

Kühlen mit Freien Heizflächen – Eine Lösung für Bestandswohngebäude auf dem Weg in die praktische Anwendung

André Kremonke, Manuel Kornmacher, Andrea Meinzenbach, Alf Perschk,
Lars Haupt

TU Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und
Wärmeversorgung, 01062 Dresden

Kontakt zum Projekt: andre.kremonke@tu-dresden.de, <https://kueha.mw.tu-dresden.de/>

Kurzfassung: Im Beitrag wird eine Systemlösung vorgestellt, welche die zwei wesentlichen Herausforderungen im Bereich der Bestandswohngebäude **einer gemeinsamen Lösung** zuführen kann. Die beiden Herausforderungen bestehen **1.** in der Realisierung eines CO₂-neutralen Wohngebäudebestandes und **2.** in der Vermeidung der durch den Klimawandel bedingten sommerlichen Überhitzung der Bestandswohngebäude mit signifikanten Auswirkungen auf hitzebedingte Mortalitäten (nachgewiesen, z.B. durch [1], [2]).

Keywords: Wärmepumpe, Kühlung, Simulation, Monitoring, Wohngebäude, Gebäudebestand

1 Motivation

Innerhalb des Bereiches der Bestandswohngebäude sehen die Autoren zwei große Herausforderungen. Eine Herausforderung besteht in der Senkung der THG-Emissionen hin zu einem klimaneutralen Wohngebäudebestand. Eine weitere Herausforderung besteht in der Notwendigkeit zur Vermeidung einer, durch den Klimawandel bedingten (vgl. Abb. 1), Überhitzung der Wohnräume während sommerlicher Hitzeperioden.

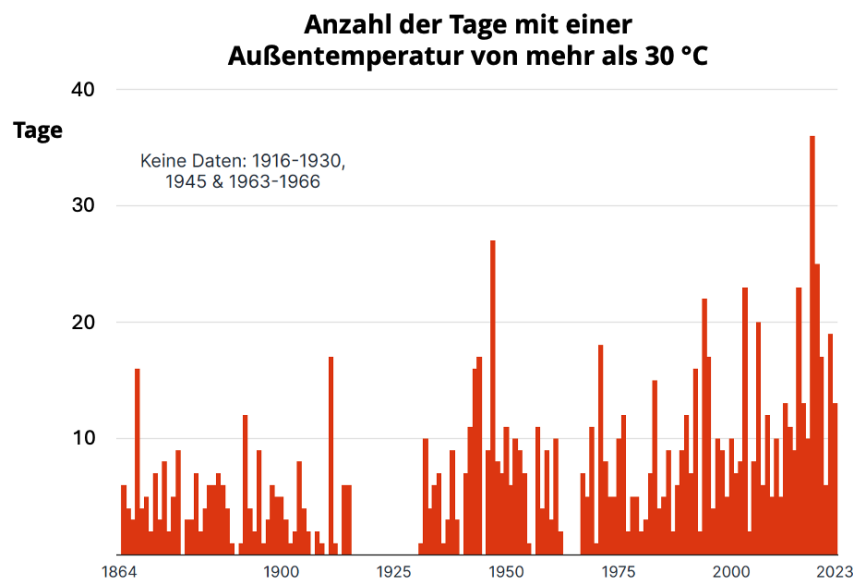


Abb. 1: Anzahl der Tage mit einer Außentemperatur von mehr als 30 °C – Erhebung für Leipzig [3]

Bestandsheizungsanlagen sind meist mit Freien Heizflächen ausgestattet. Eine Umrüstung auf Flächenheiz- und -kühlsysteme ist i.d.R. aus baulichen Gründen schwer realisierbar und wäre wegen der damit verbundenen Investitionskosten kein Problemlöser für den Gebäudebestand. Daher gehen die Autoren konsequent von der Nutzung der Bestandsheizungsanlage aus. Als Voraussetzung für den Wärmepumpeneinsatz muss ein (Teil-)Austausch der Heizflächen berücksichtigt werden, um für die Wärmeübergabe, auch bei deutlich niedrigeren Systemtemperaturen, eine ausreichend hohe Leistung bereitstellen zu können. Neben dem Einsatz größerer Heizflächen (Vergrößerung der Ansichtsfläche und/oder Vergrößerung der Anzahl der Lagen) kann vor allem mit Lüfterunterstützten Heizflächen eine deutliche Leistungssteigerung erreicht werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Mehrfamilienhäusern der thermisch bedingte Austauschbedarf an Heizflächen gering ist, da für diesen Gebäudebereich eine deutliche Überdimensionierung der Heizflächen typisch ist. Allerdings sind die Heizflächen in Bestandswohngebäuden häufig optisch verschlissen, so dass auch ein Komplettaustausch in Erwägung gezogen werden kann. Die Nutzung solcher Leistungsreserven ermöglicht nicht nur im Heizfall die Absenkung der Systemtemperaturen, sondern auch im Kühlfall eine bessere Kühlwirkung.

2.1 Voraussetzungen für einen wirksamen Kühlbetrieb mit Freien Heizflächen

Damit im Bereich der Wärmeübergabe auch mit kleinen installierten Kühlleistungen ein deutlicher Kühleffekt erreicht werden kann, müssen nachstehende Voraussetzungen gegeben sein:

- Die Vermeidung thermisch induzierter Kurzschlussströmungen,
- die Vermeidung einer Massestromreduzierung durch die Raumtemperaturregeleinrichtung bei ansteigenden Raumtemperaturen,
- eine maximale Absenkung der Vorlauftemperatur ohne die Unterschreitung der Taupunkttemperatur im Bereich der Wärmeverteilung und -übergabe, sowie die
- Realisierung eines durchgängigen Kühlbetriebes bei frei schwingender Raumtemperatur während sommerlicher Hitzeperioden.

Thermisch induzierte Kurzschlussströmungen wurden von den Autoren in parallel durchströmten, mehrlagigen Heizflächen beobachtet, wenn diese mit sehr kleinen Volumenströmen betrieben werden (siehe Abb. 3). Dabei ist der Widerstand beim Durchströmen der Heizfläche so gering, dass der Einfluss, des aus der Dichtedifferenz zwischen Vor- und Rücklauf resultierenden thermischen Umtriebsdruckes, dominiert. Da das Vorlaufwasser stets in den oberen Bereich der Heizfläche einströmt, fällt dieses im Kühlfall durch die Schwerkraftwirkung unmittelbar nach dem Einströmen innerhalb des Heizkörpers nach unten, so dass nur ein kleiner Bereich der Heizfläche gekühlt wird. Dies lässt sich durch eine Strömungsumkehr beheben. Hierfür wurde ein Modul, einschließlich der erforderlichen Regelung und Steuerung, entwickelt, welches eine zentrale Umschaltung zwischen Vor- und Rücklauf vornimmt. Die Autoren gehen davon aus, dass eine solche Umschaltung in den meisten Anwendungsfällen nicht benötigt wird. Die hydraulische Auslegung von Heizungsnetzen erfolgt meist so, dass die mit der Heizflächengröße korrespondierenden Auslegungsmasseströme gefördert werden können. Unter diesen Voraussetzungen konnten bei mehrlagigen, parallel durchströmten Heizflächen bisher keine Kurzschlussströmungen

beobachtet werden. Seit vielen Jahren werden seriell durchströmte Heizflächen angeboten und mittlerweile nahezu ausschließlich verbaut. Bei dieser Bauform konnten, auch bei sehr kleinen Masseströmen, Kurzschlussströmungen nur in der Anlaufphase beobachtet werden (siehe Abb. 3). Da die Heizflächen im Kühlfall durchgängig und ungeregelt betrieben werden, ist dies als unkritisch anzusehen.

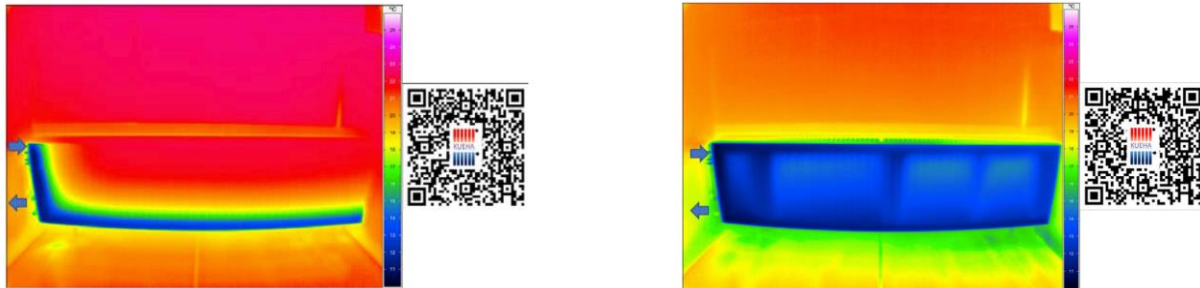


Abb. 3: links: parallel seriell durchströmter Heizkörper mit Kurzschlussströmung / rechts: seriell durchströmter Heizkörper ohne Kurzschlussströmung bei gleichem Massestrom [4]

Zur Raumtemperaturregelung werden fast ausschließlich konventionelle Heizkörperthermostate ohne Hilfsenergie eingesetzt. Diese haben die Eigenschaft, dass sie bei ansteigender Raumtemperatur den Heizflächendurchfluss reduzieren und diesen bei abfallender Raumtemperatur erhöhen. Bei maximaler Sollwerteinstellung erfolgt die Massestromreduzierung ab einer Raumtemperatur von ca. 26 °C. Im sommerlichen Kühlfall wäre dies sehr ungünstig. Grundsätzlich stehen hierfür 3 Lösungen zur Verfügung:

- a) Der Einsatz von Thermostaten mit einer zusätzlichen Einstellung „K“⁴ für den Kühlbetrieb,
- b) der Einsatz elektronischer Thermostate mit einer „Offen“-Einstellung, oder
- c) der Einsatz von Adaptern als Zwischenstück zwischen Ventil und Thermostat. Hierbei wird im Sommerfall der Abstand zwischen Thermostat und Ventil soweit vergrößert, dass der Aktor des Thermostaten keinen Einfluss auf den Ventilhub hat. Der Eingriff erfolgt manuell.

Hierbei empfehlen die Autoren die Lösungen a) oder b). Zur Realisierung der Lösung a) wird ein solcher Austauschthermostat von einem Projektpartner angeboten. Im Vergleich zu b) ist diese Lösung sehr kostengünstig und entspricht den Bediengewohnheiten der Nutzer.

Die Kühlleistung Freier Heizflächen ist vergleichsweise gering, da zur Vermeidung einer Kondensatbildung die Vorlauftemperatur oberhalb der Taupunkttemperatur liegen muss. Dadurch ist der Betrag der Temperaturdifferenz zwischen dem Heizkörper und der Raumluft, bzw. den Umgebungsflächen, im Kühlfall deutlich niedriger als im Heizfall. Andererseits lässt sich im Kühlfall ein deutlicher relativer Leistungszuwachs erzielen, wenn die Vorlauftemperatur taupunkttemperaturgeführt geregelt und nicht wie üblich, auf eine konstante, maximal zu erwartende Taupunkttemperatur begrenzt wird (siehe Abb. 4).

⁴ In der Einstellung „K“ ist der Thermostat vom Ventil entkoppelt und dessen Ausdehnung kann sich nicht auf den Ventilhub auswirken.

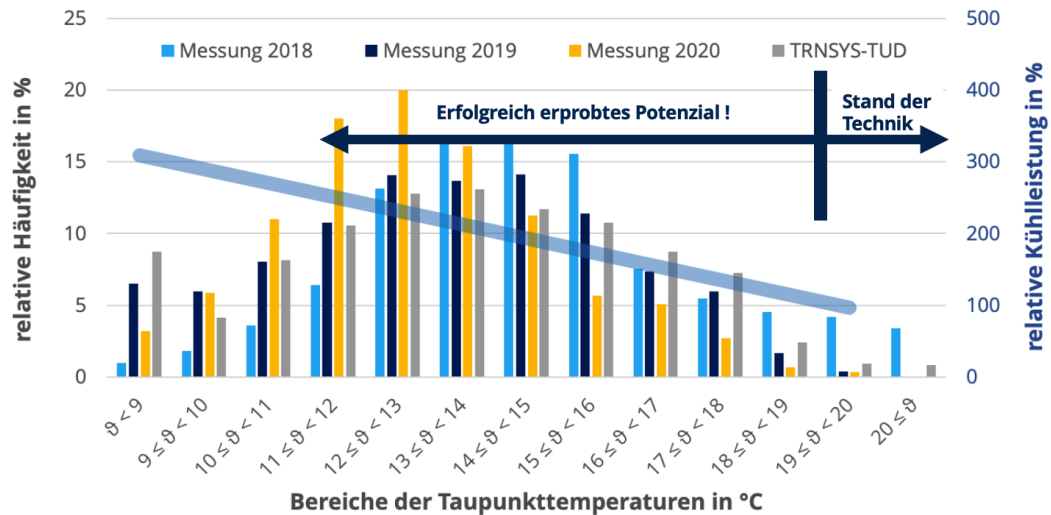


Abb. 4: Häufigkeitsverteilung von Taupunkttemperaturen während des gesamten sommerlichen Kühlbetriebes [6]

Die Kühlwirkung Freier Heizflächen kann nicht die Wirkung von Flächen- oder Umluftkühlsystemen erreichen, bei denen ein vorgegebener Raumtemperatur-Sollwert eingeregelt werden kann. Die Wirkung entspricht eher einer Temperierung, bei der die Raumtemperatur gegenüber dem ungekühlten Vergleichsfall deutlich abgesenkt wird. Damit lässt sich für den sommerlichen Kühlfall ein anderes Regelkonzept als im winterlichen Heizfall umsetzen, welches die Kühlwirkung der freien Heizflächen deutlich steigern kann. Hierbei wird der Verlauf der inneren thermischen Belastung des Gebäudes, im Vergleich zur erwarteten äußeren thermischen Belastung, ausgewertet. So kann der Anfang einer Kühlperiode ermittelt und der Kühlbetrieb freigegeben werden, bevor sich das Gebäude bereits stärker aufgeheizt hat. Das Ende einer Kühlperiode wird ebenfalls über den Vergleich dieser thermischen Belastungen erkannt (siehe Abb. 5).

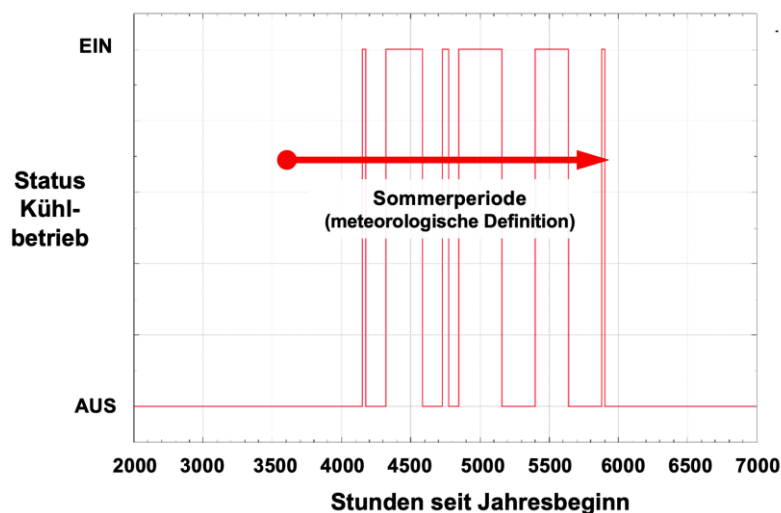


Abb. 5: Selbsttätiges Erkennen und Beenden des Kühlbetriebes (ausgewähltes Beispiel) [5]

Innerhalb einer Kühlperiode befinden sich die Heizflächen idealerweise im dauerhaften und unregelmäßigen Kühlbetrieb bei frei schwingender Raumtemperatur, wodurch die speicherwirksamen Bauwerksmassen besser aktiviert werden können.

3 Unterstützung zukünftiger Umsetzungen

Die Erfahrungen aus den bisherigen Untersuchungen und insbesondere aus der Durchführung von Pilotvorhaben werden interessierten Personenkreisen (z.B. Planer, Gebäudeeigentümer, Nutzer, Betreiber) auf einer bereits bestehenden, webbasierten Kommunikationsplattform zur Verfügung gestellt. Diese wird um nachstehende Formate ergänzt:

- **SmartSim** : Abschätzung der Kühlwirkung Freier Heizflächen in Bestandswohngebäuden.
- **SmartMon** : Monitoring zur Optimierung und Evaluierung des Anlagenbetriebes.
- **KUEHABlog** : Beantwortung typischer Fragestellungen und Feedback zum Thema „Heizen und Kühlen mit Bestandsheizungsanlagen“.

3.1 SmartSim

Derzeitige Planungswerkzeuge besitzen nur stark eingeschränkte Möglichkeiten zur Berücksichtigung der Kühlwirkung Freier Heizflächen und Radiatoren mit Lüfterunterstützung. Aus den bisherigen praktischen Untersuchungen resultieren Erfahrungen zum Temperaturabsenkpotential gegenüber dem ungekühlten Vergleichsfall, welches danach im Bereich von 3 - 4 K liegt und mittels Untersuchungen unter Verwendung der bidirektional gekoppelten Anlagen- und Gebäudesimulationen bestätigt werden konnte (z.B. im Rahmen von [4], [7]). Die Probleme der praktischen Untersuchungen zur Ermittlung des Temperaturabsenkpotentials bestehen vor allem in der Reproduzierbarkeit der Randbedingungen und der notwendigen Berücksichtigung von thermischen Einschwingvorgängen. Diesbezüglich wurden verschiedene Untersuchungsszenarien berücksichtigt. So wurde in einem Gebäude nacheinander der ungekühlte Vergleichsfall, die Raumkühlung über Freie Heizflächen und die Raumkühlung über Vergleichssysteme⁵ untersucht. Die Umsetzungen erfordern einen mehrwöchigen Versuchsablauf. Hierbei ist es nicht nur erforderlich, dass die witterungsbedingten thermischen Belastungen vergleichbar, bzw. „umrechenbar“ sind. Vor allem müssen zu Beginn der einzelnen Untersuchungsabschnitte, hinsichtlich der thermischen Einschwingvorgänge, repräsentative Ausgangszustände vorliegen, welche nicht durch die vorangegangenen Untersuchungsabschnitte beeinflusst werden. Aus diesem Grund wurden in einem anderen Pilotvorhaben der gekühlte und ungekühlte Vergleichsfall parallel untersucht. Bei dem Pilotvorhaben handelte es sich um das Verwaltungsgebäude eines Energieversorgers. Unter Berücksichtigung der Gebäudenutzung konnten die Vergleichsmessungen lediglich in zwei Räumen gleicher Größe, während einer längeren Abwesenheit der Raumnutzer, durchgeführt werden. Neben der abweichenden Nutzung werden die Untersuchungen allem dadurch beeinträchtigt, dass die jeweiligen Nachbarräume ein abweichendes thermisches Verhalten haben und somit der Einfluss der thermischen Speichermassen nur eingeschränkt abgebildet werden kann.

Eine sehr gute Möglichkeit für Vergleichsuntersuchungen bietet der Einsatz der bidirektional gekoppelten Anlagen- und Gebäudesimulation. Mit TRNSYS-TUD [8] kann das Gebäudeverhalten sowie die thermischen und hydraulischen Wechselwirkungen im Bereich der

⁵ Als Vergleichssysteme wurden bei den Untersuchungen verschiedene Deckenkühlsysteme sowie die Kühlung über Heizwände und Wandheizsysteme berücksichtigt.

Wärmeverteilung und -übergabe hinreichend genau abgebildet werden. Allerdings sind die Modellerstellung und Auswertung der Simulationsergebnisse aufwändig und würden daher den Bereich möglicher Anwender sehr stark einschränken. Um Planern und anderen Anwendern dennoch eine Möglichkeit zur Abschätzung der Kühlwirkung Freier Heizflächen für reale Anwendungsfälle zu ermöglichen, wird die Kommunikationsplattform um eine weitere interaktive Möglichkeit (*SmartSim*) erweitert. Dabei hat der Anwender die Möglichkeit zur Auswahl aus verschiedenen Gebäudemodellen, welche jeweils einen bestimmten Teil des Gebäudebestandes repräsentieren. Anschließend kann das ausgewählte Gebäudemodell skaliert (siehe Abb. 6) und mit wenigen Parameteränderungen an den realen Anwendungsfall angepasst werden.

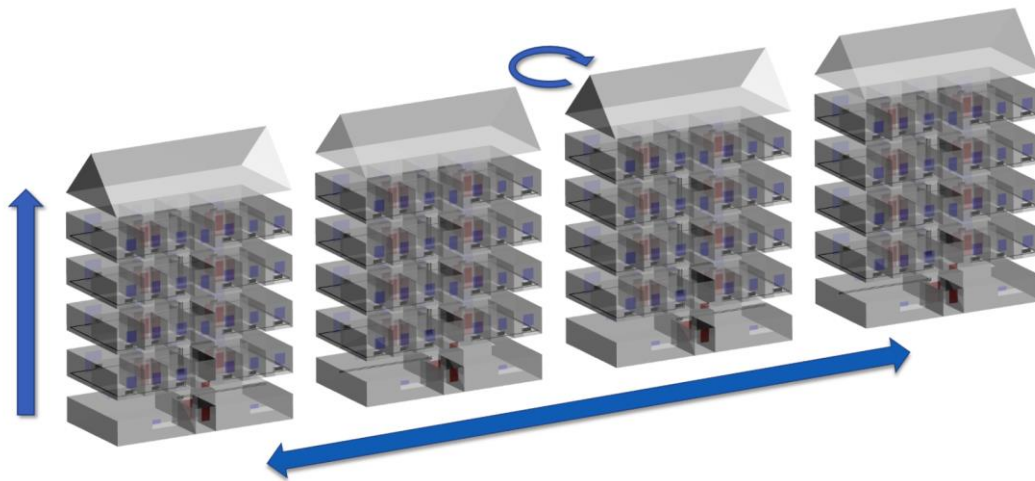


Abb. 6: Bereitstellung skalierbarer Gebäudemodelle – Demonstration der Erzeugung eines Referenzgebäudes⁶

3.2 SmartMon

Im Gegensatz zu den konventionellen Möglichkeiten der Wärmebereitstellung erfordert der Einsatz von Wärmepumpentechnologien eine präzise Auslegung der Komponenten, eine umsichtige Inbetriebnahme sowie eine Optimierung und Evaluierung im laufenden Betrieb. Hierbei sollte nicht allein die Wärmeversorgung der Nutzer⁷, sondern die sich dabei einstellende Anlageneffizienz⁸ bewertet werden. Dies gelingt nur durch den Einsatz eines zusätzlichen Monitorings. Abb. 7 zeigt beispielhaft die Auswertung der von einer Wärmepumpe bereitgestellten Vorlauftemperaturen in einem typischen Bestandswohngebäude der Kategorie „Einfamilienhaus“ vor und nach der Optimierung des Anlagenbetriebes. Die bisherige Zwischenbewertung deutet darauf hin, dass durch die Absenkung der

⁶Skalierungsparameter sind beispielsweise: Gebäudegrundfläche, Anzahl der Aufgänge und Geschosse, Dachaufbauten, Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes, Verschattung, Standort, Orientierung, Raum-Solltemperaturen im Heizbetrieb, Niveau der Heizmittelttemperaturen, Reserveheizleistung, Leistung der Kälteerzeugungsanlage

⁷ Solange keine groben Planungsfehler vorliegen, ist eine zufriedenstellende Wärmeversorgung der Nutzer meist gegeben und damit als alleiniges Kriterium zur Bewertung des Anlagenbetriebes ungeeignet.

⁸ Bei einer schlechten Anlageneffizienz können Defizite in der Wärmebereitstellung z.B. durch einen erhöhten Stromverbrauch der Wärmepumpe(n), sowie einer stärkeren Inanspruchnahme der jeweils installierten Zuheizung über eine elektrische Direktheizung oder Verbrennungstechnologien, kompensiert werden.

Vorlauftemperatur und die Verringerung der Taktzeiten, die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe signifikant verbessert wurde. Eine endgültige Bewertung wird zum Ende der Heizperiode erwartet.

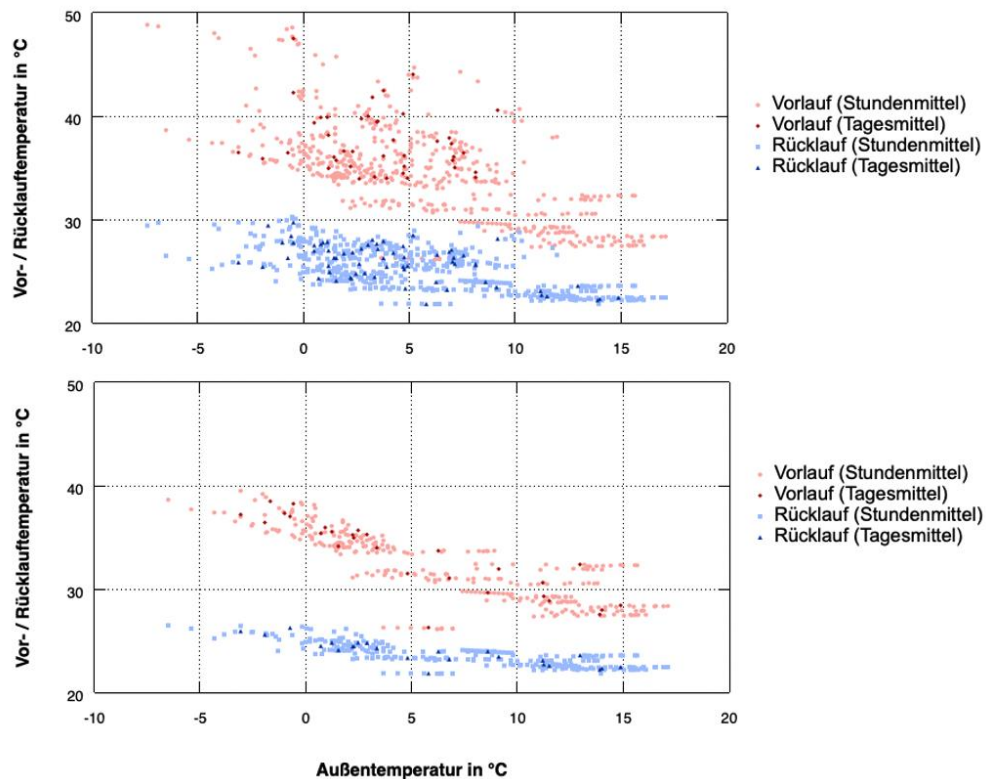


Abb. 7: Ausgewähltes Beispiel: Von einer Wärmepumpe bereitgestellte Vor- und Rücklauftemperaturen oben: vor der Optimierung / unten: nach der Optimierung des Anlagenbetriebes [6]

Der Aufwand zur Bewertung ist selbst bei diesem trivialem Beispiel hoch. So müssen geeignete Messgrößen nicht nur erfasst, sondern auch einer zielführenden Verarbeitung zugeführt werden. Bei den in Abb. 7 ausgewerteten Medientemperaturen müssen zunächst die Vorlauftemperaturen herausgefiltert werden, welche ausschließlich während des Heizbetriebes (und nicht während der Trinkwassererwärmung) sowie bei laufender Wärmepumpe bereitgestellt werden. Dies erfordert in dem betrachteten Anwendungsfall das Erkennen der jeweiligen Betriebszustände, da diese von der Regelungs- und Steuerungseinheit der Wärmepumpe nicht abgerufen werden können⁹. Die herausgefilterten Vor- und Rücklauftemperaturen werden anschließend einer Datenverdichtung zugeführt. Solche Verarbeitungsprozesse sind zunächst aufwändig in der Erstellung, können aber leicht auf andere Anwendungsfälle übertragen werden.

Damit die Messwerterfassung flexibel eingesetzt und einfach installiert werden kann, werden hierfür sehr preiswerte Funksensoren und -aktoren eingesetzt. Abb. 8 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Systems für die Datenerfassung, -verarbeitung und -visualisierung. Neben dem Zugriff auf „eigene“ Sensoren verfügt das System über zahlreiche Importschnittstellen. Die Konfiguration der Messdatenverarbeitung und -visualisierung erfolgt ausschließlich menügeführt, so dass dafür keine Programmierkenntnisse erforderlich sind.

⁹ Hier wäre eine Schnittstelle zur Regelungs- und Steuerungseinheit sehr hilfreich, welche die Informationen zum aktuellen Betriebsstatus der Wärmepumpe liefert und wesentliche Temperaturen bereitstellen kann.

Damit sind selbst komplexe Verarbeitungsschritte, die von verschiedenen Nutzern vorgenommen wurden, leicht nachvollziehbar. Der Zugriff auf die Konfiguration und Visualisierung erfolgt webbasiert. Ein integriertes Nutzermanagement ermöglicht die Vergabe individueller Zugriffsrechte auf die verschiedenen Teilbereiche des Systems.

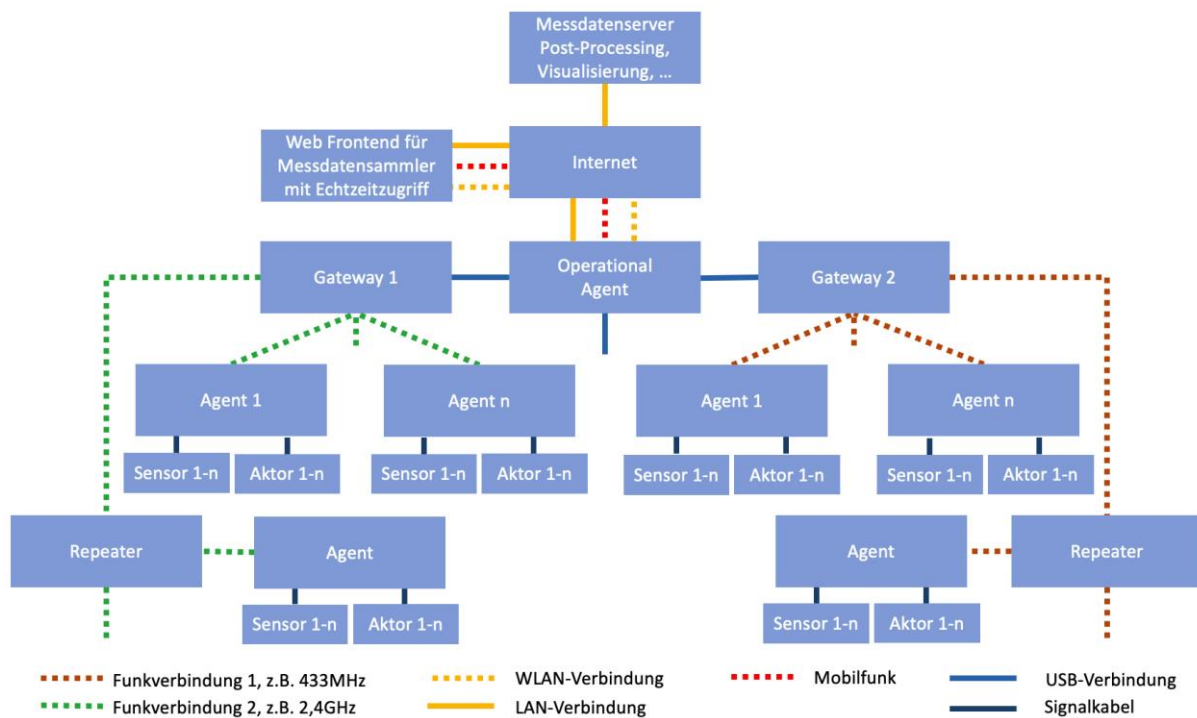


Abb. 8: Grundsätzlicher Aufbau des Systems für die Datenerfassung, -auswertung und -visualisierung [9]

Im Rahmen von SmartMon ist die Bereitstellung aggregierter Kennwerte zur Bewertung des Anlagenverhaltens geplant. Beispielsweise lassen sich auf diesem Weg auch die aktuellen Betriebskosten im Vergleich zu den Betriebskosten mit der „Alt“ - Anlage kommunizieren, um die Akzeptanz und Motivation der Nutzer zu steigern.

3.3 KUEHABlog

Zur effektiven Vermittlung von Projektergebnissen und zur Bündelung von Feedback soll in die interaktive Kommunikationsplattform ein Blog integriert werden. Adressaten sind nicht nur Gebäudeeigentümer, Planer und Anlagenbetreiber, sondern auch Nutzer. Die Erfahrungen aus der Realisierung des ersten größeren Pilotvorhabens mit 36 Wohneinheiten haben gezeigt, dass trotz Informationsveranstaltung, ausführlicher schriftlicher Information und Gesprächsangeboten, Bedenken und Fragen nicht immer offen angesprochen werden. Mitunter ergeben sich Fragestellungen auch erst aus den Erfahrungen nach der Inbetriebnahme. Hierbei ist eine unmoderierte Diskussion innerhalb der Mietergemeinschaft nicht immer zielführend. Ein typisches Beispiel hierfür sind die neuen Erfahrungen mit der niedrigen und außentemperaturabhängig geregelten Vorlauftemperatur im Vergleich zu den bisherigen Erfahrungen mit einer sehr hohen Vorlauftemperatur. Obwohl sich innerhalb der Heizflächen genau die mittlere Temperatur einstellt, die für die Beheizung des Raumes erforderlich ist, wird

(nicht selten) zunächst von der Heizflächentemperatur kurz nach Betätigung des Thermostaten auf den Versorgungszustand geschlossen. Vor dem Hintergrund der bisherigen Erfahrungen wird eine nicht als ausgesprochen „warm“ empfundene Oberflächentemperatur dann als „Unterversorgung“ interpretiert. Ähnlich verhält es sich mit den Erfahrungen bei Aufheizvorgängen. Weitere Beispiele lassen sich hinsichtlich der zu erwartenden Heizkosten, der beanspruchten Raumtemperaturen und vermeintlich günstigeren Systemen zur Wärmebereitstellung aufzeigen. Die „Mitnahme“ der Mieter auf diesem Erfahrungsweg kann für den Vermieter hinsichtlich der Kommunikation sehr ressourcenintensiv sein. Mitunter kann der Vermieter diese Diskussionen auch fachlich nur bedingt ausfüllen. Die Autoren gehen davon aus, dass mit dem Hinweis auf einen zielführend strukturierten Blog, die fachlichen Diskussionen auch zielführend gelenkt und mit zwischenzeitlich gewonnenen Erfahrungen ergänzt werden können. ***Dies betrifft nicht nur den beispielhaft aufgezeigten Diskussionsbedarf zwischen Mieter und Vermieter, sondern den gesamten Erfahrungsbereich zwischen allen beteiligten Akteuren.***

4 Quellen

- [1] C. Winkelmayr, S. Muthers, H. Niemann, H. G. Mücke und M. an der Heiden, *Hitzebedingte Mortalität in Deutschland zwischen 1992 und 2021 / Heat-related mortality in Germany from 1992 to 2021*, Deutsches Ärzteblatt 26/2022, 2022.
- [2] DE STATIS - Statistisches Bundesamt, *Sterbefallzahlen im Juli 2022 um 12 % über dem mittleren Wert der Vorjahre*, Pressemitteilung Nr. 343 vom 9. August 2022, 2022.
- [3] „Leipziger Volkszeitung,“ [Online]. Available: <https://www.lvz.de/lokales/leipzig/leipzig-aktuelle-klimabilanz-in-infografiken-erklart-5PADSS74BVF2FKNVIBSU3UOQGI.html>. [Zugriff am 28.01.2024].
- [4] A. Kremonke, M. Arendt, A. Perschk, L. Haupt und C. Felsmann, „EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit - Schlussbericht,“ Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET1461A gefördert., Dresden, 2021.
- [5] A. Kremonke, A. Meinzenbach, M. Kornmacher, A. Perschk und L. Haupt, „Kühlen mit Freien Heizflächen,“ in *Deutsche Kälte- und Klimatagung 2023*, Hannover, 2023.
- [6] A. Kremonke, A. Meinzenbach, M. Kornmacher, A. Perschk und L. Haupt, „KUEHASystem,“ in *Projekttreffen zur Umsetzung des Pilotvorhabens MFH-WOGETRA-2*, Leipzig, 2023.
- [7] M. Pazold, S. Giglmeier, M. Winkler und Z. Peng, „Potenzialanalyse zum Einsatz bestehender Heizsysteme zur Raumkühlung,“ *HLH Bd. 71*, 2020.
- [8] A. Perschk, „Ein „Dresdner Modell“,“ *Gesundheits-Ingenieur - Haustechnik - Bauphysik - Umwelttechnik*, Bd. 131, Nr. 4, pp. 178-183, 2010.
- [9] A. Kremonke, A. Perschk, S. Wiemann, L. Haupt, M. Arendt und C. Felsmann, „Entwicklung eines vernetzten Systems zur Erfassung, Visualisierung und Auswertung von Messdaten sowie zur Ansteuerung von Aktoren,“ *GI – Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis*, 2018.



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



WOG-TRA
Mein Zuhause

ClouSet® PRO
ENERGIE- UND FLÄCHENSYSTEME



ZENTRALVERBAND
SANITÄR
HEIZUNG KLIMA

ohra energie
Gas und Strom für die Region.