

Sommerliche Raumkühlung über Freie Heizflächen – aktueller Erkenntnisstand und Ausblick



Der Einsatz von Freien Heizflächen für die Kühlung von Räumen unter sommerlichen Bedingungen ist derzeit eine in der Praxis kaum anzutreffende technische Lösung. Der nachfolgende Artikel möchte den aktuellen Stand der praktischen und theoretischen Erkenntnisse hierzu zusammenfassen.

Cooling of the Rooms over local Heating Surfaces – Current State of Knowledge and Outlook

The use of free heating surfaces for the cooling of rooms under summer conditions is currently a technical solution, which is not common used in practice. The following article would like to summarize the current state of the practical and theoretical findings.

VON
ANDRÉ KREMONKE
RALF GRITZKI

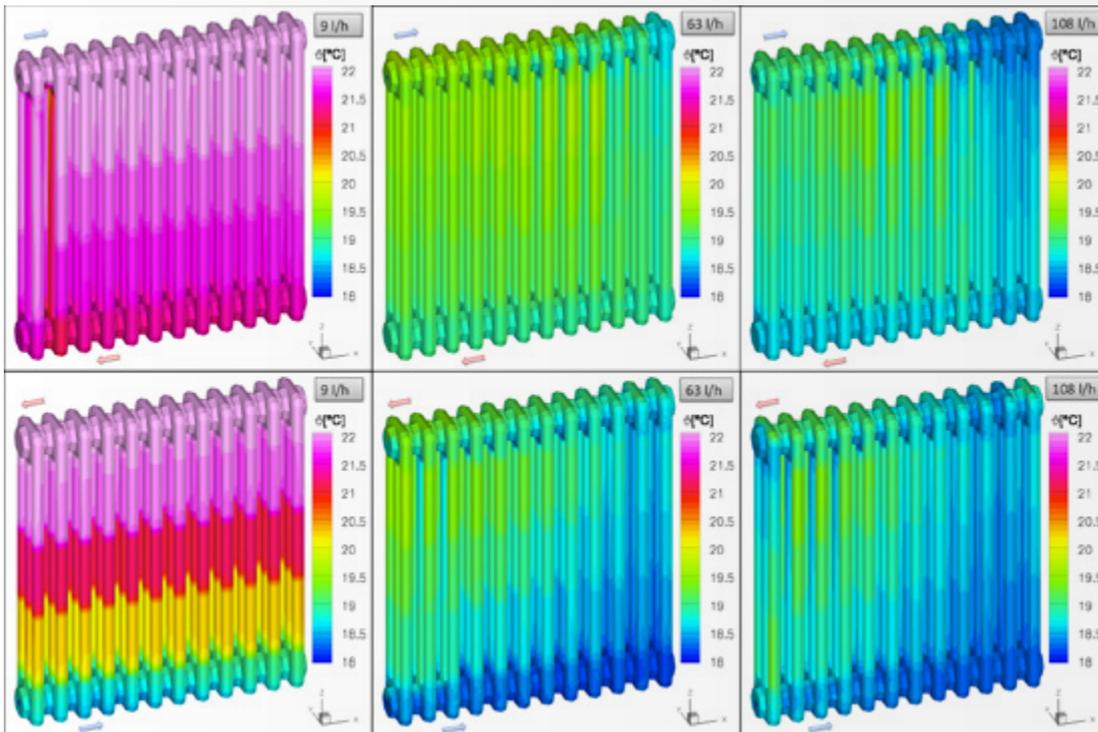


Bild 1: Oberflächentemperaturen eines Röhrenradiators im Kühlfall – Variation von Anschlussart und Durchflussmenge [15].

1. Motivation

Die Vorlesungen von Prof. Günther Kraft waren stets von anschaulichen praktischen Bezügen geprägt. Im Kontext dieses Beitrages erinnern sich langjährige Mitarbeiter an die Vorlesung „Heizungstechnik“, in der Prof. Kraft auf die in Japan genutzte Möglichkeit der Kühlung über Freie Heizflächen verwiesen hat. Die Vorlesungen nahmen häufig auch auf Nebeneffekte des behandelten Themas Bezug, wodurch die Hörer zu einer erweiterten Betrachtungsweise motiviert wurden. Im Fall der kühlenden Heizflächen war es u.a. die Betrachtung einer möglichen Taupunktunterschreitung. Hier verwies Prof. Kraft auf die in Japan praktizierte pragmatische Lösung, die im Auffangen und Abführen des entstehenden Kondensates besteht.

Im europäischen Raum ist die Kühlung über Freie Heizflächen weitestgehend unbekannt. Obwohl für die sommerliche Raumkühlung die Nutzung einer ohnehin benötigten Heizungsanlage mit Hinblick auf die Investitions- und Betriebskosten besonders interessant erscheint, wird die Vorstellung einer solchen Lösung nicht selten ablehnend und mit einiger Skepsis betrachtet. Dabei wird auf die vergleichsweise geringe

Kühlleistung der Freien Heizflächen und die „Gefahr“ der Kondensatbildung verwiesen. Praktische Untersuchungen wurden bisher nur in sehr begrenztem Umfang und eher unter laborähnlichen Bedingungen durchgeführt (vgl.[13]).

Für Prof. Richter als Nachfolger im Amt des Lehrstuhlinhabers war es bezeichnend, unvoreingenommen auch solche Themen aufzugreifen, für die nicht gleich eine breite Zustimmung zu erwarten ist und dafür auch die erforderlichen Partner zu gewinnen. So wurden die Vorhaben zur sommerlichen Raumkühlung [12], [15], initiiert, in denen auch die Kühlung über Freie Heizflächen einer detaillierten Analyse zugeführt werden konnten. Hierzu zählen vor allem Untersuchungen zur Wirkung

- von Auftriebskräften auf die wasserseitige Durchströmung von Freien Heizflächen im Kühlfall,
 - kühlender Freier Heizflächen auf die Raumluftströmung und
 - kühlender Freier Heizflächen in Bezug auf die sich einstellende thermische Behaglichkeit.
- Bei diesen Untersuchungen kamen die Methoden
- der gekoppelten Anlagen-, Gebäude- (TRN-SYS-TUD [10]) und Strömungssimulation

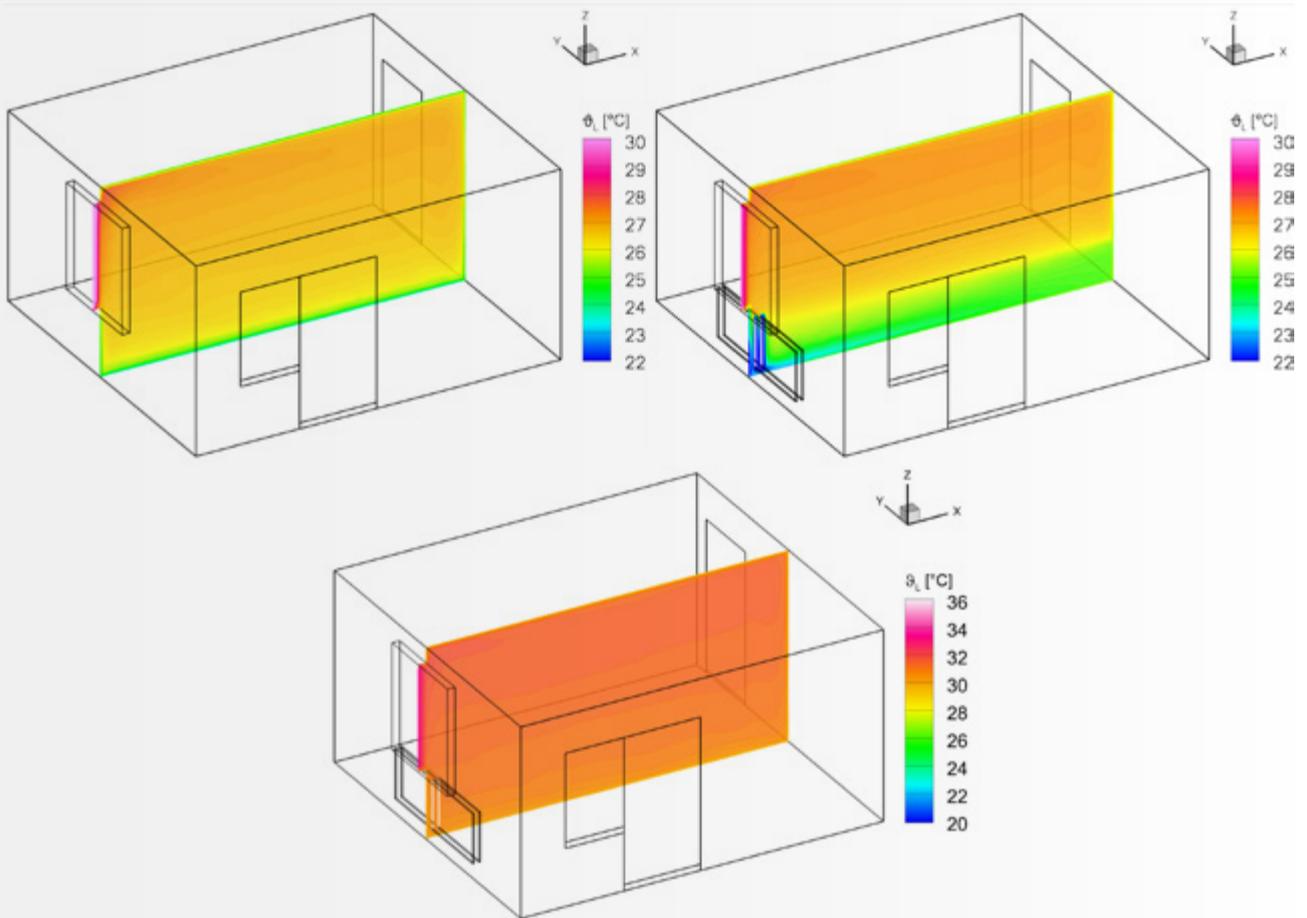


Bild 2: Lufttemperaturen bei Fußbodenkühlung (links), Kühlung über einen Kühlkörper (rechts) und ungekühlter Vergleichsfall (unten, mit angepasster Temperaturskala) [15].

(ParallelNS [9]) in Verbindung mit der zusätzlich angebundenen

- Bauteilsimulation der Heizflächeninnenbereiche (Ansys Fluent [2]) zur Anwendung. Die Bestimmung der Übertragungsleistung basiert somit auf einer dreidimensionalen Nachbildung der Wärmeleitvorgänge innerhalb aller Übertragerflächen, der beidseitigen Simulation der Medienströmungen (Luft, Wasser) sowie einer hochaufgelösten Betrachtung der Wärmeübertragung durch Strahlung. Die verwendete Methodik wurde gegen die reale Heizkörperprüfung nach DIN EN 442 [3] bewertet. Dabei lagen die Abweichungen der übertragenen Wärmeströme bei maximal 3-5 %. Über die Ergebnisse wurde u.a. auch in [6] zusammenfassend berichtet.

2. Physikalische Effekte und deren Wirkungen

Aus der beschriebenen stringenten Vorgehensweise resultiert eine differenzierte Bewertung hinsichtlich der Wirkung der physikalischen Vorgänge. So zeigen die Untersuchungen, dass sich bei den üblichen Masseströmen im Kühlfall eine Kurzschlussströmung einstellen kann, welche insbesondere bei gleichzeitigem Anschluss mit oberliegendem Vorlauf dazu führt, dass nur ein sehr kleiner Teil der Heizfläche gekühlt wird. Mit der gewählten Methodik kann aber auch gezeigt werden, dass beispielsweise eine deutliche Erhöhung des Massestromes (siehe **Bild 1**) oder die Wahl einer günstigeren Anschlusssituation zu einer deutlich besseren Kühlung der Heizfläche beitragen kann.

Die Analyse der physikalischen Wirkung gekühlter Freier Heizflächen im umschlossenen

Testraum zeigt erwartungsgemäß deren begrenzte Leistung, aber auch die Ausbildung eines Kaltluftsees. Experimentelle Erfahrungen z.B. in [7] zeigen, dass solche Strömungsformen auch unter dem Einfluss von Störgrößen grundsätzlich stabil und reproduzierbar sind. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass der Kaltluftsee zu einer örtlich begrenzten Kühlung von Wärmequellen beiträgt, indem sich an diesen eine kühlende Auftriebsströmung einstellt. **Bild 2** zeigt die berechnete Verteilung der Raumlufttemperaturen bei Kühlung über eine für den Heizfall ausgelegte Heizfläche (oben rechts) im Vergleich zu einer Kühlung über den Fußboden (oben links).

Bei einer üblichen, für den Winterfall vorgenommenen Auslegung der Freien Heizflächen führt deren Kühlung unter sommerlichen Bedingungen zu einer vergleichsweise geringen Wärmeaufnahme. Dies resultiert aus dem geringen Anteil der wärmeübertragenden Flächen, der geringen Untertemperatur des Kühlmediums und des allein auf Freier Konvektion beruhenden konvektiven Wärmeüberganges. Dennoch gehen die Autoren davon aus, dass die Kühlung über Freie Heizflächen, insbesondere bei modernen Heizungsanlagen mit niedrigeren Betriebstemperaturen und dementsprechend größeren Heizflächen, eine interessante Alternative zu konventionellen Möglichkeiten der sommerlichen Raumkühlung sein kann. Die Berechnungen in [15] zeigen, dass sich trotz der geringen Kühlleistungen, gegenüber dem ungekühlten Vergleichsfall, deutlich geringere Raumlufttemperaturen einstellen (siehe **Bild 2**). Dem Entwicklungsansatz sollten, insbesondere bei sehr hohen thermischen Belastungen, die Bedürfnisse hinsichtlich einer optimalen thermischen Behaglichkeit untergeordnet werden. Dieser Ansatz wird durch Bewertungsmaßstäbe der aktuellen Normung unterstützt. So lassen gegenwärtig alle relevanten Normungsvorhaben (ASHRAE 55 [1], DIN EN 16798 [5], DIN EN ISO 7730 [4]) in Abhängigkeit der gewählten Komfortkategorie verschiedene Toleranzbereiche der operativen Temperatur zu. Damit wird tendenziell den Erfahrungswerten hinsichtlich des tatsächlichen Wärmeempfindens und der Anpassungsfähigkeit der Nutzer Rechnung getragen, indem man gegenüber dem Winterfall für den Sommerfall auf höherem Niveau eine deutlich größere

Varianz der operativen Temperatur zulässt. Dies sichert vor allem die Planung und den Betrieb entsprechender Anlagen formal gegenüber überzogenen Erwartungshaltungen ab.

Neuere Untersuchungen [11] weisen darauf hin, dass es offenbar weitere physiologische und psychologische Einflussgrößen gibt, welche dazu führen, dass Nutzer auch solche Raumtemperaturen akzeptabel finden, die deutlich über einem konventionell ermittelten Behaglichkeitsbereich liegen¹. Damit wird einerseits für den Sommerfall der konventionelle Behaglichkeitsbereich als Bewertungsgrundlage in Frage gestellt. Andererseits wird damit die Erfahrung bestätigt, dass bei einem hohen Temperaturniveau auch kleinere Verbesserungen der thermischen Behaglichkeit als sehr angenehm empfunden werden. Könnte dies bei der Anlagenauslegung Berücksichtigung finden, würde es zur Vermeidung von Anlagen mit hoher, aber selten genutzter Leistungsreserve führen.

3. Einsatzmöglichkeiten beim Anlagenumbau und Anlagenneubau

Mit dem Anlagenneubau kann durch den Einsatz großer, zur Aufenthaltszone orientierter Heizflächen im Sommer ein größerer Kühleffekt, vor allem durch einen erhöhten personenbezogenen Strahlungseinfluss, erreicht werden. In Japan werden entsprechende Systemlösungen für den Heiz- und Kühlfall angeboten (siehe **Bild 3** und **Bild 4**). Hier verweist man, im Vergleich zur Kühlung über Klimasplitgeräte, auf den als besonders angenehm empfundenen Kühleffekt und die im Vergleich zu schlecht gewarteten Vergleichssystemen mit Umluftfiltern bessere Raumluftqualität.

Das Klima in der japanischen Pazifikregion ist durch heiße und sehr feuchte Sommer geprägt. Diesbezüglich wirkt sich sehr vorteilhaft aus, dass die Heizkörper bis weit unter den Taupunkt der Raumlufttemperatur gekühlt werden, sodass sich die relative Feuchte der Raumluft auf eine wärmephysiologisch angenehme Größenordnung reduzieren lässt. Das

¹ In [16] werden abweichend zu den in der Literatur vorzufindenden stationären Aussagen zur thermischen Behaglichkeit Aspekte zur thermischen Behaglichkeit unter transienten Bedingungen dokumentiert, die ebenfalls eine Akzeptanz von Probanden oberhalb der eigentlichen Komforttemperatur ausweisen.

auf der Heizfläche kondensierende Wasser wird gesammelt und ähnlich wie bei Klimasplitgeräten abgeleitet. Innerhalb der Heizfläche erfolgt die Führung des Kühlmediums derart, dass eine vollflächige Durchströmung gewährleistet ist.

Wird auf die Möglichkeit der Lufttrocknung durch Taupunktunterschreitung verzichtet, ermöglicht das relativ hohe Temperaturniveau des Kühlmediums die Nutzung preiswerter Möglichkeiten der Kältebereitstellung. Hierzu zählen beispielsweise die Rücklauftemperaturenanhebung konventioneller Kaltwasserkreisläufe, die Nutzung der Freien Kühlung (gegebenenfalls in Kombination mit einer Verdunstungskühlung) oder die Nutzung einer Adsorptionskältemaschine mit Wärmebereitstellung über ein motorisches BHKW. Besonders interessant erscheint auch der passive Betrieb von Wärmepumpen mit Erdwärmenutzung. Neben der kostengünstigen Kältebereitstellung können sich hier auch günstige Effekte für den Winterbetrieb und die Phasen der Warmwasserbereitstellung einstellen, wenn sich das Erdreich im Bereich der Sonden oder Kollektorflächen besser regenerieren kann.

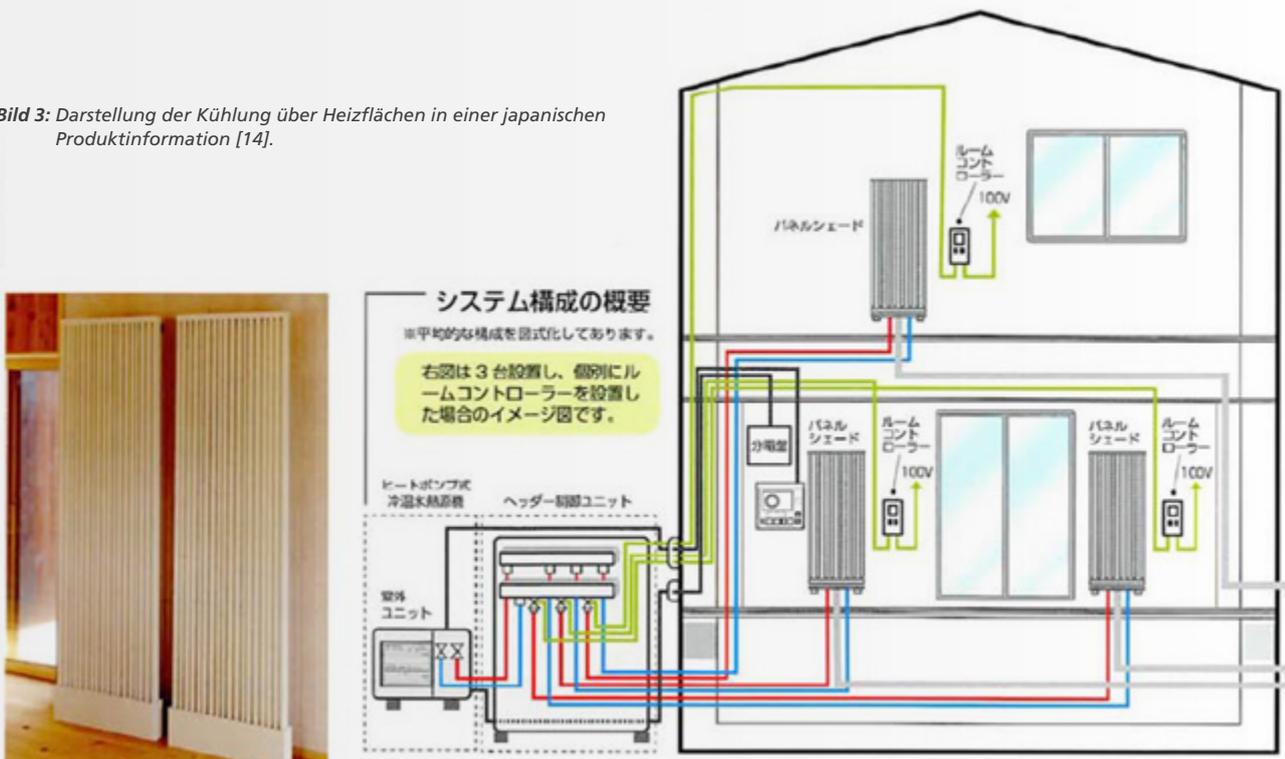
Insbesondere die Kombination mit einer kostengünstigen Kältebereitstellung ermöglicht

einen nutzungszeitunabhängigen Betrieb mit gezielter Ausnutzung der Speichermassen des Gebäudes. Dabei können auch mit kleinen Kühlleistungen dem schleichenden Einspeichern von Wärmebelastungen entgegengewirkt, oder bereits eingespeicherte Wärmebelastungen abgeführt werden, indem man den Kühlbetrieb zeitlich vorzieht.

4. Ausblick

Die Autoren gehen davon aus, dass im lokalen Bereich gekühlter Heizflächen weitere, vom Einsatzfall abhängige Effekte der Lastkompensation wirken können. Beispielhaft seien hier die Aufnahme von Wärmebelastungen durch Fensterlüftung bei gezielter Luftführung über den gekühlten Heizkörper, die Kompensation der Wirkung hoher Außenwandtemperaturen durch davor angeordnete Heizflächen im Kühlbetrieb oder die Aufnahme direkter Solarstrahlung im Bereich des Fußbodens genannt. Letzteres erfolgt durch die Kombination der Strahlungswirkung der gekühlten Heizfläche und der den Fußboden überströmenden Kaltluft.

Bild 3: Darstellung der Kühlung über Heizflächen in einer japanischen Produktinformation [14].



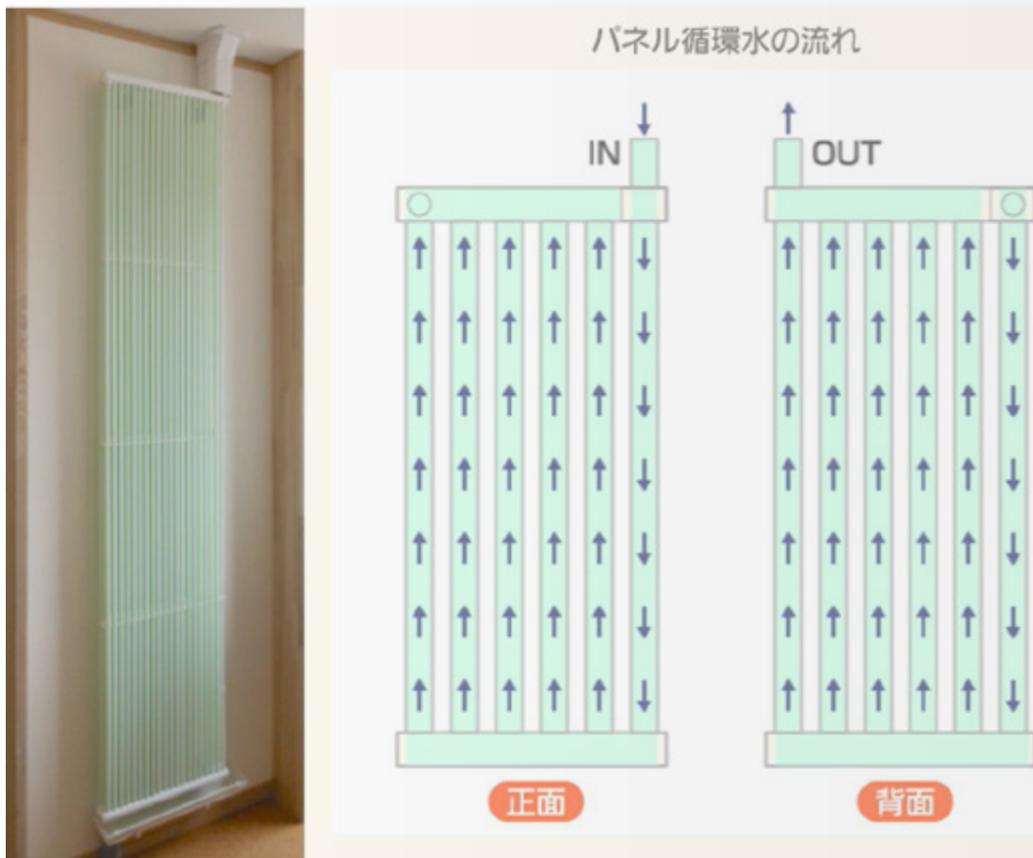


Bild 4: Darstellung der Kühlung über Heizflächen in einer japanischen Produktinformation [8].

Um die bisherigen Hypothesen und theoretischen Ergebnisse hinsichtlich ihrer Praxiswirksamkeit zu bewerten, befindet sich ein Forschungsvorhaben in Vorbereitung. Im Rahmen dieses Vorhabens sollen mit verschiedenen Zielstellungen fünf praktisch ausgeführte Anlagen untersucht werden. Raumseitig werden die Effekte bei der Um- und Durchströmung der Heizflächen, einschließlich der Wirkung auf das thermische Behaglichkeitsempfinden der Raumnutzer analysiert. Die Möglichkeiten zur Untersuchung dieser Effekte reichen von der passiven Beobachtung unter Nutzung üblicher Monitoring-Methoden, bis hin zu laborähnlichen Möglichkeiten durch Installation zusätzlicher Messtechnik sowie zur Nutzung von Austausch- und Vergleichssystemen. Konsequenterweise werden auch verschiedene Kälteversorgungssysteme betrachtet. Neben den konventionellen Möglichkeiten der Kältebereitstellung sollen insbesondere die Kälteerzeugung über die Kopplung einer Adsorptionskältemaschine mit einem BHKW,

einer reversibel betriebenen Gas-Absorptionswärmepumpe und über den Erdreich-Wärmeübertrager einer Sole-Wasser-Wärmepumpe untersucht werden. Mit dem in Vorbereitung befindlichen Vorhaben bietet sich somit die Möglichkeit, vergleichende Betrachtungen zur Effizienz, Wirtschaftlichkeit und Praxistauglichkeit verschiedener Systemlösungen der sommerlichen Raumkühlung mittels Freier Heizflächen anzustellen.

5. Fazit

Im vorliegenden Artikel stellen die Autoren die Kühlung von Räumen mittels Freier Heizflächen in den Mittelpunkt der Betrachtungen. In Zentraleuropa wird diese Technologie derzeit nur in sehr geringem Umfang eingesetzt, wohingegen z.B. in Japan die Kühlung mit Freien Heizflächen ein Standardsystem darstellt. Die Leistungsübertragung mit Freien Heizflächen ist aufgrund der Taupunktproblematik und der begrenzten wärmeübertragenden Fläche limitiert. Dennoch

kann mit dieser Technologie ein raumseitiger Kühleffekt erzielt werden. Erste grundsätzliche Analysen zu diesem Thema wurden in der jüngeren Vergangenheit präsentiert. Dennoch gibt es einige technische Fragestellungen zu klären. Verwiesen sei in diesem Zusammenhang auf die wasserseitige Durchströmung der Freien Heizfläche sowie das Zusammenspiel mit der örtlichen regelungstechnischen Einrichtung. Hierzu sind weitere Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten durchzuführen.

AUTOREN VITA



Dr.-Ing. ANDRÉ KREMONKE

1985 – 1990 Studium der Technischen Gebäudeausrüstung an der TU Dresden

2000 Promotion „Wärmeabgabe teilbeheizter Fußböden“

Seit 1990 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Thermodynamik und TGA, Bereich Technische Gebäudeausrüstung an der TU Dresden, 2010 aufgegangen im Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung

2012 – 2014 Vertretungsprofessur für Innovative Energiesysteme / Thermische Gebäudesimulation an der HTWK Leipzig

Kontakt: Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung
01062 Dresden
E-Mail: andre.kremonke@tu-dresden.de



Dr.-Ing. RALF GRITZKI

Bis 1995 Maschinenbaustudium an der TU Dresden mit dem Schwerpunkt Thermodynamik / Strömungsmechanik

2001 Promotion

Seit 1995 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Dresden

Kontakt E-Mail: ralf.gritzki@tu-dresden.de

Literatur

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013 ASHRAE, ISSN 1041-2336.
- [2] ANSYS, Inc. Ansys Fluent© <http://www.ansys.com/>
- [3] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 442: 2015-03: Radiatoren und Konvektoren – Teil 1: Technische Spezifikationen und Anforderungen, Beuth Verlag, 2015.
- [4] 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 (ISO 7730:2005). Beuth Verlag, 2006.
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 16798-3:2015: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Beuth Verlag, 2015.
- [6] Gritzki, R.; Seidel, P.; Rösler, M.; Felsmann, C.: Sommerliche Raumkühlung im Wohnungsbau mittels kombinierter Heiz- und Kühlsysteme – Teil II – Detailuntersuchungen von Heizkörpern im Kühlbetrieb. GI gebäudetechnik - innenraumklima, 134 (2013), Heft 3, S. 174-194, DIV Deutscher Industrieverlag, München.
- [7] Kremonke, A.: Wärmeabgabe teilbeheizter Fußböden. TU Dresden, Fakultät für Maschinenwesen. Fraunhofer IRB. Dresden 2000.
- [8] Fa. Kyoritsu Air Tech Inc.: Produktinformation.
- [9] ParallelNS Users's Guide: Universität Göttingen / Technische Universität Dresden.
- [10] Perschke, A.: Gebäude- und Anlagensimulation – Ein Dresdner Modell. gi Gesundheits-Ingenieur Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik, 131 (2010), Heft 4, S. 178-183, Oldenbourg Industrieverlag, München.
- [11] Pfafferott, J.; Hölzenbein, F.; Kalz, D.; Vogt, G.: Nutzerzufriedenheit mit dem thermischen Komfort in Bürogebäuden mit Umweltenergiekonzepten. Bauphysik 35 (2013), Heft 6, S.377-391.
- [12] Richter, W.: Handbuch der thermischen Behaglichkeit – Sommerlicher Kühlbetrieb. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Forschung F2071. Dortmund, Berlin, Dresden 2007.
- [13] Rogall, A. D.; Pampuch, M.; Horn, D.: Untersuchung vorhandener Heizflächen wie Radiatoren, Konvektoren und Plattenheizkörper auf ihre Verwendbarkeit zur sommerlichen Kühlung im Wohnungsbau. Bau- und Wohnforschung: Band F 2558. Fraunhofer IRB Verlag, 2011.
- [14] Fa. Sanflex: Produktinformation.
- [15] Seidel, P.; Gritzki, R.; Haupt, J.; Rösler, M.: Sommerliche Raumkühlung im Wohnungsbau mittels kombinierter Heiz- und Kühlsysteme und gleitender nicht normierter Raumtemperaturen (Temperierungseffekt) / TU Dresden, Institut für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung. 2013. – Forschungsbericht BMWi 0327483A.
- [16] 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, VDE Verlag 2017.

IMMER BESSER INFORMIERT

Der Newsletter für **HLK-Insider**



Wöchentlich neu:

- Alle Themen rund um HLK, TGA und Solar
- Aktuelle Debatten und Trends der Branche
- Relevante Beiträge für Beruf & Praxis
- Firmen-News und Produktneuheiten

© Feng Yu/Fotolia

**JETZT ABONNIEREN
UND INFORMIERT BLEIBEN!**

www.recknagel-online.de

RECKNAGEL  aktuell