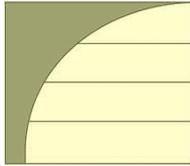




Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Forschung und Anwendung GmbH

Prof. Oschatz – Prof. Hartmann – Dr. Werdin – Prof. Felsmann





HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ
University of Applied Sciences

FAKULTÄT BAUWESEN

Messtechnische Untersuchungen zur thermischen Behaglichkeit in Hallengebäuden mit Luftheizungen

Abschlussbericht – Kurzfassung

Auftraggeber: FIGAWA Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach
Marienburger Straße 15
50968 Köln

Auftragnehmer: ITG Institut für Technischen Gebäudeausrüstung Dresden
Forschung und Anwendung GmbH
Bayreuther Straße 29 in 01187 Dresden

Bearbeitung: ITG Dresden
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
Dipl.-Ing. (FH) Jens Rosenkranz

Hochschule Zittau/Görlitz, Fakultät Bauweisen
Prof. Dr.-Ing. Jens Bolsius

Dresden, 02.10.2013

Inhalt

| | |
|--|----------|
| Inhalt | 1 |
| Einleitung | 2 |
| Untersuchte Gebäude und Heizungstechnik | 2 |
| Durchführung und Ergebnisse | 2 |
| Anregungen zur Fortschreibung DIN V 18599-5 | 4 |
| Empfehlungen zur Planung und Ausführung | 5 |
| Quellen | 8 |

Einleitung

In Bezug auf die erzielbare Behaglichkeit und Energieeffizienz kann der Wärmeübertragungsmechanismus eines Hallenheizsystems von wesentlicher Bedeutung sein. In der vorliegenden Studie werden die thermische Behaglichkeit und energetisch wesentliche Kriterien in 7 mit Luftheizungen beheizten Hallengebäuden auf Basis umfangreicher Messungen beurteilt. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Empfindungstemperatur und der Strömungssituation im Aufenthaltsbereich sowie der vertikalen Lufttemperaturverteilung.

Aufgrund der nutzungsspezifischen und baulichen Gegebenheiten in industriell genutzten Hallengebäuden, wie z.B.

- große bis sehr große zusammenhängende Innenvolumina,
- z.T. sehr große Raumhöhen,
- Toröffnungen und Lieferverkehr,
 - Kaltlufteinfluss,
 - signifikante Kälte-/Wärmeeinträge durch Transport von Produkten, Halbzeugen, Lagergut, etc.,
- Wärme-/Kälteeinträge durch Maschinen, industrielle Kühlanlagen, etc.,
- spezifische Bauweisen mit i.d.R. sehr geringer thermischer Speicherfähigkeit,
- Stapler- und Kranverkehr und
- Einbauten (Hochregale, Maschinenfundamente, Kranbahnen,...), etc.,

gelten hier für eine thermische Konditionierung üblicherweise andere Bedingungen und Anforderungen als in Büro- oder büroähnlichen Nutzungen. Die Konditionierung folgt oftmals teilweise oder gänzlich den Anforderungen von Maschinen, Produktionsprozessen, des Lagerguts oder sonstigen aus der industriellen Nutzung resultierenden Gegebenheiten. Üblicherweise herrscht daher ein etwas geringerer Komfortanspruch und Einschränkungen bei einzelnen Komfortkriterien fallen für eine zusammenfassende Behaglichkeitsbewertung weniger stark ins Gewicht.

Untersuchte Gebäude und Heizungstechnik

Untersucht wurden 7 Hallen mit Grundflächen zwischen 1.600 und 10.000 m² und Innenhöhen zwischen 6 und 20 m. Die untersuchten Gebäude wurden zwischen 1991 und 2011 errichtet und weisen einen moderaten bis guten baulichen Wärmeschutz auf.

In den untersuchten Hallen kommen sowohl Heizgeräte mit Wärmeerzeugung und -übergabe in Baueinheit (*dezentrale Warmlufterzeuger*) als auch Systeme mit gebäudezentraler Wärmeerzeugung und wasserführender Wärmeverteilung (*Luftherhitzer*) zum Einsatz. Es sind Heizleistungen zwischen ca. 40 und 230 kW je Gerät bzw. 130 und 650 kW je Gebäude installiert. In den meisten Fällen wurden die Heizgeräte in Kombination mit Ventilatoren zur Rückführung aufsteigender Warmluft in die Aufenthaltsebene betrieben (*Warmluftrückführung, Rezirkulation*).

Durchführung und Ergebnisse

In ausgewählten Bereichen (vorwiegend Arbeitsplätze) wurden alle für eine Beurteilung der Behaglichkeit und energetisch relevanter Kriterien wesentlichen Größen ermittelt. Die Messungen umfassen u.a. die folgenden Größen:

- Raumlufttemperatur
 - Verlauf über gesamte Hallenhöhe an mehreren Messpositionen zur Beurteilung der Verhältnisse in der gesamten Halle
 - punktuelle Messungen zur Behaglichkeitsbewertung in markanten Höhen (i.d.R. Knöchel-, Schwerpunkt- und Nackenhöhe des stehenden Menschen)
 - detaillierte Verläufe zur Verdeutlichung der Verhältnisse in markanten Bereichen (z.B. Ausblasbereiche von Heizgeräten oder Rezirkulationsventilatoren)
- Strahlungstemperatur und Strahlungsasymmetrie
 - Thermografieaufnahmen zur überblicksmäßigen Beurteilung und zur qualitativen Kontrolle der Lufttemperaturverläufe
 - punktuelle Messungen mit Behaglichkeitsmessgerät an repräsentativen Arbeitsplätzen
- Empfindungstemperatur
 - punktuelle Messungen mit Behaglichkeitsmessgerät an repräsentativen Arbeitsplätzen
- Strömungsgeschwindigkeit
 - punktuelle Messungen mit Behaglichkeitsmessgerät an repräsentativen Arbeitsplätzen
 - detaillierte Verläufe zur Verdeutlichung der Verhältnisse in markanten Bereichen (z.B. Ausblasbereiche von Heizgeräten oder Rezirkulationsventilatoren)

Darüber hinaus wurden die Betriebszustände der Heizgeräte und ggf. Rezirkulationsventilatoren sowie die bei Messung herrschenden Außenbedingungen dokumentiert.

Bei einer Beurteilung der Behaglichkeit in (Arbeits-)Räumen, welche mit Luftheizungen beheizt werden, interessieren vorrangig,

- ob im Aufenthaltsbereich eine behagliche Empfindungstemperatur erreicht wird und
- ob die durch die Anlage verursachten Strömungsgeschwindigkeiten dabei innerhalb eines akzeptablen Bereichs bleiben oder ein signifikantes Zugluftrisiko gegeben ist.

Die für Arbeitsplätze ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten sind i.d.R. als niedrig einzustufen (Kategorie B gemäß DIN EN 7730 [1]). Lediglich im unmittelbaren Ausblasbereich von Rezirkulationsventilatoren und einigen Heizgeräten konnten erhöhte, für einen Daueraufenthalt von Personen ungeeignete, Strömungsgeschwindigkeiten festgestellt werden. Messtechnisch nachweisbar sind diese Gebiete erhöhter Strömungsgeschwindigkeiten räumlich sehr gut abgegrenzt. Die z.T. erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten in Ausblasbereichen sind als unkritisch einzustufen, solange keine Daueraufenthalts-/Arbeitsplätze in diesen angeordnet sind. Bei der Planung/Ausführung und Nutzung der untersuchten Hallen wurde dies weitestgehend berücksichtigt.

In den meisten der untersuchten Hallen stellte sich im Aufenthaltsbereich ein behagliches Temperaturniveau ein. Jedoch zeigt sich eine relativ deutlich ausgeprägte Anfälligkeit gegenüber Kaltlufteinfall, z.B. durch anhaltende Toröffnungen. Dieser kann auch die Behaglichkeit merklich verschlechtern.

Die Messungen zeigen, dass Strahlungs-, Luft- und Empfindungstemperatur bei Luftheizungen für gewöhnlich sehr nahe beieinander liegen. Insbesondere für Hallen mit

gutem baulichem Wärmeschutz kann davon ausgegangen werden, dass Luft- und Empfindungstemperatur nahezu identisch sind. Die Strahlungstemperaturdifferenzen zwischen oberem und unterem Halbraum betragen üblicherweise 1...5 K – im Kontext industriell genutzter Hallen sind diese Werte als äußerst niedrig einzustufen¹; das Risiko unbehaglicher Strahlungsasymmetrien konnte in allen Fällen sehr sicher ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend ist die thermische Behaglichkeit für die exemplarisch untersuchten Arbeitsplätze bzw. Arbeitsplatzbereiche i.d.R. als gut zu bewerten.

Vor dem Hintergrund einer energetischen Bewertung von Hallenheizungen kommt dem Anstieg der Lufttemperatur über der Höhe besondere Bedeutung zu. Standardwerte mittlerer Lufttemperaturanstiege werden im Rahmen von Energiebedarfsberechnungen nach DIN V 18599:2011-12 angewendet; sie sind in Teil 5 der Normenreihe tabellarisch aufgeführt [2]. Unter der Maßgabe mittlerer Verhältnisse wurden für die im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten Hallen Lufttemperaturanstiege über der Gesamthöhe zwischen 0 und 0,8 K/m bestimmt. Die auf der Grundlage von Temperaturmessungen berechneten Werte geben die in DIN V 18599-5:2011-12 [2] implizit dargestellten Tendenzen sehr gut wieder, auch wenn sich im Einzelfall kleinere Abweichungen zeigen. Da die Kategorisierung der Standardwerte nach DIN V 18599, im Sinne eines handhabbaren Berechnungsverfahrens, an relativ wenige technische Kriterien geknüpft ist und somit zwangsläufig nur einen Teil aller Einflussparameter erfassen kann, war eine völlige Übereinstimmung jedoch ohnehin nicht zu erwarten. In Anbetracht dessen ist die Übereinstimmung als gut zu bezeichnen – die Ergebnisse der Messung bestätigen die im Normwerk angegebenen Standardwerte und Tendenzen:

- Bei einer Beheizung mit geringer Übertemperatur (Ausblastemperatur) stellen sich von vornherein geringere Lufttemperaturanstiege ein als bei einer ansonsten identischen Beheizung mit hoher Übertemperatur.
- Eine wirksame Warmluftrückführung kann Lufttemperaturschichtungen aktiv abbauen und Lufttemperaturanstiege so im Mittel deutlich senken.
- Die angegebenen Standardwerte mittlerer Lufttemperaturanstiege decken sich mit den im Rahmen der vorliegenden Studie aus Messungen ermittelten Werten i.d.R. relativ gut.

Darüber hinaus zeigen die Messwerte, dass sich mit Luftheizungen in der Fläche sehr gleichmäßige Temperaturzustände herstellen lassen. Aber auch über der Höhe sind sehr geringe Temperaturdifferenzen realisierbar – selbst in sehr hohen Hallen können bei entsprechender Planung, Ausführung und anlagentechnischer Ausstattung äußerst geringe Lufttemperaturanstiege eingehalten werden.

Anregungen zur Fortschreibung DIN V 18599-5

Die in DIN V 18599-5:2011-12 [2] vorgenommene Kategorisierung von Luftheizungen hinsichtlich der Wärmeübergabe im Nutzraum kann anhand der Messergebnisse der vorliegenden Studie gut nachvollzogen werden. Aus Sicht der Autoren erlaubt die 2011 überarbeitete Fassung der DIN V 18599 damit eine zweckmäßige Abbildung der bislang marktgängigsten Luftheizungs-Systeme. Jedoch zeigen die Ergebnisse auch, dass bestimmte Aspekte im Rahmen der Norm-Fortschreibung beachtet werden sollten:

¹ In DIN EN 7730 [1] wird für die höchste (komfortabelste) Kategorie A und die zweithöchste Kategorie B derselbe Grenzwert der Strahlungsasymmetrie angegeben. Dieser beträgt 5 K und entspricht gemäß DIN EN 7730 einem Anteil Unzufriedener von 5 %. In der Praxis werden, besonders in industriell genutzten Hallengebäuden, jedoch auch noch deutlich höhere Werte als behaglich wahrgenommen (vgl. auch [4]).

- Der Einfluss der Ausblastemperatur wird bislang nur im Ansatz erfasst – lediglich für Raumhöhen ≤ 6 m darf bei Luftheizungen ohne Warmluftrückführung mit einem günstigeren Kennwert gerechnet werden, wenn es sich um Luftheizungen mit niedriger Ausblastemperatur handelt. Eine deutliche Verringerung der Ausblastemperatur wird sich jedoch fast immer begünstigend auf die Behaglichkeit und den Energieverbrauch auswirken – auch bei großen Raumhöhen ggf. in Verbindung mit einer Warmluftrückführung.
 - Im Aufheizbetrieb stellen sich von vornherein geringere Lufttemperaturanstiege ein. Anstatt hohe Temperaturunterschiede (Warmluftpolster) nachträglich abzubauen, wird deren Entstehung vorgebeugt.
 - Eine ggf. vorhandene Warmluftrückführung wird entlastet. Warmluft mit geringer Übertemperatur lässt sich durch den verringerten thermischen Auftrieb einfacher in den Aufenthaltsbereich einbringen.
 - Darüber hinaus bewirkt eine Verringerung der Übertemperatur auch in den Teilbereichen der Wärmezeugung und ggf. -verteilung energetische Vorteile.

Eine Marktentwicklung zu diesen Systemen hin erscheint daher erstrebenswert und sollte auch normativ unterstützt werden. Aus Sicht der Autoren sollten Systeme mit niedriger Ausblastemperatur der physikalischen Realität entsprechend über einen deutlich weiteren Anwendungsbereich, als nach Normfassung 2011-12 vorgesehen, besser bewertet werden als ansonsten gleichartige Systeme mit hoher Ausblastemperatur.

- Durch eine erzwungene Beimischung von Raumluft in den Ausblasvolumenstrom kann dessen effektive Temperatur signifikant gesenkt, sein Impuls erhöht werden. Entsprechende Geräte sind nach Kenntnisstand der Autoren bislang nicht als marktüblich zu bezeichnen, jedoch bereits verfügbar. Gemäß Normfassung 2011-12 sind solche Geräte noch nicht abbildbar. Im Rahmen der Norm-Fortschreibung sollte hier eine entsprechende Erweiterung in Betracht gezogen werden².

Empfehlungen zur Planung und Ausführung

Die Ergebnisse der im Rahmen der vorliegenden Studie durchgeführten Messungen verdeutlichen bestimmte qualitative Zusammenhänge, welche die Ableitung von Empfehlungen zur Planung und Ausführung von Luftheizungen in Hallen erlauben:

- **Minimierung der Ausblastemperatur**

Bei Luftheizungen mit hoher Ausblastemperatur, und folglich hohem Temperaturunterschied zwischen Ausblasluft und übriger Raumluft (Übertemperatur), kann sich eine über die Raumhöhe gleichmäßige Beheizung schwierig gestalten. Durch den thermischen Auftrieb der ausgeblasenen Luft besteht das Risiko eines ausgeprägten Temperaturgefälles. Diesem kann prinzipiell durch Einrichtungen zur Rückführung aufsteigender Warmluft sowie durch Optimierungen der Warmluftauslässe (Ausblasrichtung, -geschwindigkeit/-impuls, Vorrichtungen zur Raumluftinduktion, etc.) entgegengewirkt werden. Messtechnisch belegbar können z.B. wirksame Rezirkulationsventilatoren eine Temperaturschichtung aktiv verringern. Jedoch erscheint es vor diesem Hintergrund sinnvoll, die Ausblastemperatur der Luftheizung von vornherein zu minimieren – die Messergebnisse lassen eine

² Eine erzwungene Beimischung von Raumluft könnte rechnerisch beispielsweise wie eine Absenkung der Ausblastemperatur behandelt werden.

Übertemperatur im Bereich 10...15 K als sinnvolle Größenordnung erscheinen. Hierfür bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

- Luftherhitzer in zentralen Heizungsnetzen können für einen Betrieb mit geringen Systemtemperaturen ausgelegt werden. Diese kommen dem Einsatz moderner energieeffizienter Wärmeerzeuger entgegen (Wärmepumpen, BW-Kessel ggf. mit Solarthermie), lassen sich aber üblicherweise auch bei konventionellerer Wärmeerzeugung einfach realisieren. Durch eine Absenkung der Systemtemperaturen können darüber hinaus die Erzeugungs- und Verteilverluste der Heizungsanlage verringert werden.
- Bei einem Einsatz von dezentralen Warmluftherzeugern können Geräte mit Brennwertnutzung zum Einsatz kommen – hierbei sollte jedoch explizit auf die Ausblastemperatur geachtet werden, da nicht alle Brennwert-Warmluftherzeuger mit niedrigen Ausblastemperaturen arbeiten.
- Durch eine erzwungene Beimischung von Raumluft in den Ausblasvolumenstrom lässt sich ebenfalls eine signifikante Absenkung der effektiven Ausblastemperatur erreichen. Aber auch durch passiv wirkende Einrichtungen zur Erhöhung der Raumluftinduktion lässt sich ein beschleunigter Abbau der Ausblastemperatur im Ausblasstrahl bewirken.³

- **Ausreichend dimensionierte Warmluftrückführung/Rezirkulation**

Die Messergebnisse belegen, dass Rezirkulationsventilatoren auch in sehr hohen Hallen einen effektiven (Rück-)Transport von Warmluft in den Aufenthaltsbereich bewirken können. Hierfür ist die Warmluftrückführung allerdings entsprechend auszulegen.

- Es sind Geräte mit ausreichend großer Wurfweite auszuwählen, um einen effektiven Warmlufttransport aus dem Dachbereich bis auf Bodenniveau sicherzustellen.
- Bei sehr hohen Hallen kann sich eine kanalgebundene Warmluftrückführung als sinnvoll erweisen.
- Besonders bei Hallen großer Grundfläche ist in Relation zur Hallengrundfläche eine ausreichend große Anzahl an Geräten vorzusehen.
- Zur Anpassung der Ventilatorleistung an die jeweilige Bedarfssituation und zur Vermeidung unnötiger Hilfsenergieaufwendungen sollte eine mindestens mehrstufige Regelung vorgesehen werden. Eine Steuerung der Ventilator Drehzahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Dach und Aufenthaltsbereich hat sich hier als zweckmäßig erwiesen.

- **Berücksichtigung der spezifischen Gegebenheiten von Gebäude, Nutzung und Anlagentechnik**

Heizungsanlage und Gebäude sind den nutzungsspezifischen Gegebenheiten entsprechend auszulegen und auszuführen.

³ Im Rahmen der vorliegenden Studie wird von *passiven Einrichtungen* (...) gesprochen, wenn die zusätzliche Beimischung von Raumluft allein auf einer Erhöhung der Induktionswirkung des Ausblasvolumenstroms, z.B. durch entsprechend gestaltete Luftauslässe, beruht. Bei der *erzwungenen Raumluftbeimischung* hingegen kommen Zusatzventilatoren zum Einsatz.

- In Arbeitsplatzbereichen sollten erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten weitgehend vermieden werden, da sie die Behaglichkeit mindern können.
 - Rezirkulationsventilatoren sollten, soweit möglich, überwiegend in wenig sensiblen Bereichen angeordnet werden, wie z.B.:
 - Verkehrs- und Ablageflächen
 - Lagerbereichen/Regalzwischenräumen
 - Ein direktes Anblasen von Arbeitsplätzen (andauernder Personenaufenthalt) durch Heizgeräte und Rezirkulationsgebläse sollte weitestgehend vermieden werden.
 - Ggf. ist eine Konditionierung unter verringerten Ausblas-/Strömungsgeschwindigkeiten in Erwägung zu ziehen.
- In wenig sensiblen Bereichen (kein oder nur sehr sporadischer und kurzzeitiger Personenaufenthalt) sind erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten i.d.R. unproblematisch – hier kann oftmals zugunsten einer möglichst geringen Temperaturschichtung optimiert werden.
- Es sollte auf sinnvolle Montagepositionen der Heizgeräte, Ventilatoren und Temperaturfühler geachtet werden.
 - Luftheizungen ermöglichen prinzipiell sehr gleichmäßige Beheizungen, da in der Halle befindliche Objekte, wie Regale und Stützen des Hallentragwerks, i.d.R. relativ gut um- oder durchströmt werden können. Bei ungünstiger Anordnung können diese einer gleichmäßigen Temperaturverteilung jedoch auch hinderlich sein. Für Heizgeräte und Einrichtungen zur Warmluftrückführung sollten möglichst ungestörte "Ausblasstrecken" bis etwa auf Bodenniveau vorgesehen werden.
 - Temperatursensoren sollten an repräsentativen Stellen montiert und thermisch von inneren Wärmequellen (Schaltschränke, Maschinen, etc.) entkoppelt werden.
- Bereiche mit verschiedenen Temperatur-/Behaglichkeitsanforderungen sollten nach Möglichkeit räumlich getrennt und bedarfsgerecht konditioniert werden.
- Anhaltendem Kaltlufteinfluss sollte, so weit wie möglich, konstruktiv vorgebeugt werden (Schnellauftore, Verladeschleusen, ggf. Luftschleier, etc.).

Quellen

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN EN ISO 7730:2006-05; Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit [..], May 2006.
- [2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., DIN V 18599-5:2011-12; Energetische Bewertung von Gebäuden [..] Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen, 2011.
- [3] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH; Hochschule Zittau-Görlitz, Messtechnische Untersuchungen zur thermischen Behaglichkeit in Hallengebäuden mit Luftheizungen, Abschlussbericht, 2013.
- [4] ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Thermische Behaglichkeit in modernen Hallengebäuden - beheizt mit Hellstrahlern, Abschlussbericht, 2011.