

**Forschung  
Projekt F 2071**

W. Richter

**Handbuch der thermischen Behaglichkeit  
– Sommerlicher Kühlbetrieb –**

Dortmund/Berlin/Dresden 2007

Diese Veröffentlichung ist die Zusammenfassung des Abschlussberichts zum Projekt „Entwicklung eines Handbuches zur optimalen Beeinflussung der klimatischen Bedingungen in Arbeitsräumen unter sommerlichen Bedingungen“ - Projekt F 2071 - im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei dem Autor.

Autor: Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter

Unter Mitarbeit von:

Dr.-Ing. Ralf Gritzki, Dipl.-Ing. Ingo Müller,  
Dr.-Ing. Alf Perschk, Dr.-Ing. Markus Rösler,  
Dr.-Ing. Klaus Windisch

Technische Universität Dresden  
Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung  
01062 Dresden  
Telefon: 0351 46332901  
Telefax: 0351 46337888

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin  
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, 44149 Dortmund  
Telefon: 0231 9071-0  
Telefax: 0231 9071-2454  
E-Mail: [poststelle@baua.bund.de](mailto:poststelle@baua.bund.de)  
Internet: [www.baua.de](http://www.baua.de)

Berlin:  
Nöldnerstr. 40-42, 10317 Berlin  
Telefon: 030 51548-0  
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:  
Proschhübelstr. 8, 01099 Dresden  
Telefon: 0351 5639-50  
Telefax: 0351 5639-5210

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

# Handbuch der thermischen Behaglichkeit

## - Zusammenfassung -

Anlagen zur Raumkühlung werden installiert, um die thermische Behaglichkeit in Bürogebäuden sowie vergleichbaren Raumkategorien wie Aufenthalts- und Arbeitsräumen zu sichern. Es ist daher nicht verwunderlich, dass man bereits sehr frühzeitig Überlegungen dahingehend angestellt hat, wie dieses Komfortkriterium quantifiziert werden könnte. Über viele Jahre hinweg galt die

operative Temperatur (Empfindungstemperatur)

als ausreichender Maßstab, der allerdings den Einfluss der Raumluftrömung nur unzureichend berücksichtigt. Erst mit den Untersuchungen von FANGER liegen uns umfassende Berechnungsgleichungen zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit vor, die mittlerweile in die relevante Norm

DIN EN 7730

eingeflossen sind.

Für den Anwender besteht allerdings das Problem, dass er mit Hilfe der üblichen Planungsunterlagen und –werkzeuge keine Möglichkeit hat, für den von ihm bearbeiteten Fall die jeweils zu erwartenden vorliegenden Behaglichkeitsverhältnisse zu prüfen, um gegebenenfalls Änderungen an der Bau- und Anlagentechnik vornehmen zu können. Insbesondere eine Einschätzung der sich einstellenden Raumluftrömung als wesentlichste Einflussgröße für das Behaglichkeitskriterium „Zugluftrisiko“ bleibt somit auf wenige wissenschaftliche Institutionen und Anlagenhersteller beschränkt.

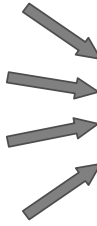
Diese unbefriedigende Situation hat sich auch in neuerer Zeit nicht verbessert. Inwieweit verringert sich die thermische Behaglichkeit mit zunehmendem Fensterflächenanteil? Besitzen wir einen „Freiheitsgrad“ bei der Auswahl oder Anordnung anlagentechnischer Komponenten? Diese und andere in der Fachwelt strittigen Fragen bedürfen einer eindeutigen Klärung, da zunehmend die thermische Behaglichkeit insbesondere unter sommerlichen Bedingungen als eine entscheidende Größe zur Beeinflussung der Arbeitsproduktivität begriffen wird.

Im vorliegenden Handbuch werden allen an den Fragen der thermischen Behaglichkeit interessierten Anwendern, also Bauherren, Architekten, Fachplanern der Technischen Gebäudeausrüstung, Bauphysikern, Hygienikern, Arbeitsschutzexperten, Vermietern und Mietern, aber auch an diesem Problemkreis arbeitenden Wissenschaftlern umfassende Angaben zu den entscheidenden Größen

- operative Temperatur (einschließlich „Grenz“-Geschwindigkeiten),
- PMV (predicted mean vote),
- PPD (predicted percentage of dissatisfied),
- Lufttemperaturverlauf über der Höhe,
- Strahlungsasymmetrie,
- Zugluftrisiko

sowie weitere Angaben zu Luftgeschwindigkeitsverläufen und Oberflächentemperaturen zur Verfügung gestellt. Als wichtige Parameter dienen sowohl bautechnische Größen wie Verschattungsmöglichkeit und Fensterflächenanteil als auch anlagentechnische Eigenschaften wie Kühlsystem oder auch Anordnung und Ausführung von Komponenten im Raum.

Die anvisierte problemlose Nutzungsmöglichkeit der Ergebnisse wird durch die Verwendung der thermischen Komfortkategorien A (hoch), B (mittel) und C (gemäßigt) nach DIN EN 7730 deutlich verbessert. Ebenso stellt die Einführung der so genannten summativen thermischen Behaglichkeit eine anwenderfreundliche Lösung dar, da hier sämtliche globalen und lokalen Behaglichkeitskriterien in geeigneter Weise kombiniert werden (Tab. 1, Abb. 1).

Kriterium	Kategorie		Kombination	Kategorie
PMV, PPD	A		Summative Behaglichkeit	C
Max. Strahlungsasymmetrie	B			
Vert. Lufttemper. - Gradient	A			
Zugluftrisiko	C			

Tab. 1 Bildung der summativen thermischen Behaglichkeit auf der Basis der Umgebungskategorien A, B und C nach DIN EN 7730 – Beispiel

Das Handbuch enthält innerhalb der einführenden Abschnitte neben den notwendigen Erläuterungen zur thermischen Behaglichkeit auch alle Angaben

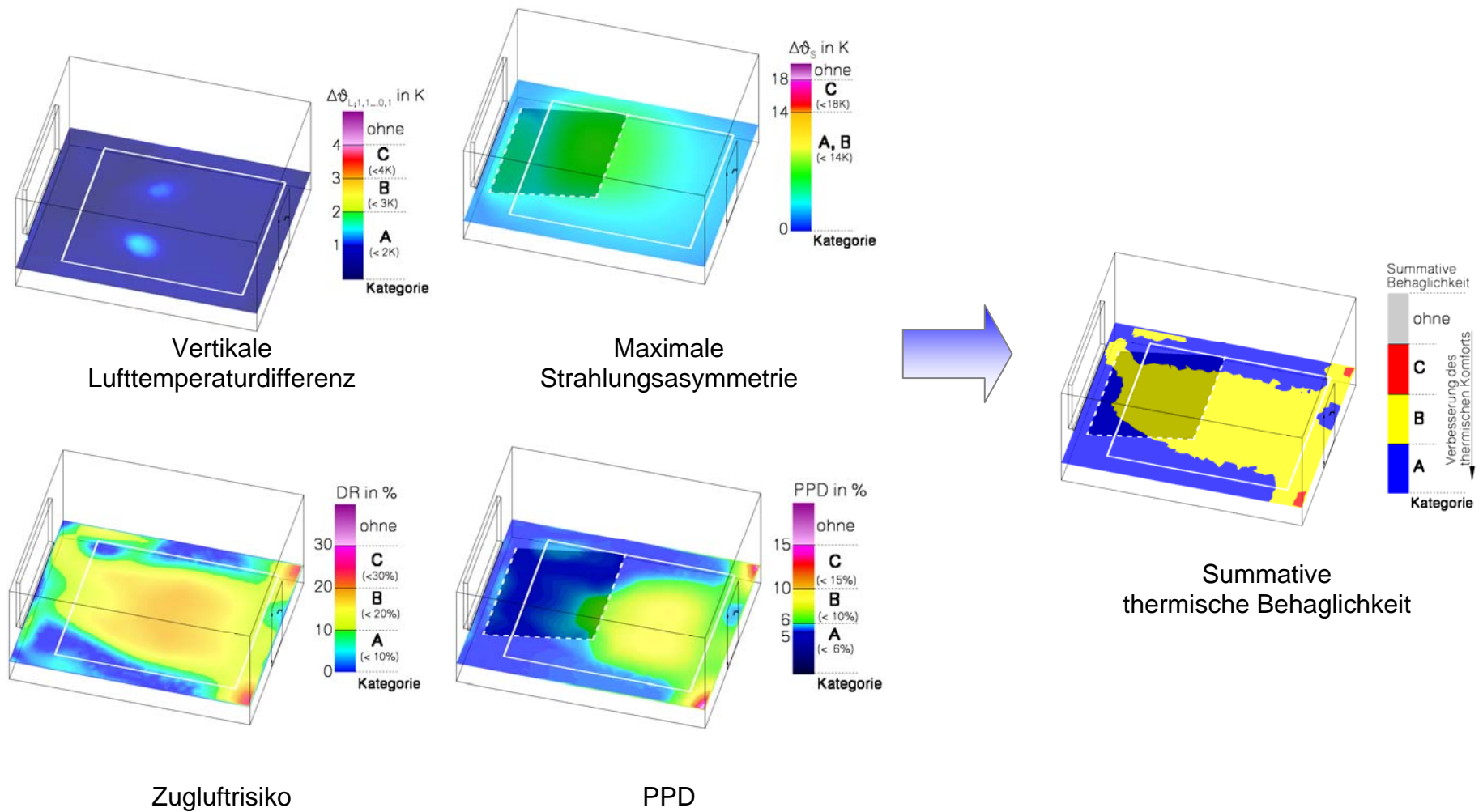
- zum Berechnungsmodell,
- zur Auswahl der wichtigsten Randbedingungen und
- zur Aufbereitung der Ergebnisse.

Im Interesse mehr praktisch orientierter Leser wird auf die Darstellung mathematischer Zusammenhänge weitestgehend verzichtet. Stärker interessierte Leser werden auf die angegebene Literatur verwiesen.

Aus der Analyse der Ergebnisse lässt sich eine Reihe von Schlussfolgerungen ziehen:

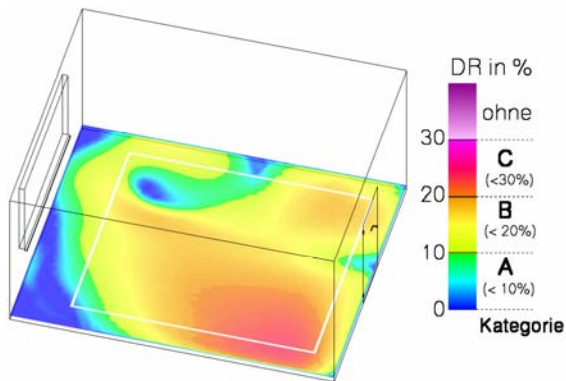
- Gegenüber dem winterlichen Heizbetrieb weist der sommerliche Kühlbetrieb im Allgemeinen wesentlich größere Differenzen in Hinblick auf die thermische Behaglichkeit auf.
- Dementsprechend müssen größere bau- bzw. anlagentechnische Anstrengungen unternommen werden, um eine ausreichende thermische Behaglichkeit innerhalb der Aufenthaltszone erreichen zu können.
- Auch zeigt sich, dass im Gegensatz zum Heizbetrieb bestimmte globale und lokale Kriterien (z. B. PMV und vertikaler Lufttemperaturgradient) stärkere Bedeutung aufweisen.
- Von den schwerpunktmäßig untersuchten, praktisch relevanten Einflussgrößen
  - Bauschwere,
  - Verschattung,
  - Fensterflächenanteil und
  - Raumkühlsystemkommt aus bauseitiger Sicht der Verschattung die mit Abstand größte Bedeutung zu. Bei einer ausreichenden Verschattung haben Bauschwere und Fensterflächenanteil eher untergeordnete Bedeutung.
- Ebenso haben Wärmeschutzniveau und Außenklimabedingungen keinen überragenden Einfluss.

- Grundsätzlich führen Flächen- gegenüber Luftkühlsystemen zu eindeutig günstigeren wärmephysiologischen Verhältnissen. Da aber letztere mit dem hygienisch relevanten Lüftungsvorgang verbunden sind, ist ein Vergleich nicht zielführend.
- Bei den Flächenkühlverfahren erweisen sich die strahlungsintensiven Ausführungen als die problemloseren Anlagen. Die Anordnung des Systems im Raum weist nur untergeordneten Einfluss auf, Deckensysteme haben leichte Vorteile.
- Bei der Quelllüftung lässt sich der Einfluss der Luftauslass-Anordnung sowie von Lufteintrittstemperatur und Volumenstrom (Eintrittsgeschwindigkeit) nachweisen. Hier sollte in Übereinstimmung mit den praktischen Erfahrungen ein höherer Luftwechsel einer größeren Temperaturdifferenz vorgezogen werden. Bei Berücksichtigung sämtlicher Kriterien der thermischen Behaglichkeit in Form der summarischen Bewertung weist die vertikale Anordnung des Luftauslasses leichte Vorteile auf.
- Luftkühlverfahren in Form von Mischlüftungssystemen existieren in den vielfältigsten Formen. Von den hier untersuchten Varianten
  - Dralllüftung (Luftauslass im Deckenbereich)
  - Brüstungs-Induktionsgerät
  - Fassadengerät (mit reiner Zuluftfunktion)führt das Fassadengerät summarisch zu den günstigeren Behaglichkeitswerten. Diese Aussage kann aber bei geeigneter Auswahl, Auslegung oder auch Anordnung der alternativen Systemkomponenten relativiert werden.

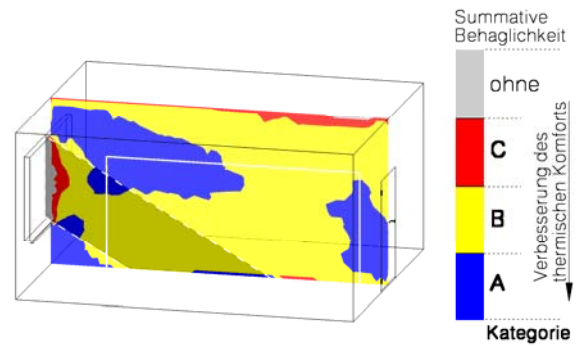


**Abb. 1** Beispiel zur Bildung der summativen thermischen Behaglichkeit in einer horizontalen Ebene von 0,6 m Höhe (Flächenkühlung)

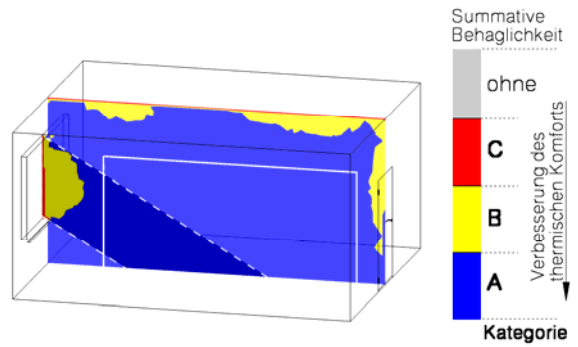
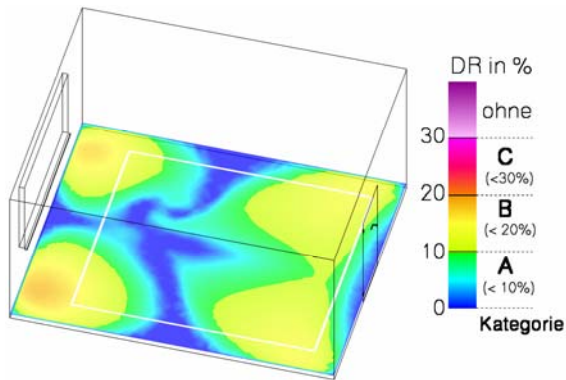
## Zugluftrisiko



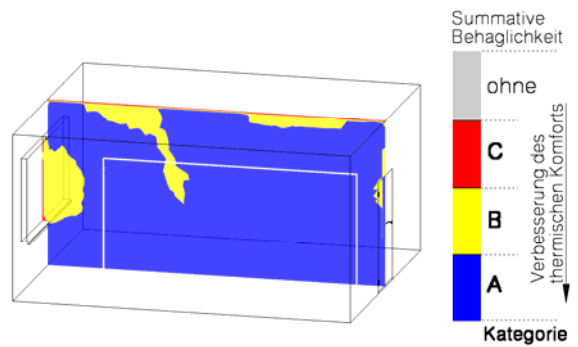
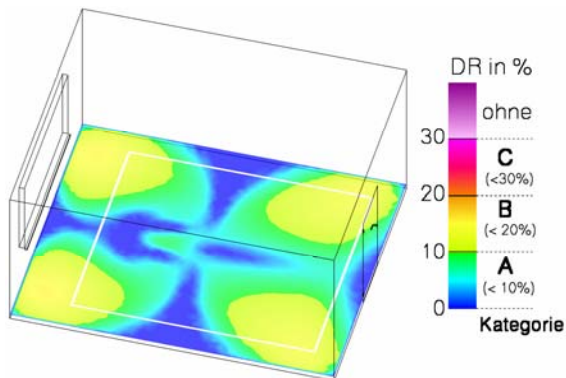
## Summative thermische Behaglichkeit



## Ohne Verschattung



## Außenjalousie



## Feste Außenverschattung

**Abb. 2** Einfluss der Verschattung  
- Kühldecke; 30% Fensterflächenanteil; mittelschwere Bauweise -



