

Raumakustik bei Anwendung offener Kühldeckensysteme im Großraumbüro

Nachhallzeit bei Einsatz von Hochleistungskühldecken

Dr.-Ing. Franc Sodec, Leiter Forschung und Entwicklung a.D.

Offene Hochleistungskühldecken können durch geeignete Maßnahmen problemlos ohne Beeinträchtigung der Raumakustik in Großraumbüros eingesetzt werden. Mit ihnen lassen sich Nachhallzeiten von 0,5 bis 0,7 s erreichen. Diese Kühldeckensysteme mit hoher spezifischer Kühlleistung bieten sich sowohl für Neubauten als auch für Sanierungen von bestehenden Gebäuden an. In Hinblick auf die thermische Behaglichkeit und die relativ niedrigen Energiekosten eignen sie sich hervorragend zur Klimatisierung von Verwaltungsgebäuden.

1. PROBLEMSTELLUNG

Es gibt verschiedene Kühldeckensysteme, so z.B. Strahlungskühldecken, offene Hochleistungskühldecken und Deckenkühlkonvektoren. Diese Systeme unterscheiden sich nach dem Anteil des Wärmeaustausches durch Strahlung und Konvektion, nach der erreichbaren spezifischen Kühlleistung und nach den Anforderungen an die Gestaltung der Raumdecke. Bei der Strahlungskühldecke beträgt das Verhältnis Strahlung/Konvektion ca. 60:40, bei der offenen Hochleistungskühldecke ca. 40:60 und bei Deckenkühlkonvektoren ca. 10:90. Dementsprechend sind die erreichbaren spezifischen Kühlleistungen unterschiedlich.

Während bei den Strahlungskühldecken spezifische Kühlleistungen von höchstens 100 W/m² zu erzielen sind, betragen die Werte bei offenen Hochleistungskühldecken 150 bis 180 W/m² und bei Deckenkühlkonvektoren liegen sie noch höher. Allerdings sind auf Grund der thermischen Behaglichkeit die großflächigen Strahlungs- und Hochleistungskühldecken den kompakten Deckenkühlkonvektoren vorzuziehen.

Bei der Strahlungskühldecke ist die abgehängte Raumdecke mit den eingesetzten Kühlelementen geschlossen. Auf die Deckenpaneele wird akustisch wirksames Vlies eingeklebt, um die

akustischen Anforderungen des Büros zu erfüllen. Die offenen Hochleistungskühldecken verlangen jedoch eine mehr oder weniger offene abgehängte Decke, damit die einzelnen Kühllamellen von der erwärmten Raumluft umströmt werden können; dies bewirkt die höhere Kühlleistung im Vergleich zur Strahlungskühldecke.

Je nach Gestaltung können die Hochleistungskühldecken als sichtbares Deckenelement dienen. Eine abgehängte Raumdecke kann dann in diesem Fall entfallen, oder nur im Teilbereich des Raumes eingesetzt werden.

Es stellt sich dabei die Frage, wie sich die raumakustischen Anforderungen (geeignete Nachhallzeit) erfüllen lassen, wenn die flach verlegten, aus Aluminium hergestellten Kühllamellen (akustisch harte Flächen) den Großteil der Deckenfläche abdecken. Diese Frage ist vor allem in Großraumbüros wegen eventueller Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit von Bedeutung.

Diese Problematik wird anhand eines konkreten Anwendungsfalls beschrieben, in dem beim Umbau eines bestehenden Verwaltungsgebäudes die Hochleistungskühldecke in den Großraumbüros eingesetzt worden ist. Es wird in diesem Beispiel ersichtlich, dass sich durch geeignete Maßnahmen die



Abb.1 Das umgebaute Großraumbüro mit Kühlelementen als sichtbare Installation

akustischen Anforderungen sehr gut erfüllen lassen.

2. GRUNDSÄTZLICHE BETRACHTUNGEN ZUR NACHHALLZEIT IN GROSSRAUMBÜROS

Die Nachhallzeit ist ein Maß für die akustische Verständlichkeit im Raum. Der erzeugte Schall (Gespräche, Telefon, Kopiergeräte u.ä.) wird an den Raumbegrenzungsflächen wie Decke, Wänden, Boden, Mobiliar ein- oder mehrmals zurückgeworfen. An den schallabsorbierenden Flächen wird er reduziert. Je härter ein Raum ist (große Glas- und Betonflächen), desto länger ist die Nachhallzeit und desto schlechter ist die Verständlichkeit. Je mehr schallabsorbierende Flächen im Raum vorhanden sind, desto kürzer ist die Nachhallzeit und desto besser ist die Verständlichkeit.

Die Literatur über Nachhallzeiten gibt für Büros Werte zwischen 0,5 und 1,5 s an [1,2]. Für Großraumbüros sind allerdings Werte unter 1 s erstrebenswert [3]. Die Nachhallzeit wird nach folgender Gleichung berechnet [1]:

$$t = \frac{0,163 \cdot V}{\sum \alpha_i A_i}$$

t = Nachhallzeit in s

V = Raumbolumen in m³

A_i = Teilfläche in m² (z.B. Decke, Wand, Fenster)

α_i = Schallabsorptionsgrad der Teilfläche (ist frequenzabhängig)

Die Firma **Fisair S.L.** mit Sitz in Madrid ist der neue Geschäftspartner von Klima-Systeme 2000. Seit Anfang des Jahres 2006 haben wir den Produktvertrieb für Deutschland übernommen.



Die von **Fisair** hergestellten Produkte aus dem Bereich Befeuchtung und Entfeuchtung optimieren unsere Produktpalette aus dem Hause **Vapac** und ermöglichen es uns, Ihnen für die verschiedensten Anwendungsfälle eine optimale Lösung anbieten zu können.

Seit der Gründung 1994 hat **Fisair** nicht nur Tausende von Geräten in Serie produziert, sondern auch maßgeschneiderte Lösungen für ihre Kunden realisiert und das sowohl für die Industrie in Spanien und in der europäischen Union als auch für Kunden in Taiwan, Argentinien oder Indien.

Befeuchter:

Verdunstungsbefeuchter Typ HEF

Merkmale:

- Adiabatischer Befeuchter mit Frischwasserbetrieb.
- Imprägnierte, korrosionsbeständige Glasfaserkassetten in Edelstahlrahmen eingefasst.
- Optional mit Tropfenabscheider.
- Hoher Wirkungsgrad bis 90%.
- Geringer Druckverlust.
- Maximale Leistung bei minimalen Betriebskosten.
- Maßgeschneidert durch eine Vielzahl von Materialien und Komponenten.
- Modulare Anordnung für größere Luftmengen.
- Platz sparender Einbau
- Einfach zu installieren und zu warten.



Verdunstungsbefeuchter Typ HEF-2



Typ Diphusair FSH

Fremddampfbefeuchter Typ Diphusair

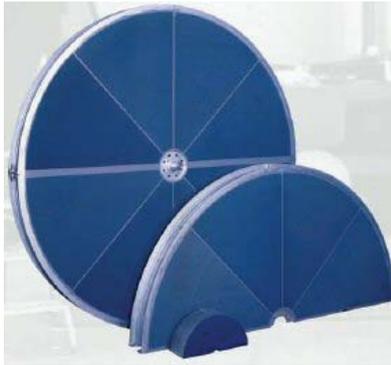
Merkmale:

- Optimierte Einheit zur Injektion trockenen Dampfes.
- Höchsteffizienter Schwerkraftabscheider aus rostfreiem Stahl.
- Edelstahldampfverteilerrohre mit Mantelheizung zur Nachverdampfung entstandenen Kondensats.
- Die aus hartem Thermoplast gefertigten Dampfdufen sind je nach gewünschter Leistung kalibriert und entnehmen den Dampf aus der Mitte des Dampfverteilerrohrs.
- Dampfregelventile mit Proportional- oder Ein/Aus-Regelung und elektrischem oder pneumatischen Antrieb.
- Sieb und Kondensatableiter sind beim Befeuchter mit enthalten.
- Ausführung als Einrohrtrockendampfbefeuchter (wie neben abgebildet) oder als vormontierter Mehrrohrbefeuchter mit Dampfentladekopf.

Entfeuchter:



Fisair hat sich im Bereich der Entfeuchtung auf **Adsorptionstrockner** spezialisiert. Der Feuchteausaustausch erfolgt kontinuierlich im langsam rotierenden Sorptionsrotor, der eine axial verlaufende Wabenstruktur besitzt, die von der zu entfeuchtenden Luft laminar, d.h. mit geringsten Reibungsverlusten durchströmt wird. Die Entfeuchtungsleistung reicht abhängig von der Baureihe von **0,6 kg/h** (125 m³/h, 20°C/60% r.F.) bis **145 kg/h** (24.000 m³/h, 20°C/60% r.F.)



Die in den FISAIR-Luftentfeuchtern eingesetzten Sorptionsrotoren arbeiten mit einem festen Sorptionsmittel (Silikagel) als integriertem Bestandteil des Trägermaterials. Die große Austauschfläche des Trägermaterials erlaubt durch dessen hohen Übertragungs-Wirkungsgrad einen effektiven Feuchteausaustausch zwischen dem Sorptionsrotor und der durchströmenden Luft, bei nur kleiner Baugröße des Rotors.

Adsorptionstrockner Baureihe DFRA

Für den Kreislauf Prozessluft/Trockenluft ist bei den FISAIR-Luftentfeuchtern der Baureihe **DFRA** der Adsorptionstrockner in zwei Bereiche unterteilt. In einem Bereich erfolgt die Aufnahme der Feuchtigkeit (Sorptions) und im anderen die Entfeuchtung des Sorptionsrotors (Regeneration). Die Baureihe **DFRA** bietet eine Entfeuchtungsleistung von **3,0 kg/h** bis **145 kg/h** (20°C/60% r.F.)



Typ DFRA



Typ DFRB

Adsorptionstrockner Baureihe DFRB

- Entfeuchtungsleistung 0,6 kg/h - 4,2 kg/h (20°C/60% r.F.)
- Trockenluftmenge 125 m³/h - 700 m³/h
- Steckerfertiges Kompaktgerät (bis 1,9 kg/h)
- Edelstahlgehäuse
- Silicagelrotor mit Wärmerückgewinnungszone
- Die ideale Lösung u.a. für die Bautrocknung, den Korrosionsschutz und Lagerräume

Antwortfax an:

Klima-Systeme 2000
Handels- und Service GmbH
Frau Kühn
Hildegard-von-Bingen-Str. 1
61273 Wehrheim
Tel.: 0 60 81 / 98 14 30
Fax: 0 60 81 / 98 14 32
Internet: www.klima-systeme2000.de
www.fisair.de
E-Mail: info@klima-systeme2000.de

Ja, ich möchte:

- einen Katalog / weitere Informationen
 telefonische Beratung
 Beratung durch einen Außendienstmitarbeiter

Firma: _____

Name: _____

Strasse: _____

PLZ/Ort: _____

Telefon: _____

Fax: _____

E-Mail: _____

Die Berechnung wird für jede Oktavmittelfrequenz von 125 Hz bis 4000 Hz durchgeführt und daraus der arithmetische Mittelwert gebildet.

Aus der Gleichung entnimmt man, dass die Nachhallzeit durch die Absorptionsgrade der Teilflächen beeinflusst werden kann. Das Raumvolumen V und die Teilflächen A_i sind baulich bedingt und liegen in der Regel fest. Je höher die Schallabsorptionsgrade sind, d.h. je besser der Schall absorbiert wird, desto kürzer ist die Nachhallzeit.

Es ist zwar richtig, dass die Nachhallzeit in Großraumbüros unter 1 s liegen soll, gleichzeitig sollten die Räume aber nicht zu stark dämpfen, da dies die Störschallempfindlichkeit der Personen beeinträchtigt [3, 4]. Eine gewisse Geräuschkulisse ist notwendig, damit andere Störgeräusche überdeckt werden. Aus diesen Gründen ist eine Nachhallzeit unter 0,4 s nach Möglichkeit zu meiden.

3. BESCHREIBUNG DES BETRACHTETEN VERWALTUNGSGEBÄUDES

Das fünfstockige Verwaltungsgebäude wurde Anfang der 70er Jahre gebaut. Den Grundriss für das 1. bis 4. OG zeigt Abb.2. Die ca. 30 m x 30 m große Grundfläche dient überwiegend als Großraumbüro, dessen Gesamtraumhöhe 3,5 m beträgt. Zur Klimatisierung der Räume wurde damals eine Zweikanalanlage installiert. Die Kanäle und die Luftdurchlässe befanden sich oberhalb einer offenen Rasterdecke, die eine Höhe von

200 mm aufwies und deren Unterkante 2,75 m über dem Boden lag. Die Rohdecke war mit 50 mm dicker Mineralwolle verkleidet. Als Luftdurchlass wurden Lamellengitter angewandt, die die Zuluft annähernd horizontal oberhalb der Rasterdecke ausgeblasen haben. Die Mischgeräte der Zweikanalanlage waren im Kernbereich untergebracht. Aus der heutigen Sicht ist die Zweikanalanlage energetisch äußerst ungünstig, da sie die höchsten Energiekosten aller Anlagensysteme verursacht. Weiterhin sind der thermischen Behaglichkeit Grenzen gesetzt: Die aus den Lamellengittern ausgeblasene Zuluft führt im Kühlfall häufig zu Zugerscheinungen, im Heizfall und im isothermen Fall zur Stagnation im Aufenthaltsbereich. Es bot sich also an, bei der Sanierung des Verwaltungsgebäudes das Zweikanalsystem zu verwerfen und durch ein modernes, hochwertiges und energie sparendes System zu ersetzen. Man entschied sich für das Kühldeckensystem mit integrierter Frischluftzufuhr über Deckenluftdurchlässe.

Als sichtbare Installation wurde das offene Hochleistungs-Kühldeckensystem Typ SKS-5/3 gewählt, Abb.3. Die Gründe dafür sind hohe spezifische Kühlleistungen (weit über 100 W/m²), niedrige Bauhöhe (Nennhöhe \geq 60 mm) und die Möglichkeit, auf eine abgehängte Raumdecke verzichten zu können. Es wurde lediglich ein 240 mm bzw. 280 mm breites Bandraster aus perforiertem Stahlblech mit eingeklebtem Spezialakustikvlies abgehängt, und zwar in Abständen von 4,5 m x 1,8 m. Dazwischen befinden sich die Kühlelemente. Darüber hinaus wurde die sichtbare Kühldeckenfläche im Eingangsbereich durch eine Gipskartondecke abgeschlossen. Abb.1 zeigt das Großraumbüro mit den Kühlelementen (die schmalen Lamellen) und das Bandraster. Gut erkennbar sind auch die auf 2,5 m Höhe abgehängten Leuchten. Die Kühlelemente sind 0,5 m unterhalb der Rohdecke installiert worden. Somit konnte die lichte Raumhöhe von 2,75 m auf 3,0 m erhöht werden, was sich in einem Großraumbüro positiv auswirkt. Die Zuluft wird über lineare Deckenluft-



Abb.4 Strahlcharakteristik beim Luftdurchlass IN-V3

durchlässe schräg wechselseitig nach unten ausgeblasen, wobei der Induktivauslass, Typ IN-V3 eingesetzt wird. Die Strahlcharakteristik geht aus Abb.4 hervor: Es werden dünne Freistrahlen erzeugt, die die Raumluft intensiv induzieren und somit ihre Luftgeschwindigkeit bis zum Eintreten in den Aufenthaltsbereich auf behagliche, niedrige Werte abbauen. Die Luftdurchlässe sind in annähernd durchgehenden Reihen im Abstand von 4,5 m zueinander normal zu den Kühldecken-Lamellen verlegt. In Abb.1 sind die Luftdurchlassreihen als mittig über den Leuchten optisch wahrnehmbar. Ihre tatsächliche Anordnung bündig oberhalb der Leuchtenstirnflächen geht präziser aus Abb.5 hervor. Der Luftvolumenstrom beträgt

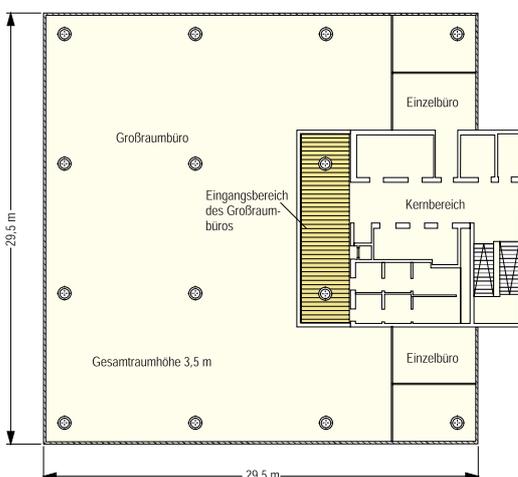


Abb.2 Grundriss des 1. bis 4. OG



Abb.3 Hochleistungskühldecke SKS-5/3 von KRANTZ KOMPONENTEN



Abb.5 Deckenansicht mit der sichtbaren Luftdurchlassreihe (mittig im Bild)

ca. $6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$. Die Abluft wird aus dem Deckenhohlraum nur an einigen Punkten abgesaugt.

Beim Umbau wurde jedes Geschoss entkernt, wobei man auch die Isolierung unter der Rohdecke entfernte. Dadurch wurde die Schallabsorptionsfähigkeit der Decke deutlich reduziert. Es mussten also neue Maßnahmen durchgeführt werden, um eine gute Raumakustik zu erhalten. Zwar wurde das Bandraster mit Spezialakustik-Vlies (Vriese) versehen, sein Flächenanteil betrug jedoch lediglich ca. 20%. Den größten Flächenanteil mit ca. 72% wies die Kühldecke auf, weshalb es sich anbot, hier akustische Maßnahmen zu ergreifen. Zu diesem Zweck wurde über den Kühlelementen großflächig ein Schallabsorptionsmaterial auf Polyolefinbasis verlegt. Das 30mm dicke Material mit zertifiziertem Schallabsorptionsgrad liegt ca. 50mm über den Kühl lamellen, Abb.6. Dadurch stellte man sicher, dass die freie Konvektion um die Kühl-

lamellen nicht beeinträchtigt wird, was sich negativ auf die Kühlleistung auswirken würde.

4. BERECHNUNG DER NACHHALLZEIT IM GROSSRAUMBÜRO

Schon während des Umbaus wurde gewünscht, die zu erwartende Nachhallzeit im Großraumbüro zu berechnen, um eventuell erforderliche zusätzliche Maßnahmen rechtzeitig einplanen zu können.

Für die Berechnung konnten anhand der Bau- und Konstruktionszeichnungen folgende Werte zugrunde gelegt werden:

- Grundfläche des Großraumbüros (ohne angrenzende Einzelbüros): $A = 659 \text{ m}^2$
- Raumhöhe: $H = 3 \text{ m}$
- Raumvolumen: 1977 m^3

Teilflächen:

- Kühldecke: 472 m^2
- Bandraster + Vriese: 137 m^2
- Gipskartondecke (im Eingangsbereich): 50 m^2
- **Summe Teilflächen: 659 m^2**
- Teppichboden: 659 m^2
- Fensterfläche: 157 m^2
- Fensterbrüstung: 51 m^2
- Wände Treppenhaus (+ Türen): 57 m^2
- Wände zu Einzelbüros: 48 m^2
- Es wurde eine Belegung von $10 \text{ m}^2/\text{Person}$ angenommen, d.h. 66 Personen im Raum.
- Die Angaben über die Schallabsorptionsgrade der Kühldecke mit der Schallschutzauflage und die entsprechenden Werte für Bandraster und Vriese folgten aus den Datenlisten der Hersteller.
- Die Schallabsorptionsgrade für die übrigen Teilflächen wurden aus der Literatur [1, 2, 3] entnommen.

Die Ergebnisse der Berechnung gehen aus Abb.7 hervor. Die Nachhallzeit beträgt im Mittel $0,70 \text{ s}$, d.h. der Wert liegt sehr gut im Bereich $1,0$ bis $0,5 \text{ s}$, so dass die Nachhallzeit weder zu hoch, noch zu niedrig ist. Der höhere Einzelwert bei 125 Hz mit $1,4 \text{ s}$ ist vertretbar und in solchen Räumen üblich. Es entstehen in diesem tiefen Frequenzbereich keine nennenswerten Störgeräusche. Hinzu kommt, dass Mobiliar, wie z.B. Schreibtische und Schränke mit Aktenmaterial, einen günstigen Einfluss auf diesen Frequenzbereich haben, und dies in der Berechnung nicht berücksichtigt wurde. Um die Transparenz und das angenehme Gefühl der Großräumlichkeit zu erhöhen, sind Stellwände nicht vorgesehen. Die Ergebnisse der Nachhallzeit zeigen, dass sie aus akustischen Gründen auch nicht erforderlich sind.

5. VERGLEICHBERECHNUNG DER NACHHALLZEIT IM GROSSRAUMBÜRO VOR DEM UMBAU

Es sollte zum Vergleich die Nachhallzeit im noch nicht umgebauten Großraumbüro berechnet werden, um eine bessere Relation zu erhalten. Der Unterschied bestand im Wesentlichen in folgenden akustisch relevanten Punkten:

- Der Deckenbereich ist durchgehend offen, wobei an der Rohdecke eine 50 mm dicke Mineralwolle angebracht ist.
- Die Einzelbüros sind nicht vorhanden, ihre Fläche gehört zum Großraumbüro.
- Es gibt keine Gipskartondecke.

Die geometrischen Daten für die Berechnung waren:

- Grundfläche A : 750 m^2
- Raumhöhe H : 3 m
- Raumvolumen: 2250 m^3

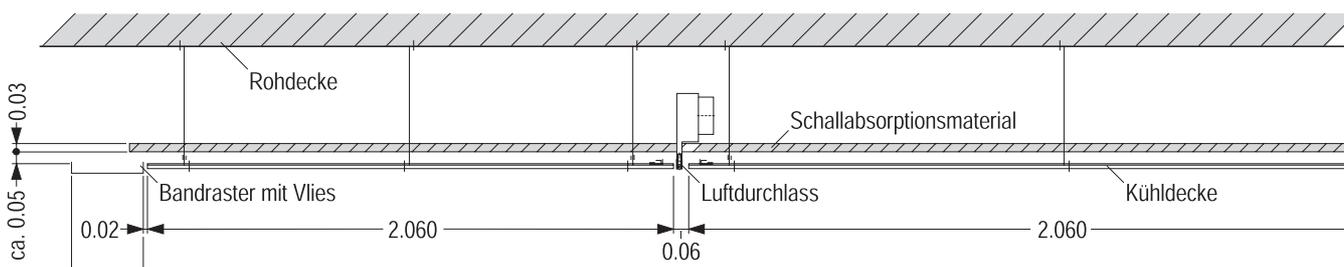


Abb.6 Anordnung des Schallabsorptionsmaterials über der Kühldecke

Teilflächen:

- Decke: 750 m²
 - Teppichboden: 750 m²
 - Fensterfläche: 219 m²
 - Fensterbrüstung: 71 m²
 - Wände zum Treppenhaus: 92 m²
- Bei derselben angenommenen spezifischen Belegung von 10 m²/Personen beträgt die Anzahl der Personen 75.
- Zur Berechnung der Nachhallzeit wurden die Schallabsorptionsgrade für die Mineralwolle der Literatur entnommen.

Die Ergebnisse der Berechnung gehen aus Abb.8 hervor.

Die mittlere Nachhallzeit mit 0,57 s ist niedriger als der zu erwartende Wert nach der Sanierung, liegt jedoch nahe an der unteren Behaglichkeitsgrenze. Der Grund für die niedrigere Nachhallzeit im Ist-Zustand liegt an der dicken Isolationsschicht im Deckenbereich.

6. MESSUNG DER NACHHALLZEIT NACH DEM UMBAU

Nach dem Umbau wurde die Nachhallzeit im Raum messtechnisch überprüft. Dazu werden im Raum mit einer Schallquelle Geräusche auf hohem Niveau erzeugt und die Zeit registriert, in welcher sich der Schalldruckpegel nach Abschalten der Schallquelle um 60dB verringert. In diesem Fall wurde an neun Stellen im Raum gemessen und das Mikrophon 1,2m über dem Boden angebracht. Die Werte lagen dicht nebeneinander und betragen im Mittel 0,6s. Das bedeutet, dass die

Teilfläche	A _i m ²	Oktavmittelfrequenzen in Hz											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A
Kühldecke	472	0,1	47	0,2	94	0,7	330	0,6	283	0,65	307	0,5	236
Bandraster + Vriese	137	0,37	51	0,71	97	0,91	125	0,65	89	0,77	105	0,70	96
Gipskartondecke	50	0,1	5	0,15	7	0,30	15	0,45	22	0,50	25	0,30	15
Teppichboden	659	0,05	33	0,08	53	0,20	132	0,30	198	0,35	231	0,40	264
Fenster	157	0,4	63	0,3	47	0,2	31	0,17	27	0,15	24	0,10	16
Fensterbrüstung	51	0,1	5	0,15	8	0,20	10	0,25	13	0,30	15	0,25	13
Wände Treppenhaus	57	0,14	8	0,10	6	0,06	3	0,08	5	0,10	6	0,10	6
Wände Einzelbüros	48	0,14	6	0,1	5	0,25	12	0,2	9	0,25	9	0,20	9
66 Personen auf Stühlen	-	0,2	13	0,4	26	0,55	36	0,6	40	0,6	40	0,5	33
Σ			231		343		694		686		761		688
Nachhallzeit: $0,163 \times 1977$ $\alpha_i A_i$			1,4 s		0,96 s		0,47 s		0,47 s		0,42 s		0,47 s
Mittelwert:			0,70 s										

Abb.7 Berechnung der Nachhallzeit im umgebauten Großraumbüro

Raumakustik gegenüber der Berechnung noch günstiger ausgefallen ist. Die aus akustischen Gesichtspunkten problemlose Anwendung von offenen Hochleistungs-Kühldecken im Großraumbüro bei geeigneten Schallabsorptionsmaßnahmen hat sich bestätigt. Es wurde auch nachgewiesen, dass aus akustischen Gründen auf Stellwände verzichtet werden konnte.

7. SCHLUSSFOLGERUNG

Die offenen Hochleistungs-Kühldecken können problemlos ohne Beeinträchtigung der Raumakustik im Großraumbüro eingesetzt werden. Es sind dabei geeignete Schallabsorptionsmaterialien als Bestandteil in das komplexe Kühldeckensystem zu integrieren. Gute Erfahrungen mit 30mm dicken Absorpti-

onmatten in Abstand von ca. 50mm oberhalb der Kühl lamellen liegen vor. Sowohl die theoretische Überprüfung der Nachhallzeit als auch die Messungen vor Ort haben bestätigt, dass Nachhallzeiten von 0,5–0,7 s zu erreichen sind. Dies sind für Großraumbüros sehr günstige Werte. Aus Sicht der thermischen Behaglichkeit und der Energiekosten ist die Anwendung von offenen Hochleistungs-Kühldecken ohnehin eine hochwertige Lösung.

Autor
 Dr.-Ing. Franc Sodec,
 Leiter Forschung und Entwicklung a.D.
 M+W Zander Gebäudetechnik
 Geschäftsbereich KRANTZ KOMPONENTEN
 Fotos und Grafik: KRANTZ KOMPONENTEN
www.krantz.de

Bauvorhaben:
 Reifenhäuser Maschinenfabrik, Troisdorf
 Architekt: arcus Architekturbüro, Bochum
 Planer: Fuchs Ingenieurgesellschaft mbH,
 Bergisch Gladbach

Literatur

- [1] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Ausgabe 2005/06.
- [2] Kopp, H.: Schallschutz im Hochbau, VDI-Bildungswerk 3546, 1975.
- [3] Lütz, G.: Maßnahmen zum Bekämpfen der Lärmeinwirkung auf Menschen im Bürobereich, in: Maschinenmarkt, 91 (1985), Nr. 60.
- [4] Schaffert, E.: Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro, in: Humane Produktion, 1981, Nr.6.
- [5] Mahdavi, A.: Grundlagen und Gestaltungsmethoden der Raumakustik, in: Baumagazin, 1987.
- [6] Furrer, A.: Raum- und Bauakustik, Lärmabwehr. Birkenhäuserverlag Basel u. Stuttgart, 1961.

Teilfläche	A _i m ²	Oktavmittelfrequenzen in Hz											
		125		250		500		1000		2000		4000	
		α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A	α	α × A
Decke	750	0,20	150	0,53	398	0,74	555	0,78	585	0,75	563	0,77	577
Teppichboden	750	0,05	38	0,08	60	0,20	150	0,30	225	0,35	263	0,40	300
Fenster	219	0,40	88	0,30	66	0,20	44	0,17	37	0,15	33	0,10	22
Fensterbrüstung	71	0,10	7	0,15	11	0,20	14	0,25	18	0,30	21	0,25	18
Wände Treppenhaus	92	0,14	13	0,10	9	0,06	5	0,08	5	0,10	7	0,10	9
75 Personen auf Stühlen	-	0,2	15	0,4	30	0,55	41	0,6	45	0,6	45	0,5	37
Σ			311		574		808		915		932		963
Nachhallzeit: $0,163 \times 2250$ $\alpha_i A_i$			1,18 s		0,64 s		0,45 s		0,40 s		0,39 s		0,38 s
Mittelwert:			0,57 s										

Abb.8 Berechnung der Nachhallzeit in dem noch nicht umgebauten Großraumbüro