

# Wie effizient ist das Heizen bzw. Kühlen über Flächen?

## Energetische Analyse von Flächenheiz- und -kühlsystemen

Flächenheiz- und -kühlsysteme gehören im Neubau zu den wichtigsten Systemen der Wärme- und Kälteübergabe. Im nachfolgenden Artikel werden die Aspekte der Strahlungswirkung sowie der energetischen Bewertung solcher Systeme behandelt. Dazu liegt neben der allgemeinen Betrachtung von Fußboden- und Wandsystemen der Fokus insbesondere auf Anlagen, die im Deckenbereich installiert werden.

In der jüngsten Vergangenheit wurden zahlreiche Entwicklungen speziell im Bereich der Flächenheizung vorgenommen. Waren bisher schwere Systeme, die direkt im Estrich verlegt wurden, dominierend (z. B. Typ A nach DIN EN 1264 [1]), so sind derzeit die Systeme mit geringer Überdeckung (Trocken- und Nasssysteme) vermehrt im Markt anzutreffen. Zweifelsfrei besitzt eine geringe Systemüberdeckung einen Vorteil bei der Reaktionsfähigkeit von Flächenheizsystemen. Weiterhin kann oftmals bei gleicher Wärmeabgabe eine geringere Systemtemperatur gewählt werden, wodurch sich wiederum Vorteile bei der zentralen Wärmebereitstellung ergeben. Im Sanierungsfall werden neben der Fußbodenheizung zunehmend Wand- und Deckenkonstruktionen eingesetzt. Hier stehen die vorteilhafte Montage und die geringeren Restriktionen

einer Installation (Lastverteilung und Fußbodenaufbauhöhe) im Mittelpunkt. Im Neubaubereich ist aktuell die Tendenz einer zunehmenden Installation von Deckensystemen zu erkennen. Dies hat unterschiedliche Ursachen. Zum einen ist durch die sehr geringen Heizlasten der Freiheitsgrad bei der Installation höher. D. h., die früher oftmals mit der Installation von Systemen an der Decke einhergehende Problematik der zu hohen Werte der Strahlungsasymmetrie beim Nutzer ist im Neubaubereich so nicht mehr so stark ausgeprägt. Zum anderen ist ein weiterer wesentlicher Vorteil einer Deckeninstallation darin zu sehen, dass das System im Sommer als Kühlsystem genutzt werden kann. Auch hier ist die Kombination mit einem passiven oder aktiven Kälteerzeugungssystem vorteilhaft gegeben.

### Wirkung der Strahlung

Flächenheiz- und -kühlsysteme übertragen die entsprechende Energie zu großen Teilen als Strahlungswärmestrom und zu geringeren Teilen als konvektiven Wärmestrom. Die Anteile der einzelnen Strahlungswärmeströme können jedoch stark schwanken und sind von der Orientierung der Flächenheizung bzw. -kühlung abhängig. Vor diesem Hintergrund wurden im „Combined Energy Lab 2.0“ der TU Dresden [2] Untersuchungen zur Temperaturdifferenz zwischen Körperoberfläche und operativer Raumtemperatur bei einem Dummy vorgenommen. Gegenstand der Analysen war die Strahlungsasymmetrie des Halbraumes. Nicht betrachtet wurde in diesem Zusammenhang die in der Realität auftretende Rückwirkung aufgrund der Thermoregulation des menschlichen Körpers. Die Untersuchungen sind daher als vereinfachte Indikations-Analysen zu betrachten. Bild 1 dokumentiert die messtechnische Situation.

Analysiert wurde die Temperaturverteilung auf dem Kopf, im Bereich des Nackens, auf den Oberschenkeln sowie im Knöchelbereich. Alle Bereiche sind nach der klassischen Behaglichkeitstheorie nach Fanger [3] als signifikant für das menschliche Empfinden einzuschätzen. Hinsichtlich der Temperaturdifferenzen wurde der Versuchsraum in zwei Halbräume aufgeteilt, bei denen die Oberflächen entgegengesetzte Temperaturen aufwiesen. Als Temperaturdifferenzen wurden Werte von  $\Delta\vartheta = 4K...16K$  (Halbraumbetrachtung: Boden/Decke) betrachtet. Dabei wurden zwei Fälle adressiert. Zum einen die Heizdecke (HD), wo die Deckentemperatur höher als die Bodentemperatur ist. Beim Fall der Kühldecke (KD) erfolgte die Temperierung der Flächen entgegengesetzt.

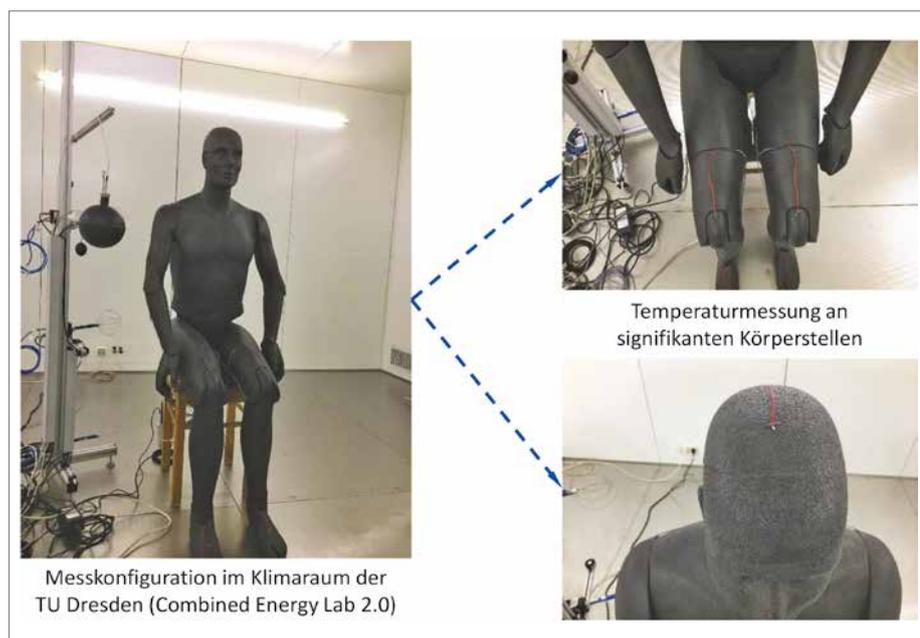


Bild 1: Position der Messtechnik am menschlichen Dummy.

Temperaturdifferenz auf dem menschlichen Dummy im Vergleich zur operativen Raumtemperatur am Referenzpunkt

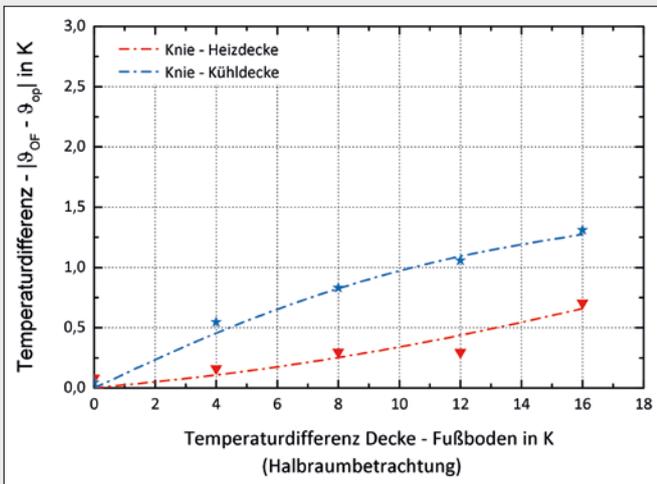


Bild 2: Betrachtung: Kniebereich

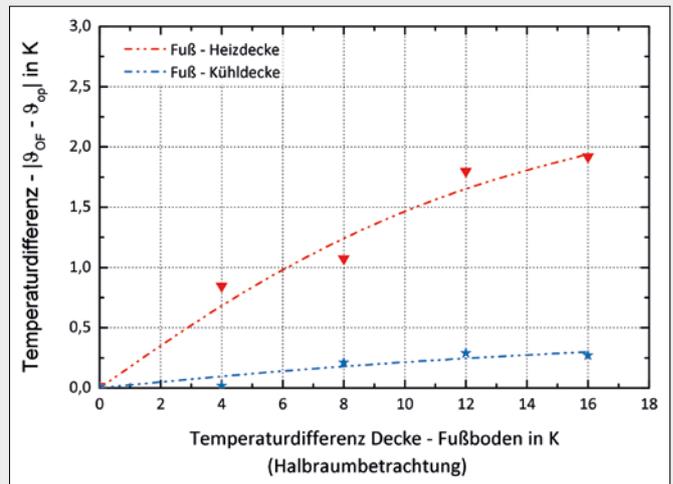


Bild 3: Betrachtung: Fußbereich

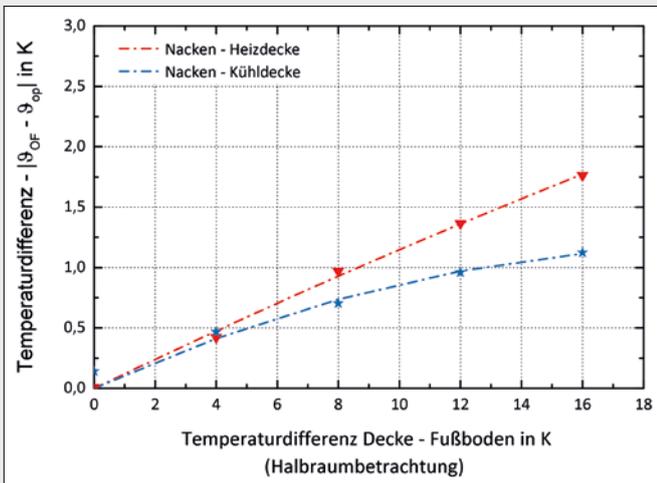


Bild 4: Betrachtung: Nackenbereich

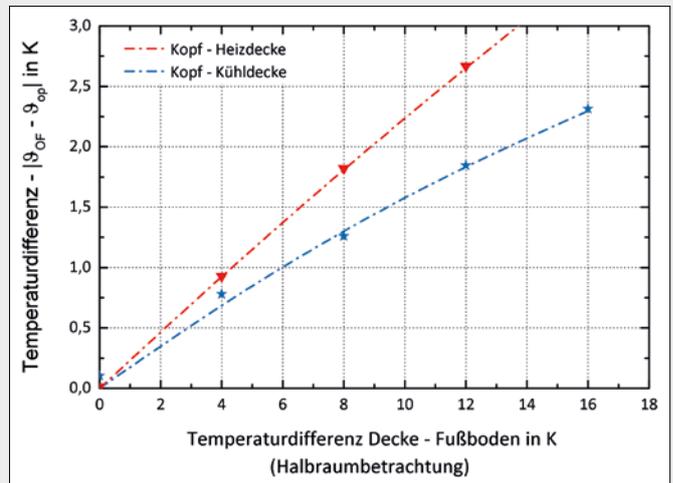


Bild 5: Betrachtung: Kopfbereich

Die Messungen (Bilder 2 bis 5) beziehen sich auf eine operative Temperatur von  $\vartheta_{op} = 22^\circ\text{C}$  im Schnittpunkt der Raumdiagonalen in einer Höhe von  $h = 1,1\text{ m}$ .

Die Ergebnisse: Im Bereich der Knie bzw. der Füße (Bilder 2 und 3) kann festgestellt werden, dass der Kniebereich bei der Kühldecke höhere Temperaturabweichungen zum Referenzpunkt aufweist als bei einer Heizdecke. Zu erklären ist dies mit der kalten Fallströmung, die bei einer Kühldecke zu verzeichnen ist, wohingegen bei einer Heizdecke eine sehr stabile Schichtung der Raumluft vorliegt. Im Fußbereich dreht sich diese Temperaturdifferenz um, da hier der Einfluss des kalten Bodens bei einer Heizdecke zu verzeichnen ist.

Bei der Analyse des Kopfbereichs (Bilder 4 und 5) stellte sich heraus, dass dieser die größten Temperaturdifferenzen auf-

weist. Dies liegt am Strahlungseinfluss im Falle einer Heizdecke. Der Kopf ist hier beim menschlichen Körper die exponierteste Stelle. Der Nackenbereich ist in Hinblick auf die Temperaturdifferenzen weniger signifikant. Auch für diesen Fall weist die Heizdecke die größeren resultierenden Temperaturdifferenzen im Vergleich zur Kühldecke auf.

Wichtig sind diese Aussagen auch, da neben Fragestellungen der thermischen Behaglichkeit auch Fragestellungen der maximalen Wärmestromdichten beantwortet werden können. An der TU Dresden werden hierzu aktuell umfangreiche Messungen mit Probanden durchgeführt.

**Energetische Kennwerte**

Neben den eingangs beschriebenen Auswirkungen in Hinblick auf die operative Temperatur sind bei Flächenheiz- und

-kühlsystemen immer auch energetische Fragestellungen zu beantworten.

Innerhalb eines neuen Forschungsprojektes, welches durch das ITG Dresden durchgeführt wurde, stand explizit der Vergleich von Flächenheiz- und -kühlsystemen mit unterschiedlicher Orientierung unter energetischen Gesichtspunkten im Fokus der Betrachtungen. Analysiert wurden verschiedene Systemaufbauten in Kombination mit einer Variation des Nutzerverhaltens und verschiedenen meteorologischen Randbedingungen. Da die Analysen für die Weiterentwicklung der europäischen Normen zur Wärmeübergabe herangezogen wurden, kamen als Randbedingung die Wetterdaten vom Testreferenzjahr „TRY04“ (Standort Potsdam) und von Rom zur Anwendung. Das analysierte Gebäude stellt ein aus statisti-

Tabelle 1: Energetische Kennwerte reales/ideales Heizsystem – Nutzereinfluss.

Nutzerverhalten	Wetterdaten	$Q_{\text{real}} / Q_{\text{ideal}}$
Nutzer 1 (durchgehend)	Potsdam	1,14 ... 1,18
	Rom	1,13 ... 1,18
Nutzer 2 (intermittierend)	Potsdam	1,49 ... 1,55
	Rom	1,47 ... 1,55

Tabelle 2: Energetische Kennwerte reales Heizsystem – Systemeinfluss.

System	$Q_{\text{nass}} / Q_{\text{trocken}}$
Deckenheizung	1,01 ... 1,03
Fußbodenheizung	1,01 ... 1,02
Wandheizung	1,05 ... 1,08

Tabelle 3: Energetische Kennwerte reales/ideales Kühlsystem – Nutzereinfluss.

Nutzerverhalten	Sollwert	Wetterdaten	$Q_{\text{real}} / Q_{\text{ideal}}$
Nutzer 1	$\vartheta_{\text{op}} = 26\text{ °C}$	Potsdam	1,14 ... 1,60
		Rom	1,04 ... 1,12
Nutzer 2	$\vartheta_{\text{op}} = 28\text{ °C}$	Potsdam	1,40 ... 5,68
		Rom	1,08 ... 1,19

Tabelle 4: Energetische Kennwerte reales/ideales Kühlsystem – Systemeinfluss.

System	Wetterdaten	$Q_{\text{nass}} / Q_{\text{trocken}}$	
		Nutzer 1, $\vartheta_{\text{op}} = 26\text{ °C}$	Nutzer 2, $\vartheta_{\text{op}} = 28\text{ °C}$
Deckenkühlung	Potsdam	1,06 ... 1,08	1,00 ... 1,01
Fußbodenkühlung		1,00	1,04
Wandkühlung		1,02 ... 1,07	1,05 ... 1,56
Deckenkühlung	Rom	1,02	1,03
Fußbodenkühlung		1,03	1,05
Wandkühlung		1,02	1,02 ... 1,03

schen Daten gemittelt. Ein Einfamilienhaus mit einer Grundfläche von  $A = 160\text{ m}^2$  dar. Einige Detailansichten des betrachteten Einfamilienhauses sind Bild 6 zu entnehmen. Da der Fokus auf einer Analyse des Wärmeübergabesystems lag,

wurden die Untersuchungen mit einem Wärme-/Kälteerzeuger durchgeführt, welcher exakt die Vorlauftemperatur nach Heiz- und Kühlkurve bereitstellt. Hydraulisch exakt erfolgte die Modellierung des Verteil- und Übergabesystems.

Hinsichtlich des Nutzerverhaltens wurde ein Nutzer betrachtet, der einen durchgehenden Betrieb der Anlage vornimmt, und ein Nutzer, der einen stark intermittierenden Betrieb verfolgt. Als Analyseperioden wurden definiert:

- Heizperiode 1. Oktober bis 30. April,
  - Kühlperiode 1. Mai bis 30. September.
- Weitere Randbedingungen sind [4] zu entnehmen.

Die energetischen Ergebnisse der einzelnen betrachteten Varianten wurden denen eines idealen Heiz-/Kühlsystems gegenübergestellt, welches trägheitslos einen energetischen Bilanzausgleich in jedem Raum realisiert. Als Maß für die Regelung wurde die operative Raumlufttemperatur gewählt, die als Indikationsgröße für die thermische Behaglichkeit anzusehen ist. Als Systeme wurden Decken-, Fußboden- sowie Wandheizungen betrachtet. Bild 7 zeigt den prinzipiellen Systemaufbau der betrachteten Varianten.

Tabelle 1 liefert einen energetischen Vergleich aller betrachteten Systeme in Abhängigkeit des Nutzerverhaltens und des betrachteten Wetters in Bezug auf das „ideale“ Heizsystem. Tabelle 2 dokumentiert zusätzlich energetische Kennwerte für den Heizfall beim direkten Vergleich von Nass- und Trockensystem.

In Tabelle 1 ist zu erkennen, dass für den Heizfall in Bezug auf die verwendeten Wetterdaten keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen sind. Differenzen sind hingegen beim Nutzerverhalten sichtbar. Hier ist die Spannweite aufgrund der Systemträgheit von in der Umfassungskonstruktion integrierten Flächenheizungen zu erkennen. Weiterhin zeigen die Kennwerte der Tabelle 1, dass im Vergleich zum idealen Heizsystem mit einem realen Flächenheizsystem deutliche energetische Mehraufwen-

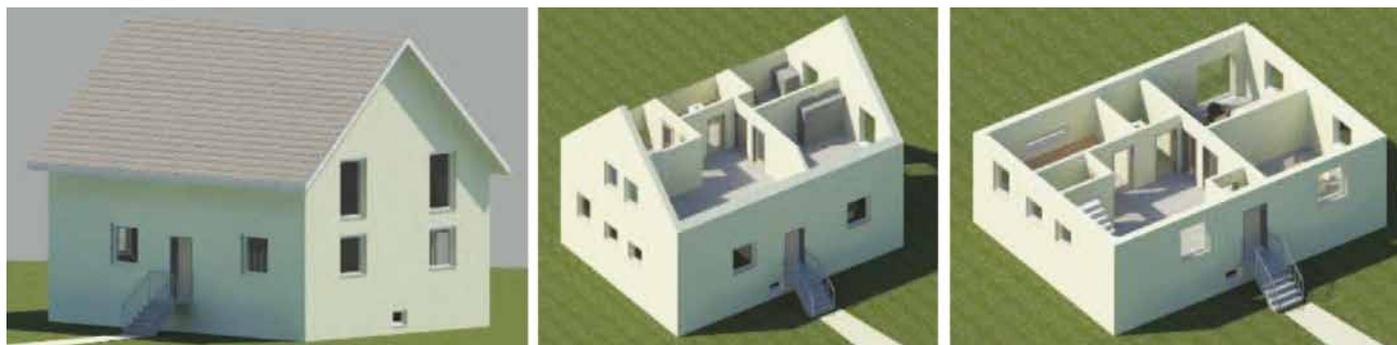


Bild 6: Verschiedene Ansichten des repräsentativen Einfamilienhauses.

dungen zu erwarten sind. Auch hier ist die Ursache in der thermischen Trägheit der Systeme zu suchen.

Tabelle 2 dokumentiert den direkten Vergleich der Systeme untereinander. Mit Bezug auf ein Trockensystem, welches von der Konstruktion her nur eine geringe Systemträgheit aufweist, kann festgestellt werden, dass Fußboden- und Deckenheizungen nahezu gleiche energetische Kennwerte im relativen Vergleich aufweisen. Größer ist die Bandbreite beim System Wandheizung, da hier die konvektive Auftriebsströmung stärker abgebildet wird. D.h., im Vergleich zu Deckenheizungen und Fußbodenheizungen erfolgt bei diesem System die Wärmeübertragung in höherem Maße konvektiv, was zu einer höheren Lufttemperatur führt. Zusätzlich zu diesem Effekt tritt bei Wandheizungen ein höherer Wärmestrom bei außen liegenden Wänden auf, da die thermisch aktive Schicht direkt Bestandteil der Umfassungskonstruktion ist.

Für den Kühlfall sind vergleichbare energetische Kennwerte den Tabellen 3 und 4 zu entnehmen. Erweitert wurden die Analysen im Kühlfall um eine Variation der einzuhaltenden Solltemperatur im Raum. Hier erfolgte eine Unterscheidung in  $\vartheta_{op} = 26^{\circ}C...28^{\circ}C$ .

Vergleicht man die energetischen Kennwerte für den Kühlfall mit denen des Heizfalles, so ist mit Bezug auf Tabelle 3 zu erkennen, dass sich zwischen realen und idealen Systemen ein größerer Wertebereich aufspannt. Dies ist mit der Erkenntnis zu begründen, dass die Flächenkühlsysteme lediglich eine „Ankühlfunktion“ im Raum wahrnehmen können und nicht zu jedem Zeitpunkt die Einhaltung der geforderten operativen Raumtemperaturen gewährleisten können (vgl. [5]). Auffällig ist weiterhin, dass die große Verschiebung speziell beim Nutzer 2 und den Wetterdaten von Potsdam auftreten. Dies hängt damit zusammen, dass die erforderlichen Kühlleistungen beim genannten Wetterdatensatz nur sehr gering sind. D.h., kleine energetische Abweichungen generieren hier hohe relative Differenzen.

Betrachtet man zum Vergleich der Systeme untereinander die Ergebnisse der Tabelle 4, so ist zu erkennen, dass Decken-, Wand-, und Fußbodenkühlung besonders bei hohen Lastsituationen wie in Rom vergleichbare energetische Ergebnisse liefern. Größere Differenzen treten auf, wenn man lediglich ein Teillastverhalten vorfindet, wie es bei den Wetterbedingungen in Potsdam der Fall ist. ▶

Tabelle 5: Kennwerte für die Ermittlung der energetischen Korrekturwerte nach [5].

Installationsort	Heizfall		Kühlfall	
	A in (m <sup>2</sup> K <sup>2</sup> )/kJ	B in K	A in (K <sup>2</sup> m <sup>2</sup> )/kJ	B in K
Decke	0,037	- 1,45	- 0,037	1,44
Fußboden	0,0019	- 0,29	- 0,005	0,74
Wand	0,098	- 3,86	- 0,037	1,44
Wand mit zusätzlicher Dämmung	0,079	- 3,12	- 0,018	0,72

Tabelle 6: Interaktion zwischen Produkt- und Systemnormen.

Produkt	Produkt	Korrektur	Bemerkung
Freie Heizfläche (Radiatoren / Konvektoren)	EN 442	$\Delta\theta_{rad}, \Delta\theta_{im,emt}$	
Eingebettete Heiz- und Kühlsysteme	DIN EN 1264 – Reihe ISO 11855 – Reihe	$\Delta\theta_{im,emt}$	ISO 11855-7
Nicht eingebettete Strahlungsheiz- und Kühlsysteme (offener Luftspalt)	EN 14037 – Reihe ISO 18566 – Reihe	$\Delta\theta_{im,emt}$	ISO 11855-6
Thermostate (TRV)	EN 215	$\Delta\theta_{ctr} = CA$	
Elektronische Regler	EN 15500	$\Delta\theta_{ctr} = CA$	
Hell- und Dunkelstrahler	EN 416-2 / EN 419-2	RF	
Gebläseunterstützte Radiatoren, Konvektoren und Unterflurkonvektoren	EN 16430 – Reihe	$\Delta\theta_{rad}$	
Elektrische Radiatoren	EN 14337	$\Delta\theta_{rad}$	
Elektrische Infrarotstrahler für industrielle Heizsysteme	EN 60240-1	RF	
Freie Heizfläche (Radiatoren / Konvektoren)	EN 442	$\Delta\theta_{rad}, \Delta\theta_{im,emt}$	

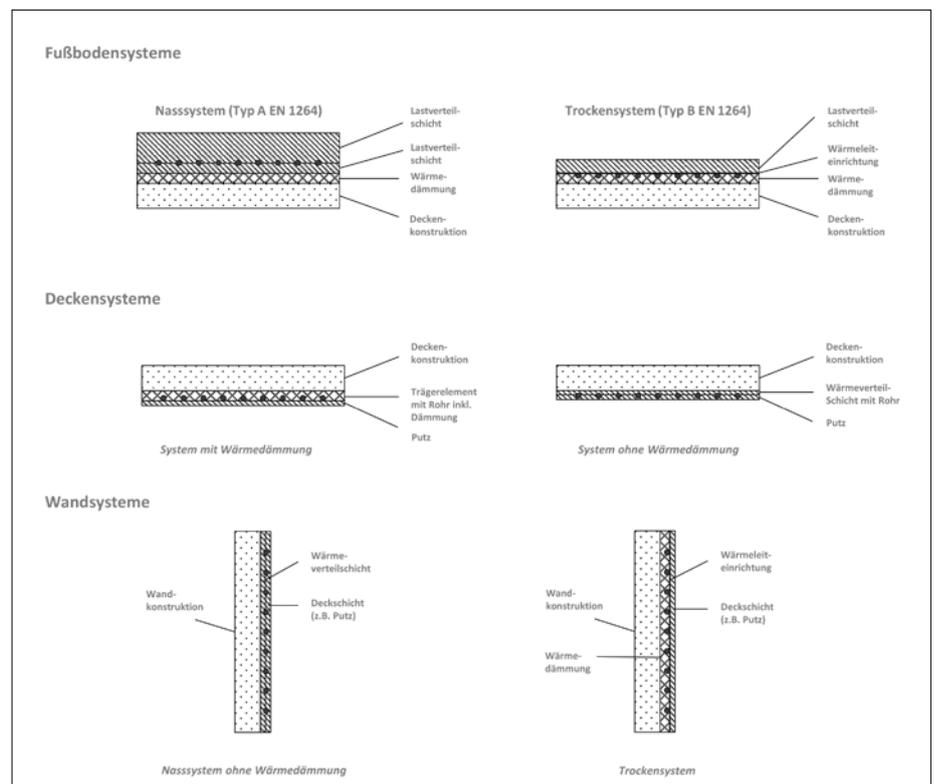


Bild 7: Schematischer Aufbau der untersuchten Systeme.

### Beispiel für einen Tagesgang der operativen Raumtemperatur im Kühlfall, Deckensystem

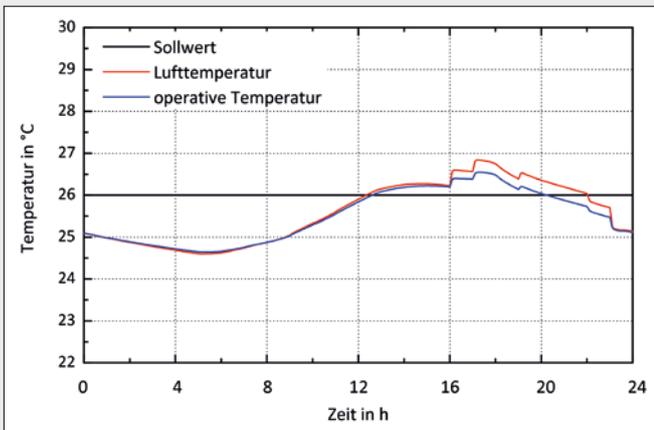


Bild 8: (Nasssystem – 10 mm, Nutzer 1, Wetter Rom).

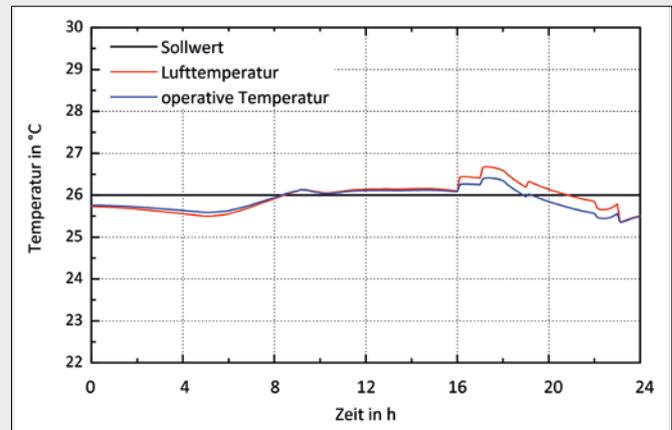


Bild 9: (Trockensystem, Nutzer 1, Wetter Rom).

Ergänzt werden die energetischen Betrachtungen durch die Analyse der in Bild 8 und Bild 9 dokumentierten operativen Raumtemperaturen, die ein Nasssystem und ein Trockensystem für einen repräsentativen Raum des betrachteten Einfamilienhauses gegenüberstellen. Deutlich ist beim Nasssystem zu erkennen, dass in den Morgenstunden eine Unterschreitung der Solltemperatur zu verzeichnen ist. Dies ist ein Resultat der großen Trägheit des Systems. Im Gegensatz zur Sollwertunterschreitung wird in den Stunden nach 12 Uhr eine Abweichung über die operative Solltemperatur detektiert. Luft- und Empfindungstemperatur weisen jedoch keine signifikanten Differenzen auf. Betrachtet man vergleichend die Verläufe des Bildes 9, in denen das Trockensystem dokumentiert ist, so kann festgestellt werden, dass die sich einstellenden Temperaturen sehr

nahe am Sollwert liegen. Die grundsätzliche Differenz zwischen operativer Temperatur und Lufttemperatur bleibt jedoch erhalten.

#### Normative Verfahren

Die am Anfang dokumentierten energetischen Kennwerte bilden die Grundlage, um im Bauteil integrierte Flächenheiz- und -kühlssysteme auch mit normativen Verfahren bewerten zu können. Grundsätzlich stehen hierzu die DIN V 18599-5 [6] sowie die DIN EN 15316-2 [7] zur Verfügung. Beide Normen wurden durch die Mitwirkung des deutschen Normungsausschusses so gestaltet, dass die verwendeten Berechnungsverfahren identisch sind. Aktuell laufen in den internationalen Normungsgremien Aktivitäten, die europäische Norm auch auf ISO-Ebene zu etablieren (Bild 10).

Die genannten Normen bieten den großen Vorteil, dass ein auf Temperaturdifferenzen beruhendes Berechnungsverfahren integriert wurde. Positiv ist hierbei, dass die resultierenden Kennwerte eine gute Vergleichbarkeit mit Praxiswerten

gewährleisten, da Temperaturen leicht messtechnisch zu erfassen sind<sup>1)</sup>, was besonders die Energieberatung unterstützt.

Innerhalb des Berechnungsgangs der genannten Normen besteht aktuell die Möglichkeit, sogenannte „Default-Werte“ für die Berechnung zu verwenden. Diese Default-Werte bilden einen Querschnitt der am Markt verfügbaren Produkte ab. Für Hersteller von Anlagentechnik, die ihre eigenen produktspezifischen energetischen Kennwerte verwenden wollen, ist der Zugang zum energetischen Berechnungsverfahren erschwert. Dieses Problem wurde im zurückliegenden Jahr von den zuständigen deutschen Normungsgremien erkannt und soll zukünftig über Ergänzungsnormen gelöst werden, die aus den Produktnormen produktspezifische Kennwerte für die Systemnormung bereitstellen. Der Bereich der Flächenheizung/-kühlung nimmt in diesem Erweiterungsprozess eine Vorreiterrolle ein und initiierte frühzeitig Arbeiten auf ISO-Ebene, welche die Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung produktspezifischer Kennwerte ermög-

<sup>1)</sup> In der Vorgängernorm zur DIN EN 15316-2 wurden als Berechnungsgrundlage zwei Verfahren benannt. Eines beruhte auf Teilnutzungsgraden, die messtechnisch nur schlecht in der Praxis zu überprüfen sind.

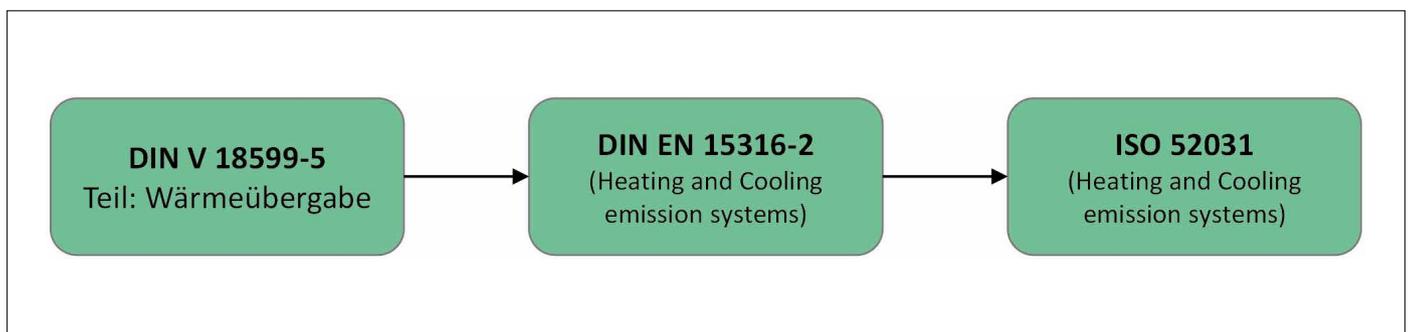


Bild 10: Übertragung der nationalen und europäischen Normen zur Wärmeübergabe auf ISO – Ebene.

licht. Für die im Bauteil integrierten Flächenheiz- und -kühlsysteme ist die Richtlinie prISO 11855-7 [7] hierfür die relevante Norm. Das Berechnungsverfahren der neuen internationalen Norm basiert auf einer systemspezifischen Kapazität  $C_{sys}$ , die im Berechnungsgang eine zentrale Rolle einnimmt. Die Ermittlung dieser Größe erfolgt auf Basis von Gleichung 1:

$$C_{sys} = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \quad (1)$$

$c_i$ ,  $\rho_i$ ,  $d_i$  stellen systemspezifische Parameter der Schichten dar, die sich oberhalb der wärme- bzw. kälteeintragenden Schicht befinden. Mit diesem Parameter und den Kennwerten der Tabelle 5, welche aus den oben beschriebenen energetischen Untersuchungen abgeleitet wurden, kann ein Korrekturglied für die resultierende Raumtemperatur bestimmt werden. Gleichung 2 liefert hierzu den entsprechenden formelmäßigen Zusammenhang:

$$\Delta\theta_{i,m,emt} = A \cdot C_{sys} + B \quad (2)$$

Mit Bezug auf Gleichung 2 ist somit die Möglichkeit geschaffen, die konstruktiven Unterschiede von am Markt befindlichen Produkten in einen energetischen Kennwert zu überführen, der bei der Energiebedarfsberechnung Eingang findet.

Für im Bauteil integrierte Heiz- und Kühlflächen wurde die beschriebene Systematik in der prISO 11855-7 [8] umgesetzt. Für andere Produktgruppen wird derzeit vorbereitet, einen ergänzenden Teil in den nationalen und internationalen Normenreihen zu platzieren. Eine Übersicht zu den laufenden Aktivitäten liefert Tabelle 6.

### Fazit

Im vorliegenden Beitrag werden unterschiedliche Aspekte von Flächenheiz- und -kühlsystemen betrachtet. Mit Bezug auf messtechnische Untersuchungen kann festgestellt werden, dass Kopf- und Nackenbereich insbesondere bei Deckensystemen eine besondere Aufmerksamkeit erfahren müssen. Hier bilden sich die größten Temperaturgradienten auf den menschlichen Körper ab. Aus energetischer Sicht zeigen die dokumentierten Daten, dass Decken- und Fußbodensysteme nahezu gleiche energetische Kennwerte liefern. Wandsysteme hingegen weisen einen relativen energetischen Mehrbedarf auf, was eine Folge der kon-

vektiven Strömung senkrecht zum Boden sowie der höheren Wärmeverluste der Außenwand ist. Aus Sicht der normativen Berechnungsverfahren kann festgestellt werden, dass derzeit intensive Aktivitäten auf ISO-Ebene laufen, um zwischen Produktnormen und Systemnormen eine Kopplung zu erreichen. Diese Arbeiten werden nach derzeitiger Abschätzung noch mindestens 2 Jahre in Anspruch nehmen, bevor alle Produktnormen produktspezifische Kennwerte für die Systemnormung bereitstellen. ◀

### Literatur:

- [1] DIN EN 1264 (Teil 1-5): Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung (Teil 1 - 5), 2013
- [2] Seifert, J.; Oschatz, B.; Schinke, L.; Buchheim, A.; Paulick, S.; Beyer, M. Mailach, B.: Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme, Forschungsbericht VDE Verlag, 2016
- [3] Fanger, P.O.: Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering, New York: McGraw-Hill-Books, 1973
- [4] Knorr, M.; Meinzenbach, A.; Perschk, A.; Seifert, J.; Oschatz, B.: Kennwerte für Systeme zur Wärme- / Kälteübergabe für die EN 15316-2, ITG Dresden, 2016
- [5] Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2007
- [6] DIN V 18599 -5: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen, 2016
- [7] DIN EN 15316-2: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Energieanforderungen und Nutzungsgrade der Anlagen – Teil 2: Wärmeübergabesysteme (Raumheizung und -kühlung), Deutsche Fassung EN 15316-2, 2017
- [8] pr ISO 11855-7: Building environment design – Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems: Part 7: Input parameters for the energy calculation, 2017

Autoren: PD Dr.-Ing. habil. J. Seifert, Dipl.-Ing. L. Schinke, Dipl.-Ing. M. Beyer, Dr.-Ing. M. Knorr, Dipl.-Ing. A. Meinzenbach, Dr.-Ing. A. Perschk, alle TU Dresden, Institut für Energietechnik

Bilder: TU Dresden, Institut für Energietechnik

### Symbolverzeichnis

A	Koeffizient der Berechnung	$(m^2 \cdot K^3)/kJ$
B	Koeffizient der Berechnung	K
$c_i$	spezifische Kapazität	$kJ/(kg \cdot K)$
$C_{sys}$	systemspezifische Kapazität	$kJ/(m^2 \cdot K)$
$d$	Dicke	m
$h$	Höhe	m
$Q_{ideal}$	Energiebedarf des idealen Systems	kWh
$Q_{nass}$	Energiebedarf des Nasssystems (Typ A nach DIN EN 1264)	kWh
$Q_{real}$	Energiebedarf des realen Systems	kWh
$Q_{trocken}$	Energiebedarf des Trockensystems	kWh
RF	Strahlungsfaktor	K
$\Delta\theta\beta$	Temperaturdifferenz	K
$\Delta\theta_{rad}$	Strahlungstemperaturdifferenz	K
$\Delta\theta_{m,emt}$	Temperaturdifferenz aufgrund einer dynamischen Betriebsführung	K
$\Delta\theta_{crt}$	Temperaturdifferenz aufgrund der Regelgüte (entspricht CA-Wert)	K
$\vartheta_{op}$	operative Raumtemperatur	°C
$\vartheta_{OF}$	Oberflächentemperatur	°C
$\rho_i$	Dichte	$kg/m^3$