

## METHODEN ZUR BEWERTUNG DER THERMISCHEN UND ENERGETISCHEN VERHÄLTNISSE IN RÄUMEN

Joachim Seifert, Ingo Müller und Wolfgang Richter

Institut für Thermodynamik und TGA, Technische Universität Dresden

[seifert@tga.tu-dresden.de](mailto:seifert@tga.tu-dresden.de), [imueller@tga.tu-dresden.de](mailto:imueller@tga.tu-dresden.de), [w.richter@tga.tu-dresden.de](mailto:w.richter@tga.tu-dresden.de)

### KURZFASSUNG

Die Bewertung von thermischen und energetischen Verhältnissen in Räumen wird in der Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen. Detaillierte Werkzeuge zur Beurteilung stehen jedoch kaum zur Verfügung.

Im vorliegenden Artikel soll daher ein Simulationswerkzeug vorgestellt werden, welches die signifikantesten Wechselbeziehungen berücksichtigen kann und mit dem es möglich ist, eine optimale bau – und anlagentechnische Lösung in Hinblick auf die thermischen und energetischen Verhältnisse zu finden.

### ABSTRACT

The thermal and energetic evaluation of rooms will be more important in the future. Detailed, suitable tools for the complete prediction are still not available yet.

This paper introduces an analysis method that is able to describe the thermal and energetic situation in small and large enclosures. Based on a flow field simulation coupled with a simulation of thermal behavior of the enclosure and the reaction of the installed technical equipment it is possible to find the optimal solution in view of the thermal comfort and energy consumption.

### EINLEITUNG

Neben finanziellen, funktionalen, energetischen sowie hygienischen Parametern, stellen zunehmend wärmephysiologische Kriterien eine Entscheidungsgrundlage für technische Systeme dar. Werkzeuge, die für die Bestimmung dieser Parameter geeignet sind und sämtliche Wechselbeziehungen berücksichtigen stehen jedoch kaum zur Verfügung. Der nachfolgende Beitrag möchte daher ein komplexes Programmsystem beschreiben, mit welchem alle wärmephysiologischen Parameter bestimmt und mittels verschiedener Verfahren bewertet werden können.

### GRUNDLAGEN

Die wichtigsten Grundlagen zur Beschreibung wärmephysiologischer Parameter sind in der DIN EN ISO 7730, 2006, zusammengestellt.

Unterschieden wird in der genannten Norm in globale thermische Behaglichkeitskriterien, zu denen der PMV- sowie der PPD- Index zählen und lokale Behaglichkeitskriterien, denen man das Zugluftrisiko (DR-Wert), die Strahlungsasymmetrie ( $\Delta\vartheta_s$ ), den vertikalen Lufttemperaturgradienten ( $\Delta\vartheta_L$ ) sowie die maximale bzw. minimale Oberflächentemperatur ( $\vartheta_{OF}$ ) zuordnet. In der zitierten Norm wird zur Bestimmung der genannten Kenngrößen eine große Anzahl von Randbedingungen dokumentiert. So sind z.B. Abhängigkeiten des Energieumsatzes des Menschen von dessen Aktivität sowie Anhaltswerte für den Isolationswert verschiedener Bekleidungsstücke zu finden. Für die genaue Analyse der thermischen Zustände sind jedoch noch weiterführende Angaben entsprechend Abbildung 1 notwendig. Besonders hervorzuheben sind hierbei zum einen die Strömungsgeschwindigkeiten im Raum, die direkt in die Berechnung des DR-Wertes und indirekt in die Bestimmung des Wärmeüberganges an der Wand eingehen.

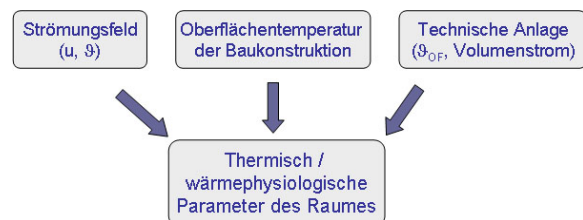


Abbildung 1 Einflussgrößen auf die thermisch / wärmephysiologischen Parameter im Raum

Zum anderen sei auf die Oberflächentemperaturen der Umfassungs-konstruktion hingewiesen, die entscheidender Bestandteil der Berechnung der Strahlungsverhältnisse sind.

Diese Betrachtungen zeigen schon, dass die Bestimmung thermischer und wärmephysiologischer Parameter eine komplexe Betrachtung erfordert, welche lediglich durch eine gekoppelte Bestimmung

der unter Abbildung 1 beschriebenen Einflussgrößen vorgenommen werden kann.

### ANALYSEWERKZEUG

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Zusammenhänge machen deutlich, dass eine realistische Einschätzung der thermischen Zustände im Raum nur unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse sowie der thermischen Verhältnisse aller Umfassungskonstruktionen einschließlich der technischen Anlage vorgenommen werden kann. An der TU Dresden wurde hierzu ein Simulationswerkzeug entwickelt, welches all diese genannten Wechselbeziehungen berücksichtigt. Für die Ermittlung aller Daten des Strömungsfeldes kommt hierzu ein FEM – Code (ParallelNS, 2005) zur Anwendung, welcher aufbauend auf den Reynoldsgleichungen die Geschwindigkeits- und Temperaturverteilung berechnet. Für die Bestimmung der Oberflächentemperaturen sämtlicher Umfassungskonstruktionen wird auf eine umfassend an der TU Dresden erweiterte Programmversion von TRNSYS (Klein S.A. et al., 1996) zurückgegriffen, mit der sowohl das thermische Verhalten der Baukonstruktion, wie auch die Reaktion der technischen Anlage vorausgesagt werden. Gekoppelt werden beide Teilmodule des Programmsystems über einen sequenziellen Randbedingungs austausch.

### BEWERTUNGSMETHODEN

Der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebene Berechnungsalgorithmus soll im Weiteren zur Bestimmung der wärmephysiologischen Parameter für ein Demonstrationsbeispiel verwendet werden. Gegenstand der Betrachtungen bildet ein Raum mit den Abmessungen 4m/5m/2,5m eines Niedrigenergiehauses, welcher mit einer Zu-/Abluftanlage ausgerüstet ist ( $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$ ,  $\vartheta_{op} = 22^\circ\text{C}$ ).

#### *Kriterien nach DIN EN ISO 7730*

In den Abbildungen 2 bzw. 3 sind die inneren Temperaturen der Oberflächen sowie das Zugluftrisiko für die beschriebene Situation dargestellt.

Deutlich ist aus Abbildung 2 die Beeinflussung des thermischen Verhaltens der Umfassungskonstruktion durch die technische Anlage erkennbar. Speziell im Bereich der Außenwand können durch die Strahlungswirkung der freien Heizfläche auf den Fußboden erhöhte Oberflächentemperaturen bestimmt werden.

In Abbildung 3 ist stellvertretend für die Beschreibung des Strömungsfeldes das Kriterium Zugluftrisiko dargestellt. Aus den visualisierten Strukturen sind eine Auftriebsströmung an der freien Heizfläche, sowie eine Fallströmung durch den austretenden Luftvolumenstrom an der Rauminnenseite zu erkennen. In beiden Fällen wird das thermische Verhalten der Umfassungskonstruktion beeinflusst.

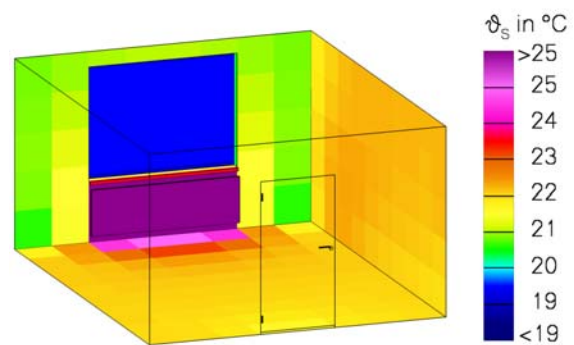


Abbildung 2 Innere Oberflächentemperatur

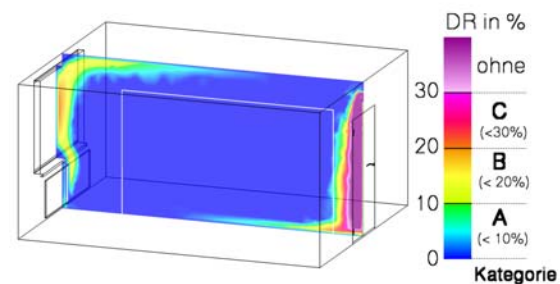


Abbildung 3 Zugluftrisiko DR

#### *Summative thermische Behaglichkeit*

Die eingangs beschriebenen Bewertungskriterien für die thermischen Verhältnisse im Raum haben den Nachteil, dass sie immer kombiniert betrachtet werden müssen, um eine Gesamtaussage zu erhalten. Für die Beantwortung praxisrelevanter Fragestellungen ist es jedoch sehr oft hilfreich, eine Gesamtaussage für den Raum mittels eines Kriteriums zu erhalten. Erste Ansätze einer derart kombinierten Betrachtung sind in DIN EN ISO 7730, 2006, durch die Einführung der Behaglichkeitsklassen A, B, C zu finden. Ein darüber hinausgehender Ansatz stellt die Definition einer „Summativen Thermischen Behaglichkeit“ dar, bei der jeweils die schlechteste Klasse eines Einzelkriteriums die lokale Beurteilung ergibt. Für den im Vorangegangenen beschriebenen Untersuchungsfall ist eine derartige summative Betrachtung aus Abbildung 4 ersichtlich.

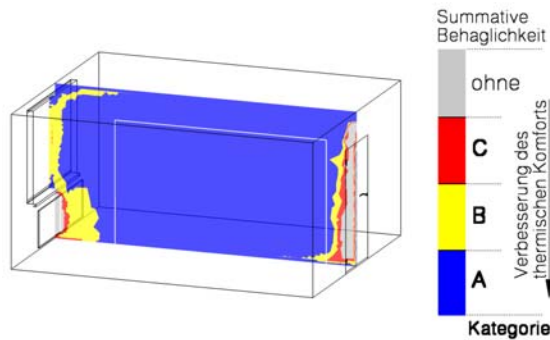


Abbildung 4 „Summative Thermische Behaglichkeit“

Deutlich ist aus Abbildung 4 zu erkennen, dass die wesentlichen Einflussfaktoren auf die thermische Raumsituation sehr gut wiedergegeben werden können.

#### Thermisch / energetische Bewertung

Eine direkte Weiterentwicklung der kombinatorischen Betrachtung stellt die Kopplung an energetische Fragestellungen dar. Hierzu ist es jedoch notwendig im ersten Schritt einen Referenzprozess zu definieren, bei dem sämtliche Kriterien der thermischen Behaglichkeit bestmöglich eingehalten werden. Erste Ansätze sind hier in Seifert, 2005, zu finden.

Abbildung 5 zeigt grafisch die Verknüpfung von wärmephysiologischen und energetischen Kenngrößen. Der Vergleichsprozess mit den bestmöglichen wärmephysiologischen Verhältnissen im Raum befindet sich bei einer derartigen Betrachtung bei  $\Gamma_s = 1$ , wohingegen reale Anlagen sich im aufgespannten Parameterraum wiederfinden.

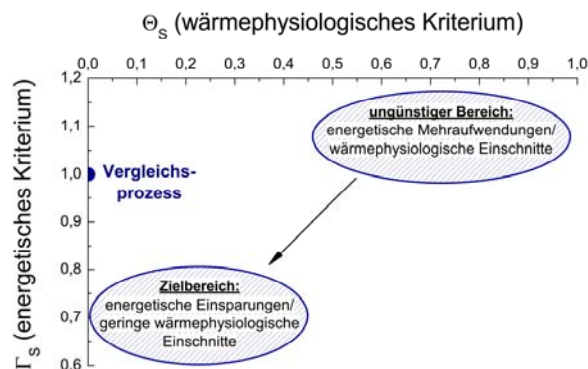


Abbildung 5 Energetische / wärmephysiologische Bewertung

Vorteil dieser Betrachtungsweise ist, dass je nach der Wichtigkeit eines Systems aus Anlage und Gebäude hin zu einem energetischen bzw. wärmephysiologischen Zielbereich optimiert werden kann. Untersuchungsergebnisse einer derart kombinierten Betrachtung von energetischen und

wärmephysiologischen Parametern sind für typische Anlagensysteme in Seifert, 2005, zu finden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Beurteilung wärmephysiologischer Zustände im Raum wird in den nächsten Jahren vermehrt in den Fokus der Betrachtungen rücken. Grundlegende Zusammenhänge zur Beurteilung sind hierfür in normativen Verfahren zu finden. Der Nachteil der z.B. in der DIN EN ISO 7730, 2006, zitierten Zusammenhänge besteht darin, dass für den Berechnungsgang nicht alle Randbedingungen zur Verfügung stehen. Hier bietet es sich an numerische Modelle zur komplexen Betrachtung einzusetzen. Im vorliegenden Artikel wird ein derartiges Programmsystem vorgestellt und dessen Leistungsfähigkeit demonstriert. Darüber hinaus bietet das vorgestellte Werkzeug die Möglichkeit, praxisergechte kombinatorische Gesamtbetrachtungen z.B. mittels der Bewertungsgröße „Summative Thermische Behaglichkeit“ oder der kombinierten thermisch-energetischen Bewertung vorzunehmen.

## LITERATUR

DIN EN ISO 7730, 2006, 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, DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Klein S.A. et al., 1996, TRNSYS a transient system simulation program version 14.2, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison (USA)

ParallelNS. 2005, user's Guide, Universität Göttingen / TU Dresden

Seifert J. 2005. Zum Einfluss von Luftströmungen auf die thermischen und aerodynamischen Verhältnisse in und an Gebäuden, Dissertation, TU Dresden