- und Kühlflächen eine immer häufiger eingesetzte Technik. Die schnelle und umfassende Information über die Güte der Produkte ist besonders im Hinblick auf die Kontrolle der Produkte und der Montage vor Ort wichtig. Abnahmemessungen an ausgeführten Anlagen mit überschaubarem Aufwand möglich. An dieser Stelle sei auf die VDI-Richtlinie 2079, Beiblatt 6 [7] verwiesen, in der die Vorgehensweise zur Abnahme von Raumkühlflächen beschrieben ist.

### Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Ziel der Untersuchungen ist es, die Temperaturverteilung auf der Metalloberfläche der Kühldeckenmodule festzustellen. Die thermographischen Untersuchungen werden dabei parallel zu den oben beschriebenen Leistungsmessungen in Anlehnung an DIN 4715-1 durchgeführt. Somit ist sichergestellt, daß die Oberflächentemperatur der Prüflinge unter den gleichen Randbedingungen gemessen wird. Die Ein- und Austrittstemperatur des Kühlwassers zum Meßzeitpunkt entspricht den jeweiligen Meßwerten der Leistungsmessung. Ebenso wird die umgebende Lufttemperatur gemessen und ist somit bekannt.

Die Oberflächentemperaturen der Prüflinge werden berührungslos mit einer Thermokamera (System Varioscan M-VS-1011.00P; Fabr.: InfraTec GmbH) gemessen.

Es werden Messungen bei verschiedenen Vorlauftemperaturen und der Massenströme durchgeführt. Die Darstellung der Ergebnisse beschränkt sich an dieser Stelle auf den Meßpunkt 1:

Vorlauf ca. 14 °C      Nennmassenstrom (ca. 140 kg/h)

Die Raumtemperatur (**Lufttemperatur** in 1,1 m Höhe = Bezugstemperatur) beträgt bei den Untersuchungen ca. 23–24 °C.  
(Fortsetzung folgt)