



Unter der Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

TGA-KONGRESS 2023

Kongressband

Innovationen in der Gebäudetechnik
Forschung und Wissenschaft

Wissenschaftlicher Beirat

Bernhard Dürheimer

Bundesindustrieverband Technische
Gebäudeausrüstung e. V.

Uwe Franzke

Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden

Christoph Kaup

Fachverband Gebäude-Klima e. V. / Um-
welt-Campus Birkenfeld, Hochschule Trier

Martin Kriegel

Hermann-Rietschel-Institut, Technische
Universität Berlin

Dirk Müller

E.ON ERC, Rheinisch-Westfälische
Technische Hochschule Aachen

Ulrich Pfeiffenberger

IGP Ingenieurges. Pfeiffenberger mbH

Karl-Walter Schuster

Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Bundesindustrieverband Technische
Gebäudeausrüstung e. V.

Joachim Seifert

Institut für Energietechnik, Technische
Universität Dresden

Konstantinos Stergiaropoulos

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik
und Energiespeicherung (IGTE), Universität
Stuttgart

Andreas von Thun

Herstellerverband Raumlufttechnische
Geräte e. V.

Trägerverbände

**Bundesindustrieverband
Technische
Gebäudeausrüstung e. V.**
(BTGA)



**Fachverband
Gebäude-Klima e. V.**
(FGK)



**Herstellerverband
Raumlufttechnische
Geräte e. V.**
(RLT)



Unter der Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Kontakt: Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Hoferstraße 5 · 71636 Ludwigsburg · Tel: +49 7141 25 881 0

Fax: +49 7141 25 881 19 · E-Mail: info@fgk.de · www.fgk.de · www.tga-kongress.de

Unter der Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



**Liebe Teilnehmerinnen, Teilnehmer und Gäste des 4. TGA-Kongresses,
meine sehr verehrten Damen und Herren,**

wir stehen – insbesondere auch vor dem Hintergrund der weiter andauernden Krisen – vor der großen Herausforderung, die notwendige Transformation unserer Energieversorgung und den Ausbau der erneuerbaren Energien innerhalb kürzester Zeit erfolgreich abzuschließen. Dies kann nur gelingen, wenn wir gleichzeitig auch zu einem sorgsameren Umgang mit endlichen Ressourcen gelangen und unseren Energieverbrauch – durch Einsparungen, vor allem aber durch mehr Energieeffizienz – deutlich senken.

Ein komplexes Energiesystem funktioniert, gerade auch im Wärme- und Kältebereich, nur dann zuverlässig, wenn Erzeugung und Verbrauch optimiert, vernetzt und automatisiert gesteuert werden; wenn die Auswirkungen ganzheitlich durchdacht sind. Dafür braucht es eine Digitalisierungsoffensive der Heizungs- und Kältetechnologien – smarte Steuerung muss hier zum Stand der Technik werden. Auch für den Einsatz klimafreundlicher Kältegasen müssen rasch wirksame Lösungen entwickelt werden.

Im Gebäudesektor stehen wir dabei vor der besonderen Herausforderung, den zum Teil schlecht oder unsanierten Gebäudebestand erfolgreich zu adressieren und die dortigen Einsparmöglichkeiten verstärkt in den Fokus zu rücken. Dafür braucht es neue Technologien, neue Konzepte und deren beschleunigte Markteinführung. Und wir brauchen mehr geschultes Fachpersonal, in der Industrie genauso wie im Handwerk, um diese Lösungen fachgerecht umzusetzen.

Der Erfolg des Wirtschaftsstandorts Deutschlands im globalen Wettbewerb der Zukunftstechnologien wird ganz wesentlich von unseren Innovationen bei Energieeffizienz und Klimaschutz und deren konkreter Umsetzung in den Unternehmen, in den privaten Haushalten und im Alltag der Menschen abhängen. Daran müssen wir alle gemeinsam arbeiten. Denn Ideen leben davon, diskutiert und weiterentwickelt zu werden. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen für den 4. TGA-Kongress 2023 inspirierende, spannende und produktive Diskussionen!

Ihr

Empfang und Begrüßung · Bunsen-Saal

Moderation: Frank Ernst

- 13:00 [Eröffnung](#)
Frank Ernst, TGA-Repräsentanz Berlin
- 13:10 [Impuls zu Rahmenbedingungen](#)
Christian Maaß, Abteilungsleiter BMWK
- 13:25 [Impulsvortrag](#)
Anders Levermann, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
- 14.00 [Kaffeepause im Zuse-Saal](#)

Klima- und Lüftungstechnik · Bunsen-Saal

Moderation: Günther Mertz

- 14:30 [Vergleich der Raumlüftungstechnik mit WRG mit der ventilatorgestützten Fensterlüftung](#)
Christoph Kaup, Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld
- 14:55 [Effiziente Schichtlüftung für Eis- und Schwimmhallen](#)
Eckehard Fiedler, I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik GmbH
- 15:20 [Repräsentative Nichtwohngebäude in Deutschland: Basis für die gezielte Entwicklung von RLT-Anlagen](#)
Julius Breuer, Technische Universität Darmstadt
- 15:45 [Planungserfahrungen bei der Umsetzung der semizentralen Lüftung](#)
Jens Knissel, Universität Kassel
- 16:10 [best practice: Schullüftung – vom überflüssigen Budgetsprenger zum architektonischen Highlight und Klimaretter](#)
Ralph Langholz, drexel und weiss Deutschland GmbH
- 16:35 [Entwicklung einer regelbasierten Steuerung für hybride Lüftungssysteme und Bewertung durch einen Feldtest](#)
Kai Rewitz, RWTH Aachen

Optimierter Betrieb versorgungstechnischer Anlagen · Einstein-Kabinett

Moderation: Konstantinos Stergiaropoulos

- 14:30 Simulation und Bewertung des energetischen Aufwands zur Beheizung von Industriehallen aufgrund unterschiedlicher Strahlungsanteile von Deckenstrahlplatten
Klaus Menge, FRENKER SYSTEMEN BV
- 14:55 Bestimmung der Luftwechselrate in Räumen
Christian Friebe, ILK Dresden
- 15:20 N5GEH:TWE-Flex – Entwicklung eines Systems zur Detektion von Trinkwasserzapprofilen und hygienischen Problemen anhand von Messdaten eines Temperaturhaltebandes
Martin Altenburger, TU Berlin, HRI
- 15:45 Energiemanagement von dezentralen Verbundkälteanlagen mit latenten Wärmespeichern
Felix Valentin, TU Dresden
- 16:10 Systemübergreifende Regelung von Wohnungslüftungs- und Heizungssystemen
Tim Jourdan, Uni Stuttgart, IGTE
- 16:35 Optimierte Modernisierungsfahrpläne – Neuer Ansatz zur Identifikation und zeitlichen Planung von Modernisierungsmaßnahmen für Typgebäude
Jan Richarz, RWTH Aachen

Komponenten der aktuellen Heiz- und Raumlufttechnik · Newton-Kabinett

Moderation: Andreas von Thun

- 14:30 Fassadensanierung mit integriertem raumweisem Lüftungssystem
Sven Auerswald, Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme ISE
- 14:55 Feldstudie zur Effizienzanalyse von Wärmepumpen im EFH-Bestand
Jeannette Wapler, Fraunhofer Institut für Solare Energie Systeme ISE
- 15:20 Propan-Wärmepumpen als Gamechanger für die Wärmewende im Bestand
Michael Schaub, Hochschule Coburg
- 15:45 Influence of air flow patterns on pressure drop measurements of heat exchangers
Alex Primas, Hochschule Luzern
- 16:10 Einsatz formveränderlicher Flügelgeometrien an Ventilatoren
Ralph Krause, ILK Dresden
- 16:35 Untersuchungen zum Einbaulärm eines Radialventilators bei kompakten Einbauverhältnissen in einer Air Handling Unit
Frieder Lörcher, ZIEHL-ABEGG SE

Abendveranstaltung · Speisemanufaktur Adlershof

- 19:00 Die Abendveranstaltung findet in der Speisemanufaktur Adlershof, Johann-Hittorf-Straße 8 (im ZPV), 12489 Berlin-Adlershof statt.

Aerosolübertragung / Infektionsrisiko / Lüftungstechnik · Bunsen-Saal

Moderation: Martin Kriegel

- 9:00 Aerosolübertragung in Rotations-Wärmerückgewinnern
Heinrich Huber, Hochschule Luzern, IGE
- 9:25 Erkenntnisse bei der Erfassung von Pathogenen an einem tischintegrierten Sekundärluftreiniger
Karsten Hackeschmidt, ILK Dresden
- 9:50 Einflussfaktoren auf die Abscheidung von Partikeln durch negative sowie bipolar geladene Luftionen
Anne Hartmann, TU Berlin, HRI
- 10:15 Kombination von Ionisierungs- und Filtermaterial zur Aerosolabscheidung: Grundlagenuntersuchungen
Christian Lerche, Ingenieurbüro Dr. Lerche GmbH
- 10:35 Kaffeepause im Zuse-Saal

Optimierter Betrieb versorgungstechnischer Anlagen · Bunsen-Saal

Moderation: Claus Händel

- 11:00 Ergebnisse der Implementierung Modellbasierter Prädiktiver Regelung in einem großen Verwaltungsgebäude zur Optimierung der Energieeffizienz und des Komforts
Svenne Freund, Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG
- 11:25 Skalierbare Dekarbonisierung durch automatisierte Betriebsoptimierung – eine Auswertung von Fallstudien im Gebäudebestand
Marc Baranski, aedifion GmbH
- 11:50 N5GEH: E³ – Entwicklung eines bidirektionalen multienergetischen Systemreglers für zukünftige Wärmenetze der 5. Generation
Paul Seidel, TU Dresden
- 12:15 Übertragbarer Modellansatz zur Abbildung von Energiewandlungsanlagen mit Fokus auf Skalierbarkeit und Parametrierungsaufwand
Moritz Zuschlag, RWTH Aachen
- 12:40 Die SUSTAIN 2 Cloud of Clouds – Datentransparenz schafft Betriebsverbesserungen in einem kommunalen Liegenschaftsportfolio
Verena Dannapfel, RWTH Aachen
- 13:00 Mittagessen im Zuse-Saal

Energieversorgungskonzepte und Quartiere · Bunsen-Saal

Moderation: Clemens Schickel

- 14:00 Quartiersenergie aus Sonne und Abwasser
Nadine Busse, naturstrom
- 14:25 Entwicklung smarter Wohnungsstationen und Vergleich vernetzter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern
Oliver Mercker, Institut für Solarenergieforschung GmbH
- 14:50 Numerische Optimierung der Versorgungssicherheit in einem zellular strukturierten Quartier unter Nutzung festbiomassebasierter Hybridsysteme
Lukas Richter, Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
- 15:15 Dekarbonisierung von Wärmeversorgungssystemen in Bestands-Einfamilienhäusern durch PVT-Wärmepumpensysteme
Bharat Chhugani, Institut für Solarenergieforschung GmbH
- 15:40 Optimierung und Analyse von Warmwasserbereitungskonzepten in Kombination mit Kühlanwendungen von Wohngebäuden am Beispiel eines Studentenwohnheims
Andreas Wessner, Fachhochschule Burgenland
- 16:00 Abschlussdiskussion und Verabschiedung

Klima- und Lüftungstechnik · Einstein-Kabinett

Moderation: Christoph Kaup

- 9:00 Strahlungsabsorption der Raumluft und ihr Einfluss auf den Wärmeübergang an Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen
Lukas Schmitt, TU Berlin, HRI
- 9:25 Teillast von Ventilatoren in Klima- und Lüftungsanlagen
Claus Händel, Fachverband Gebäude-Klima e. V.
- 9:50 Systemplattform für Digitale Zwillinge am Beispiel von Wärmepumpen – ein ganzheitlicher Ansatz
Lars Haupt, TU Dresden
- 10:15 Leistungsbestimmung von Heiz- und Kühleinrichtungen zur Wärmeübertragung – neue Erkenntnisse aus theoretischen und experimentellen Analysen
Joachim Seifert, TU Dresden
- 10:35 Kaffeepause im Zuse-Saal

BIM und Nachhaltigkeit · Einstein-Kabinett

Moderation: Karl-Walter Schuster

- 11:00 Herausforderungen & Lösungsansätze zur Verwendung von BIM als Datenquelle zur Simulation von Technischer Gebäudeausrüstung
David Jansen, Pooyan Jahangiri, RWTH Aachen, ROM Technik
- 11:25 BIM im Gebäudebestand – Energiewendebauen
Falk Cudok, TU Berlin
- 11:50 Forschungsvorhaben N5GEH-Booster
Raphael Walter, Marc Mühlen, DREES & SOMMER
- 12:15 Nachhaltigkeit – Environmental Product Declarations
Marcel Rakers, Kampmann GmbH & Co. KG
- 12:40 5D-Systemkarte: Einsatzgrenzen von Klimasystemen und deren Bewertung hinsichtlich Gesamtkosten und Primärenergiebedarf
Ralf Wagner, LTG AG
- 13:00 Mittagessen im Zuse-Saal

Hygiene und Sonderanwendungen · Einstein-Kabinett

Moderation: Joachim Seifert

- 14:00 Mindestanforderung für den Außenluftstrom in Nichtwohngebäuden im europäischen Raum
Michael Müller, Uni Stuttgart, IGTE
- 14:25 Einsatz von dezentralen Lüftungssystemen zur Reduzierung der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Wohnungen
Hannes Grünewald, inVENTer GmbH
- 14:50 Klimawandel – unterschätzter Risikofaktor für Trinkwasserhygiene
Thomas Spöler, Gebr. Kemper GmbH + Co. KG
- 15:15 Messergebnisse und Auslegungsempfehlungen für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen
Sven-Yannik Schuba, Institut für Solarenergieforschung GmbH
- 15:40 Multikriterieller Eignungsvergleich wohnungsinterner Trinkwasserinstallationsarten für Niedertemperatur-Versorgungssysteme in Mehrfamilienhäusern
Peter Pärish, Institut für Solarenergieforschung GmbH
- 16:00 Abschlussdiskussion und Verabschiedung im Bunsen-Saal

Machine Learning Anwendungen in der TGA / Grundlagen und Modellbildung Newton-Kabinett

Moderation: Dirk Müller

- 9:00 DataFEE – Mehr Energieeffizienz und Raumkomfort durch effizientere Analyse- und Modellierungsmethoden und Einbezug der Gebäudenutzer in den Datenfluss
Andreas Wagner, Karlsruher Institut für Technologie
- 9:25 Maschinenlernbasierte Module für intelligente TGA-Planungssoftware
Thomas Oppelt, ILK Dresden
- 9:50 Neural Network Model Based Control System for Swimming Hall AHUs
Hossein Rezazadeh, HANSA Klimasysteme GmbH
- 10:15 Modellbasierter Entwurf und simulationsgestützte Evaluation einer vernetzten Einzelraumregelung
Jan Strubel, Viessmann Elektronik GmbH
- 10:35 Kaffeepause im Zuse-Saal

Machine Learning Anwendungen in der TGA / Grundlagen und Modellbildung Newton-Kabinett

Moderation: Ulrich Pfeiffenberger

- 11:00 Heizleistungsprognosen mit Hilfe von maschinellem Lernen
Alexander Neubauer, TU Berlin, HRI
- 11:25 Fehlererkennung und -diagnose für RLT-Geräte mit maschinellem Lernen und schwellwertbasierten Methoden
Dorothea Völkerling, TROX GmbH
- 11:50 Direktes Lastmanagement energieflexibler Gebäude durch den Einsatz von Zustandsbeobachtern
Christian Karczewski, Uni Stuttgart, IGTE
- 12:15 Anwendung einer Kombination von KI-Methoden für die automatische Fehlererkennung und -diagnose an raumlufttechnischen Anlagen
Sebastian Dietz, University of Luxembourg
- 12:40 Welchen Einfluss hat die Veränderung der Temperatur auf die relative Feuchte im Innenraum?
Claudia Kandzia, Fachverband Gebäude-Klima e. V.
- 13:00 Mittagessen im Zuse-Saal

Inbetriebnahme und Monitoring · Newton-Kabinett

Moderation: Uwe Franzke

- 14:00 Qualitätssicherung des energetischen Gebäudebetriebs
Thomas Möller, Bauhaus-Universität Weimar
- 14:25 Energetische Inspektion „light“ – kann das gutgehen?
Ronny Mai, ILK Dresden
- 14:50 Retrofit einer Büro-Klimaanlage mit einem Cloud-Monitoringsystem
Karsten Tawackolian, TU Berlin, HRI
- 15:15 Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Umsetzung der EnSikuMaV – ein Erfahrungsbericht
André Kremonke, TU Dresden
- 15:40 Korrosionssichere Inbetriebnahme von Wasserkreisläufen zum Heizen und Kühlen
Ergebnisse des Forschungsprojektes KENBOP
Mani Zargari, Steinbeis-Innovationszentrum energieplus
- 16:00 Abschlussdiskussion und Verabschiedung im Bunsen-Saal

TGA-Kongress 2023

Für den Inhalt der einzelnen Beiträge
sind die Autoren verantwortlich

**Dirk Müller**

Institutsleiter, RWTH Aachen University –
E.ON Energieforschungszentrum
Direktor, FZ Jülich - Institut für Energie- und
Klimaforschung, Modellierung von Energiesystemen
(IEK-10)

BIM2SIM2CONTROL – Bessere Gebäude durch durchgängige Datenmodelle von der Planung bis zum Betrieb

Deutschland ist heute kein Vorreiter in der Digitalisierung. Diese Aussage gilt leider für viele Bereiche in der Industrie sowie der öffentlichen Verwaltung und ist auch im Bausektor – bis auf wenige Ausnahmen – richtig. Dabei bietet gerade das Bauen optimale Voraussetzungen für eine konsequente Nutzung aller digitalen Möglichkeiten, da fast jedes Nicht-Wohngebäude ein Einzelstück ist, auf das viele Erfahrungen aus ähnlichen Projekten übertragen werden müssen. Diese Übertragung von Erfahrungen kann besonders gut durch den Einsatz digitaler Werkzeuge in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes erfolgen.

Dabei wird die technische Ausstattung der Gebäude weiterhin zunehmen. Es müssen immer mehr Themen aus dem Bereich der Gesundheitsvorsorge, der Energieeffizienz und einer flexibleren Nutzung bei der Planung der Gebäudetechnik beachtet werden. Gebäudetechnik muss einen nutzerzentrierten Betrieb erlauben, der nicht nur die durchschnittlichen Anforderungen an das Innenraumklima erfüllt, sondern allen Nutzenden ihre beste Umgebung liefert. Gleichzeitig kommen Anforderungen eines zunehmend regenerativ aufgebauten Energiesystems hinzu, die zu mehr Lastmanagement und dezentraler Speicherung von Energie im Gebäude führen. Diese zunehmende Komplexität der Gebäudetechnik muss durch mehr Qualitätssicherung im Planungsprozess und bei der Automatisierung organisiert werden, da die oft jahrelangen Nachbesserungen im Betrieb weder wirtschaftlich noch kundenorientiert sind.

Planung benötigt daher den konsequenten Aufbau eines BIM-basierten Prozesses mit allen Baubeteiligten. Dabei müssen auch alle technischen Informationen von der ersten Stunde an in ein digitales Modell integriert werden. Die Verwendung bestehender und zukünftiger Bibliotheken für ganze Baugruppen über alle Gewerke hinweg sichert die Übertragung von Erfahrungen in neue Projekte. Die Verwendung einheitlicher und eindeutiger Datenstrukturen ermöglicht die Automatisierung von Berechnungsaufgaben, den Aufbau von Simulationsmodellen und erleichtert Überwachungs- und Regelungsprozesse im späteren Betrieb. Der Einsatz dieser

digitalen Verfahren verschiebt den Fokus in der Planung von der Lösung eines Detailproblems zu einer Architekturaufgabe für das Gesamtsystem Gebäude. Eine hydraulische Lösung muss beispielsweise nicht in jedem Gebäude neu erfunden werden.

Viele der Beiträge dieses TGA-Kongresses sind kleinere oder größere Bausteine auf diesem Weg zu neuen Wegen des digitalen Planens, Bauens und Betriebens. Gemeinsame Anstrengungen aller Baubeteiligten können komplexe Gebäudetechnik einfacher machen und so die Themen Gesundheitsvorsorge, Energieeffizienz, Nutzerzentrierung und die Einbindung von erneuerbaren Energien verbinden.



Uwe Franzke
Geschäftsführer ILK Dresden gGmbH
Ehemaliger Vorsitzender VDI-Fachbereich TGA

Gebäudetechnik im Fokus der Gesellschaft

Selten war die TGA-Branche so im Fokus der gesellschaftlichen Diskussion wie derzeit. Themen wie Energiewende und Klimaschutz bestimmen nahezu die tägliche Diskussion. Aufgrund der Tatsache, dass etwa 26 Prozent des Endenergieverbrauches in Deutschland für die Raumwärme verwendet werden, gehören die Themen der Technischen Gebäudeausrüstung nahezu immer mit dazu.

In der Wissenschaftsgemeinschaft ist es nahezu unstrittig, dass der Klimawandel anthropogene, also vom Menschen ausgelöste, Ursachen hat. Auch in einer gesellschaftlichen Diskussion gibt es viel Zustimmung zur Notwendigkeit, Energiewende und Klimaschutz in den Mittelpunkt zu stellen.

In einer persönlichen Bewertung stellt sich die Situation allerdings häufig anders dar. Je nach Lebenssituation und wirtschaftlicher Leistungsstärke kommen Menschen zu Recht zu anderen Einschätzungen. Pauschale Verbote werden uns nicht helfen, die Probleme zu lösen. Wir brauchen eine gesellschaftliche Debatte über die Lastenverteilung und vor allem einen technologieoffenen Diskurs über technische Lösungen. Die Fokussierung auf einzelne Technologien birgt die Gefahr, dass die von der Politik gewünschte Breitenwirkung aufgrund einer geringen Akzeptanz verloren geht.

Ingenieure können eine große Breite an technischen Lösungen entwickeln. Unternehmen wollen Ideen zu Produkten qualifizieren, um diese vermarkten zu können. Die Politik muss die Rahmenbedingungen schaffen, um einen möglichst reibungslosen Einsatz moderner und energiesparender Lösungen zu ermöglichen.

Speziell im Gebäudebereich brauchen wir eine langfristige Strategie. Die heute gebauten Gebäude werden auch noch in 70 Jahren unsere Städte prägen. Leider wird die TGA dann in der Regel nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik sein. Circular Economy ist die eigentliche Herausforderung. Im Gebäudesektor bedeutet das den Gebäudebestand erhalten, sanieren, weiter- und umnutzen und neue Gebäude durch zirkuläres Design so konzipieren, dass sie von Anfang modular, langlebig, reparierbar und recyclebar sind.

Wissenschaftliche Kongresse sind für den Fachaustausch innerhalb der Branche, aber auch für das Gespräch mit unseren Kunden und dem Austausch mit Vertretern der Politik von großer Bedeutung.

Ich möchte den Organisatoren und den Teilnehmern ein gutes Gelingen wünschen. Bedanken möchte ich mich bei den zahlreichen Referenten, denn sie sind die Basis für einen guten Kongress.



Christoph Kaup
Honorarprofessor
Umwelt-Campus Birkenfeld Hochschule Trier

Lüftung für Schulen – Vergleich der Raumlüftungstechnik mit WRG mit der ventilatorgestützten Fensterlüftung

Der Lüftung in Schulen und vergleichbaren Gebäuden wurde in der Pandemie ein hohes Augenmerk geschenkt, um virenbehaftete Aerosole in der Raumlüftung zu verringern. Dabei wurde nicht nur die Fensterlüftung genutzt, sondern auch die verschiedenen Arten der mechanischen Belüftung.

Einfachen Abluftventilatoren im Zusammenwirken mit einer Zuströmung von Außenluft über geöffnete Fenster bis hin zu Ab- und Zuluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (WRG) wurden dabei neben der klassischen Fensterlüftung eingesetzt.

Der Vorteil der mechanischen Lüftung liegt in dem von Dichteunterschieden weitgehend unabhängigen Luftaustausch. Damit entfällt die hohe Temperatur-, aber auch die Winddruckabhängigkeit der klassischen Fensterlüftung.

Anlagen auf Basis von Abluftventilatoren bietet den Vorteil einer sehr einfachen und kostengünstigen hybriden Lüftung bei der die Nachströmung der Außenluft über zu öffnende Fenster erfolgt. Daher müssen in diesem Fall keine Filter oder WRG-Systeme eingesetzt werden. Einschlägige Normen und Richtlinien, die für Zuluftanlagen gelten, müssen dann nicht eingehalten werden. Allerdings kann mit dieser Art der Lüftung auch keine Luftaufbereitung erfolgen, so dass die zuströmende Außenluft die jeweils vorherrschenden Außenluftkonditionen aufweist. Weder erfolgt eine Filterung der Außenluft noch wird die zuströmende Luft temperiert. Eine Temperierung kann demnach nur durch statische Wärmequellen im Raum erfolgen. Zugserscheinungen, insbesondere bei tiefen Temperaturen lassen sich mit diesen Anlagen nicht verringern.

Hinzu kommt, dass die Fenster immer geöffnet sein müssen, wenn die Lüftung in Betrieb ist. Damit wird die Schallschutzwirkung eines Fensters zwingend aufgehoben. Die Nutzung einer Wärmerückgewinnung (WRG) ist mit einer Abluft unterstützten Fensterlüftung nicht möglich, sondern nur mit einer kontrollierten Ab- und Zuluftanlage.

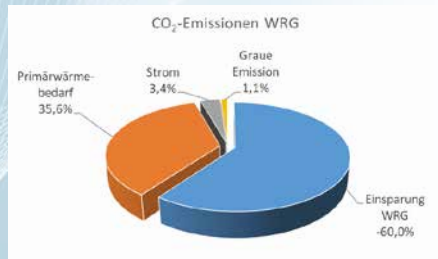
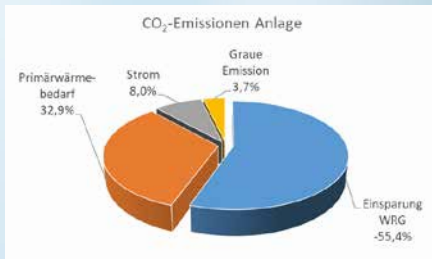
Auch die Nutzung von weiteren Luftaufbereitungsfunktionen einschließlich integrierter Schalldämpfungsmaßnahmen sind ebenfalls nur mit der Nutzung einer kontrollierten Zuluft möglich.

Neben der Darstellung der Vor- und Nachteile werden die beiden Alternativen (mit und ohne WRG) mittels Simulationen des Heizfalles unter verschiedenen Lastfällen und Gebäudespeichereffekten betrachtet. Dabei werden die CO₂-Emissionen im Betrieb (Wärme und Strom) sowie die grauen Emissionen zur Herstellung der Komponenten im Rahmen einer Lebenszyklusbetrachtung (LCA) bewertet.

Es wird deutlich, dass die Wärmerückgewinnung einen erheblichen Einfluss auf die Ökologie von Raumlufttechnischen Anlagen hat.

Unter Berücksichtigung der mittleren CO₂-Emissionsfaktoren für Deutschland ergeben sich je nach gewählter Bilanzgrenze CO₂-Minderungen pro 1.000 m³/h und Jahr von netto rund 840 kg CO₂ eq. (Bilanzgrenze RLT-Anlage) bis 990 kg CO₂ eq. (Bilanzgrenze nur WRG). Zudem steigt die Versorgungssicherheit, da deutlich weniger Primärenergie benötigt wird.

Die Einspareffekte durch die WRG liegen bei ca. 55 % (bezogen auf die RLT-Anlage) bis 60 % (bezogen auf die WRG).



Anteile der CO₂-Emissionen nach Bereichen

Zudem werden bessere hygienische Bedingungen geschaffen, da RLT-Anlagen zwangsläufig und unabhängig von Nutzereingriffen den Raum mit Frischluft versorgen. Dies sorgt insbesondere im Winter für eine gesteigerte Sicherheit im Hinblick auf Erkältungskrankheiten. Zudem werden auch Allergene (z. B. Pollen) wirkungsvoll verringert.



Eckehard Fiedler
FGK-Fachkommission
I.F.I.-Institut Aachen

Effiziente Schichtlüftung für Eis- und Schwimmhallen

Luft hat die natürliche Tendenz, in Räume horizontale Luftschichten zu bilden. Ursache sind Dichteunterschiede, durch die kalte Luft nach unten sinkt und warme aufsteigt. Zwischen den Schichten kommt es nur zu einer geringen Vermischung, daher kann man solche Schichtungen in belüfteten Räumen nutzen, um Stoffe gezielt abzuführen.

In der Industrie ist das Prinzip der Schichtlüftung schon lange bekannt. Hier können durch impulsarme Zuluft einbringung die Luftmengen bei gleicher Luftqualität im Aufenthaltsbereich um bis zu 80% gesenkt werden. Schadstoffe steigen in die oberen Luftschichten auf und werden dort abgeführt ohne die unteren Raumteile zu belasten.

In Eis- und Schwimmhallen können Schichtlüftungssysteme ähnlich effektiv eingesetzt werden, was zu ähnlichen Energieeinsparungen führen kann. Allerdings gibt es dabei einiges zu beachten.

In Eishallen gilt aus Daumenregel, 1/3 der Kosten entfallen jeweils auf Heizung, Kühlung und sonstige Betriebskosten. Dabei muss die Heizung vor allem das Gebäude gegen die Strahlung und Konvektion der kalten Eisfläche schützen. Reduziert man hier den Wärmeübergang zwischen Eis und Halle, dann sinken gleichzeitig Wärme- und Kältebedarf.

Schichtlüftung in Eishallen sorgt dafür, dass kalte Luft über dem Eis sich nicht mit feucht-warmer Hallenluft vermischt. Dies reduziert die Reifbildung und sorgt damit für „schnelles Eis“, was Sportler und Hausmeister gleichermaßen erfreut, sorgt es doch neben einer hohen Eisqualität für niedrigere Energiekosten.

Dabei sind Eishallen mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von 20 kW – 80 kW in der Betriebszeit sogar vergleichsweise günstig. Denn der Stromverbrauch eines

Hallenbades liegt in gleicher Größenordnung, zusätzlich benötigt das Bad aber im Jahresdurchschnitt noch eine Heizleistung von ca. 90 kW - 350 kW (Bezug: Beckenfläche 450 m²) zur Heizung, Lüftung und Beckenwassererwärmung. Was ist der Grund für diese hohen Verbräuche?

Hohe Beckenwassertemperaturen von 28°C und Lufttemperaturen in der Halle ganzjährig über 30°C sorgen für eine hohe Heizlast. Allerdings lassen sich die Lasten durch sehr gut gedämmte Gebäude nach dem Passivhausstandard sehr weit senken. Auch die Lüftungswärmeverluste sinken durch Hochleistungs-WRG ganz erheblich. Nicht vermeiden lassen sich allerdings Energieverluste durch Verdunstung, und die sind ganz erheblich. Werden die Feuchtgrenzen nach VDI 2089 von 60% oder 14,3 g/kg eingehalten, dann verdunsten bei einem voll belegten Bad bis zu 200 kg Wasser pro Stunde. Dies entspricht einer Heizleistung von ca. 12 Litern Heizöl pro Stunde allein für die Beckenwassererwärmung. Ein Großteil des verdunsteten Wassers geht dabei mit der Fortluft verloren und kann nicht ohne Weiteres zurückgewonnen werden.

Schichtlüftungssysteme können die Verdunstung in Schwimmbädern reduzieren. Mit einer impulsarmen Lüftung „von oben nach unten“ wird trockene und warme Luft oben in die Halle eingeblasen, abgekühlte Luft wird nach unten verdrängt. Feuchtkühle Luft von der Beckenoberfläche kann sich so nicht in der Halle verteilen, sie wird am Boden in Nähe des Beckenrandes abgesaugt.

Schichtlüftung sorgt in Eishallen für besser Eisqualität, in Schwimmhallen für besser Luftqualität und geringere Feuchte bei gleichzeitig sinkendem Luftbedarf. Sie ist damit eine Grundlage, ambitionierte Ziele der Energieeffizienz in solchen Freizeiteinrichtungen zu erreichen.





Julius H.P. Breuer
wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Fluidsystemtechnik, TU Darmstadt

Peter F. Pelz
Institut für Fluidsystemtechnik, TU Darmstadt

Repräsentative Nichtwohngebäude in Deutschland: Basis für die gezielte Entwicklung von RLT-Anlagen

Da Gebäude immer luftdichter und damit energieeffizienter werden, wird auch die Zahl der RLT-Geräte im Bestand und in Neubauten stark zunehmen. So prognostiziert die dena, dass bis 2035 90 % aller Neubauten mit RLT-Geräten ausgestattet sein müssen, um die Klimaziele der Bundesregierung zu erreichen.

Unstrittig ist, dass RLT-Anlagen so kosten- und energieeffizient wie möglich gebaut werden müssen, jedoch ist der Aufwand bei der Vielzahl an unterschiedlichen Gebäuden in Deutschland enorm. Dies wird erheblich vereinfacht, wenn die Hersteller von Geräten die typischen Gebäude kennen, für die RLT-Anlagen benötigt werden. RLT-Anlagen können dann so entwickelt werden, dass sie die Anforderungen der gängigsten Gebäudetypen erfüllen, anstatt für jedes Gebäude neue RLT-Anlagen zu planen.

Daten und Methode

Der ENOB:dataNWG des Instituts Wohnen und Umwelt ist ein Datensatz, der detaillierte Daten über den Bestand an Nichtwohngebäuden (NWG) in Deutschland sowie über deren RLT-Anlagen enthält. Auf der Grundlage dieses Datensatzes werden typische Gebäude des deutschen Nichtwohngebäudebestandes, die mit einer RLT-Anlage ausgestattet sind, definiert. Dazu werden verschiedene Parameter des Datensatzes verwendet und eine Clusteranalyse durchgeführt, um die am häufigsten vorkommenden Gebäudetypen zu identifizieren. In diesem Zusammenhang ist ein Gebäudetyp ein Gebäude, das durch seine Zugehörigkeit zu einer Gebäudeklasse sowie durch andere Parameter, wie z.B. eine Netto-Raumflächenkategorie, definiert werden kann. Die Repräsentativität des Datensatzes erlaubt dann eine Aussage darüber, wie viele und welche Gebäude berücksichtigt werden müssen, um einen bestimmten Prozentsatz des deutschen NWG-Bestandes - der Bedarf an RLT-Anlagen hat - abzudecken. Der Datensatz wird auch verwendet, um repräsentative Gebäudetypen für bestimmte Luftbehandlungsfunktionen zu definieren.

Die sich daraus ergebenden, häufigsten Gebäudetypen werden anschließend durch die Bestimmung weiterer Parameter, wie z.B. durchschnittliche Wärmedämmdichte, Verglasung und andere, spezifiziert.

Diskussion

Die Arbeit liefert Herstellern von RLT-Komponenten einen Beitrag zu typischen Anwendungen in deutschen NWG. Dadurch können spezifischere RLT-Produkte entwickelt werden.

Darüber hinaus können die Ergebnisse genutzt werden, um Handlungsempfehlungen für eine große Anzahl an Gebäuden mit Bedarf an einer RLT-Anlage abzuleiten, indem RLT-Anlagen für einige wenige - aber repräsentative - Gebäude optimiert werden. Die so entwickelten RLT-Anlagen ermöglichen den Planern energetisch optimale Anlagen für ähnliche Gebäude in Deutschland mit weniger Aufwand zu planen.

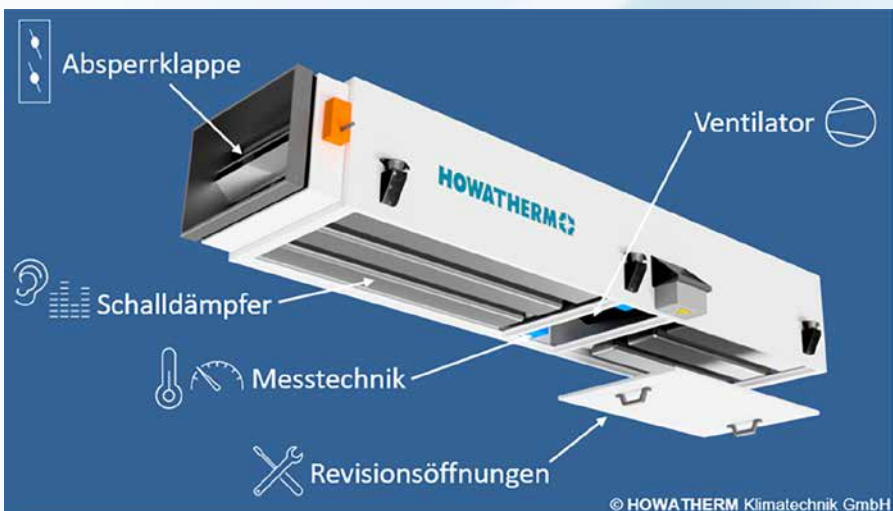
Um RLT-Anlagen für die Gebäudetypen planen zu können, müssen die Gebäudetypen in einem weiteren Schritt durch einen Grundriss und weitere fehlende Parameter spezifiziert werden. Obwohl es für unterschiedliche Gebäudetypen typische Grundrisse gibt, kann die Abhängigkeit der verwendeten RLT-Anlage vom Gebäudegrundriss die Skalierbarkeit der Ergebnisse einschränken, die bei der Anwendung dieser Methode auf einen bestimmten Gebäudetyp erzielt werden können. Das bedeutet, dass die Ergebnisse nicht unbedingt auf andere Gebäude mit abweichenden Grundrissen übertragbar sind. Daher sind weitere Untersuchungen erforderlich, um möglichst repräsentative Gebäudegrundrisse für die entsprechenden Gebäudetypen abzuleiten.

Jens Knissel
 Professor für Technische Gebäudeausrüstung
 Universität Kassel

Planungserfahrungen bei der Umsetzung der semizentralen Lüftung

Bei der semizentralen Lüftung werden zur Anpassung des zonenbezogenen Volumenstroms statt Volumenstromreglern sogenannte semizentrale Ventilatoren im Kanalnetz eingesetzt. Hierdurch kann der Ventilatorstromverbrauch zur bedarfsgeführten Belüftung von Nicht-Wohngebäuden um 10 % bis 50 % reduziert werden. Ein Umsetzungskonzept für eine Schule wurde auf dem TGA Kongress 2020 vorgestellt. Aktuell wird die semizentrale Lüftung in vier Gebäuden realisiert und das Betriebsverhalten messtechnisch analysiert (Forschungsprojekt „Semizentrale Lüftung und intelligentes Betriebsmonitoring SLIM - 03EN1005A“). Dabei werden Planungserfahrungen zu unterschiedlichen Umsetzungskonzepten gesammelt.

Für die vier Modellprojekte hat die Fa. Howatherm Klimatechnik GmbH mit Unterstützung durch den Ventilatorhersteller ebm-papst semizentrale Ventilatoreinheiten entwickelt und produziert. Diese enthalten die für die bedarfsgeführte Volumenstromversorgung erforderlichen Komponenten wie Klappen, Schalldämpfer, Ventilatoren sowie die Messtechnik. Die Einheiten kommunizieren über Modbus RTU mit dem entsprechenden RLT-Controller. Der Regelalgorithmus im Controller inklusive eines Systems zur Messdatenerfassung und –auswertung wurden ebenfalls von Howatherm entwickelt und umgesetzt.



Mit Stand März 2023 befinden sich zwei Modellprojekte in der Inbetriebnahme, ein Modellprojekt im Bau und ein Modellprojekt in der Ausschreibung.

Bei der Umsetzung haben sich u.a. die folgenden Planungserfahrungen ergeben:

- An das Lüftungskanalnetz werden keine besonderen Anforderungen gestellt.
- Die Semizentralen Ventilatoreinheiten (SZE) in einem Kanalnetz müssen parallelgeschaltet sein.
- Eine Parallelschaltung von SZE und Volumenstromreglern (VSR) in einem gemeinsamen Kanalnetz ist nicht möglich, wohl aber die Reihenschaltung von SZE mit anschließenden VSR.
- Bei der Modernisierung von Bestandsanlagen werden die Volumenströme häufig deutlich reduziert. Bleibt das Kanalnetz erhalten, ergeben sich geringe Druckverluste. Es wird untersucht, ob und in welchen Betriebszuständen auf die Zentralventilatoren verzichtet werden kann.
- Ist das Bestandskanalnetz deutlich undicht, kann die Zuluftseite mit VSR und die Abluftseite mit SZE ausgerüstet werden (Hybridsystem). So wird die Gefahr einer Geruchsbelastung der Zuluft durch Leckagen vermieden.
- Aufgrund der Druckverhältnisse im Kanalnetz und den Schallemissionen ist es sinnvoll die SZE möglichst nah zur RLT-Zentrale und im Bereich der Verkehrsflächen anzuordnen.

Beteiligt an dem Forschungsprojekt SLIM sind HOWATHERM Klimatechnik GmbH als Verbundpartner sowie ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG, innovaTec Energiesysteme GmbH (Lüftungsplaner) und schiller-engineering (Ingenieurbüro). Die Federführung und wissenschaftliche Begleitung erfolgt durch das Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung der Universität Kassel. Gefördert wird das Forschungsprojekt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.



Ralph Langholz
Vertriebsleiter Deutschland
drexel und weiss Deutschland GmbH

best practice: Schullüftung – vom überflüssigen Budgetsprenger zum architektonischen Highlight und Klimaretter

Die Schullüftung steht seit Jahren im Disput. Die Schere der Standpunkte wie auch der Argumente ist dabei weit geöffnet. Von nicht notwendig, überteuert und sinnlos bis zu unumgänglich, effektiv und zukunftsorientiert reicht die Bandbreite. Leider bedurfte es einer schweren Pandemie und der Erkenntnis, dass hygienische wie auch gesunde Raumluftverhältnisse in Schulen und Kindertagesstätten ein Fundament für eine Verringerung von Infektions- und Gesundheitsrisiken, nicht nur hinsichtlich SARS-CoV-2, sondern auch bezüglich Pneumokokken, Masern und anderer Krankheitserreger, darstellen. So hat diese Erkenntnis der Wissenschaft teilweise auch bewirkt, dass das Thema neu gedacht und neue Anforderungen, bezüglich dem Einsatz von Lüftungslösungen grundsätzlich erarbeitet werden.

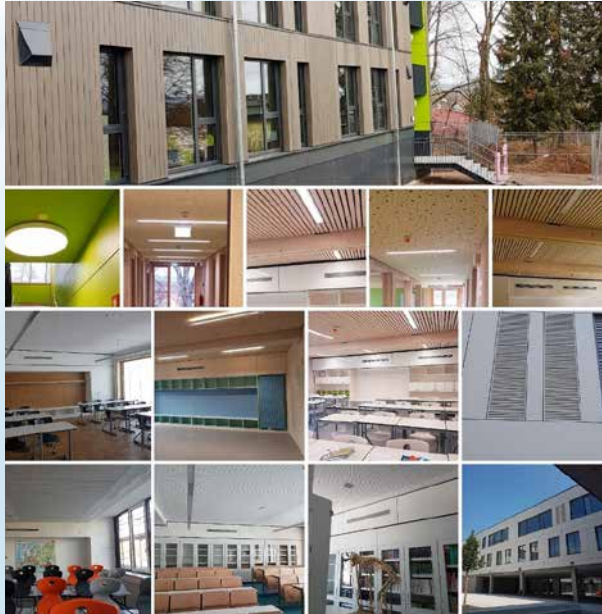
Schullüftungslösungen, insbesondere dezentrale Systeme, stellen heute nicht mehr die Raumansichten sprengenden, sperrigen Lösungen dar. Schlanke Konstruktionen und Architektur orientierte Systeme lassen die unsichtbare Integration in flexible, ansprechende Lernwelten zu und machen die technischen Lösungen selbst zum Highlight.

Last but not least leisten Schullüftungslösungen einen erheblichen Beitrag zum Budget schonenden Heizen von Lerngebäuden und somit einen wichtigen Beitrag zur CO₂-Reduktion im Bereich Heizung und Kühlung.

Die Schwerpunkte zum Thema:

- Einsparungen fossiler Energieträger in Lerngebäuden – Lüftung als maßgebliches Stellrädchen im Bestand
- Reduktion von CO₂-Emissionen im Gebäudebestand – ohne Lüftungslösungen gibt es keine maßgeblichen Fortschritte
- Amortisation von Investitionen in Lüftungslösungen – Preissteigerungen fossiler Brennstoffe als Turbo auf dem Weg zum break-even-point.
- Einbaumöglichkeiten für einen nachträglichen Einbau von Schullüftungsgeräten anhand von realisierten Projekten – „best practice“

- Architektonische Highlights im Neubau von Lerngebäuden – egal ob MODUL- und HYBRIDGEBÄUDE oder klassische Bauverfahren – hohen Ansprüchen an Raumoptik, Raumakustik und Behaglichkeit stehen alle Türen offen



*Bild: Schulen Referenzprojekte in Deggendorf (D), Schaaheim (D), Frankfurt a.M. (D), Vilsbiburg (D)
Bildquelle: drexel und weiss Deutschland GmbH*



*Bild: Schule Referenzprojekt Schaaheim (D),
Bildquelle: drexel und weiss Deutschland GmbH*



*Bild: Schule Referenzprojekt Deggendorf (D),
Bildquelle: drexel und weiss Deutschland GmbH*



Kai Rewitz
Oberingenieur
RWTH Aachen University

Jun Jiang
RWTH Aachen University

Dirk Müller
RWTH Aachen University

Entwicklung einer regelbasierten Steuerung für hybride Lüftungssysteme und Bewertung durch einen Feldtest

Hybride Lüftungssysteme nutzen natürliche und maschinelle Lüftung, um ein angenehmes Raumklima zu schaffen und den Energieverbrauch zu minimieren. Trotz des hohen Energiesparpotenzials ist die natürliche Lüftung, z. B. durch Öffnen der Fenster, von den Wetterbedingungen abhängig und könnte je nach Umgebungsbedingungen nicht ausreichen, um die gesamte Wärme- und Schadstoffbelastung in einem Raum abzuführen. Daher ist es notwendig, eine zuverlässige und robuste Regelungsstrategie für hybride Lüftungssysteme zu entwickeln, damit der Regler automatisch zwischen zwei Lüftungsmodi umschalten kann, um ein gesundes Raumklima zu erhalten.

In dieser Studie wurde eine regelbasierte Regelungsstrategie für ein hybrides Lüftungssystem in einem Zwei-Personen-Büro experimentell entwickelt und durch Feldversuche an einem Fassadenprüfstand evaluiert. Der Prüfstand besteht aus vier identischen Testräumen mit Bürogröße. In jedem Raum wurden zwei thermische Manikins mit einem CO₂-Abgabesystem aufgestellt, um die Nutzer zu simulieren. Alle Fenster im Raum wurden mit mechatronischen Beschlägen ausgestattet, die ein automatisches Kippen des Flügels ermöglichen. Für jeden Raum wurden vier Fassadenlüfter mit Wärmerückgewinnung installiert, die die Luft individuell in den Raum ein- und ausströmen lassen.

Zur Ermittlung der thermischen Behaglichkeit und der Raumluftqualität wurden in jedem Raum Temperatur- und CO₂-Sensoren installiert. Außerdem wurde mit einem Temperatur-Feuchtigkeitssensor die Außenluft gemessen. Auf der Grundlage der zahlreichen gemessenen Eingangssignale wurde die regelbasierte Steuerung als multivariables Regelsystem für mehrere Ausgangssignale implementiert: die Fensteröffnung, die Ventilator Drehzahl des Fassadenlüfters und die Aktivierung der elektrischen Heizung des Raums. Die Messungen wurden an 16 verschiedenen Tagen von September bis November 2021 mit unterschiedlichen Außentemperaturen

von 5 bis 25 °C durchgeführt. Die Regelungsstrategie wurde anhand von drei Kategorien bewertet: predicted mean vote (PMV) und Zugluft rate (DR) für die lokale thermische Behaglichkeit, CO₂-Konzentration für die Raumluftqualität und Heiz-/Kühl-/Lüftungsdauer für das Energieeinsparpotenzial.

Die Bewertung zeigt, dass die regelbasierte Steuerung auch mit einer begrenzten Anzahl an Sensoren als Führungssignale eine gute Innenraumluftqualität und thermische Behaglichkeit bei niedrigem Energieverbrauch unter wechselnden Wetterbedingungen gewährleisten kann.

Das Forschungsvorhaben wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF-Nr. 40 EWN) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) e.V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action

on the basis of a decision
by the German Bundestag



Klaus Menge
Geschäftsführer
FRENGER SYSTEMEN BV

Bruno Lüdemann
Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG

Simulation und Bewertung des energetischen Aufwands zur Beheizung von Industriehallen aufgrund unterschiedlicher Strahlungsanteile von Deckenstrahlplatten

Im aktuellen Kontext der Energiekrise und den derzeit hohen Energiepreisen stellt sich für Bauherren die Frage nach einer weiteren Steigerung der Effizienz bei Hallenheizungen. Deckenstrahlplatten werden bevorzugt als Flächenheizung in Räumen mit großer Höhe eingesetzt. Sie gelten als effizientes Heizsystem und geben ihre Wärme zu einem großen Anteil über Wärmestrahlung in die Anforderungszone des Raums ab.

Viele Deckenstrahlplatten konventioneller Bauart haben jedoch einen wesentlichen Anteil nicht nutzbarer konvektiver Wärmeabgabe, die sich im Deckenbereich staut und damit unnötige energetische Verluste erzeugt.

Der Nachweis dieser Tatsache erfolgte ursprünglich mit CFD-Simulationen, da die nicht praxisrelevante Geometrie des Normprüfraums nach DIN EN 14037 mit 16 m² Grundfläche und einer Höhe von 3 m für solche Untersuchungen ungeeignet ist. Die Ergebnisse der CFD-Simulationen wurden nachfolgend in weiteren Forschungsvorhaben in eigens dafür erstellten Prüfräumen mit geeigneter Raumgeometrie (Raumhöhe bis zu 7,6 m) verifiziert. Es zeigte sich in beiden Fällen, dass der Strahlungsanteil einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch hoher Räume hat. Die gewonnenen Erkenntnisse führen unter anderem aktuell zu Anpassungen an der DIN/TS 18599 im Bereich der Hallenheizung.

In der nun vorgenommenen Untersuchung wird auf Basis einer real existierenden großen Industriehalle (Grundfläche ca. 10.000 m², Raumhöhe ca. 11 m) mit bekanntem Wärmeschutznachweis zuerst ein dynamisches Simulationsmodell der Halle in Wechselwirkung mit den Deckenstrahlplatten und dem Heizungssystem aufgestellt, dass eine energetische Aussage zum Wärme- und Elektroenergieverbrauch zur Beheizung der Halle in Abhängigkeit des Strahlungsanteils der Deckenstrahlplatten ermöglicht. Das Teilmodell zur Wärmeabgabe der Deckenstrahlplatten wurde mit den

bereits vorliegenden Ergebnissen zur Wärmeabgabe aus den vorangegangenen Messungen verifiziert, wobei die Abweichungen zwischen Messung und Simulation im sehr niedrigen einstelligen Prozentbereich lagen.

In der Simulation wird auf Basis des Wärmeschutznachweises das Gebäude mit seinen wärmetechnischen Eigenschaften sowie die vollständige Wärmeerzeugung, -verteilung und -übergabe einschließlich der Regelung abgebildet. Auf Basis der Wetterdaten eines Referenzjahres für den tatsächlichen Standort wird eine komplette Heizperiode für verschiedene Bauformen von Deckenstrahlplatten und damit unterschiedliche Strahlungsanteile/Effizienzgrade simuliert.

Mit den vorliegenden Ergebnissen zu den Energieverbräuchen der Hallenheizung bei Einsatz unterschiedlicher Bauarten von Deckenstrahlplatten existieren nun umfangreiche Kenntnisse, um einfache und belastbare Aussagen über Auswirkungen des Strahlungsanteils auf den Energieverbrauch sowie die Energiekosten von Industriehallen und ähnlichen Gebäuden tätigen zu können.

Wie aus den CFD-Simulationen sowie den ursprünglichen Messungen bereits zu erwarten war, bestätigt auch die dynamische Gebäudesimulation einen signifikanten energetischen Minderverbrauch für die gesamte Heizenergie bei Einsatz moderner Deckenstrahlplatten mit erhöhtem Strahlungsanteil in industriell genutzten Hallen.



Christian Friebe
stv. Hauptbereichsleiter
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH
Rebekka Grüttner

Bestimmung der Luftwechselrate in Räumen

Die Beurteilung der Qualität des von Lüftungsanlagen erzielten Luftaustausches in Wohn- und Arbeitsräumen gewinnt mit Zunahme der Anforderungen an die energetische Effizienz der Gebäude immer mehr an Bedeutung. Allein die rechnerische Luftwechselrate $n = \dot{V}_{ZUL} V_{Raum}^{-1}$ (z. B. 0,5...0,7 1/h) genügt nicht, um den im Aufenthaltsbereich erreichten Luftwechsel und damit dessen Luftqualität beurteilen zu können. Wie effizient der Austausch belasteter Luft durch Außenluft erfolgt, hängt neben dem Volumenstrom auch maßgeblich von der Durchmischung im Raum und damit von der Anordnung und Ausführung der Zu- und Abluftöffnungen ab (Verdrängungslüftung; Mischlüftung; Kurzschlusslüftung).

Um die real in einem Raum vorliegende mittlere Luftwechselrate zu bestimmen, kommen bisher aufwendige oder teure Tracergasverfahren zur Anwendung, welche in der DIN ISO 12569 beschrieben sind. Aus diesem Grund wird ein Messverfahren vorgestellt, welches in der Lage ist, schnell und integral den in einem Raum tatsächlich vorhandenen Luftwechsel zu bestimmen.

Bei dem neuen Messverfahren kommen feinste luftgetragene Aerosolpartikel statt des Tracergases zum Einsatz. Hierfür wird künstlicher Nebel mit einem Nebelgenerator dem Raum zugegeben. Ein von einer Lichtquelle (z.B. Laser) emittierter Strahl passiert einen Teil des Raumes und trifft auf einen optischen Sensor, welcher die auftreffende Strahlungsleistung Φ misst. Bei laufendem Lüftungsbetrieb nimmt die Nebelkonzentration über die Zeit ab. Die gemessene Strahlungsleistung ist indirekt proportional der Nebelkonzentration im Raum. Hieraus lässt sich die integral gemittelte Luftwechselrate über die im Raum verlaufende Strahlstrecke ermitteln. Der Vortrag beleuchtet die Kenntnisse, die bei der Messung gesammelt werden konnten und geht auf die Probleme der Messmethode ein.





Martin Altenburger
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut,
Technische Universität Berlin

N5GEH:TWE-Flex - Entwicklung eines Systems zur Detektion von Trinkwasserzapfprofilen und hygienischen Problemen anhand von Messdaten eines Temperaturhaltebandes

Die Temperaturniveaus in wasserbasierten, energetischen Versorgungssystemen sind seit vielen Jahren Gegenstand von Forschungsaktivitäten. Als Ergebnis wird mit dem Übergang zu Wärmenetzen neuerer Generationen eine deutliche Reduktion der Systemtemperaturen forciert. Speziell an der Schnittstelle zwischen Primär- und Sekundärsystem müssen die Anforderungen der Trinkwassererwärmung (TWE) hinsichtlich dem notwendigen Temperaturniveau beachtet werden. Hintergrund sind neben den Komfortanforderungen auch hygienische Aspekte, da in Trinkwassererwärmungsanlagen (TWE) das Wachstum von Legionellen (*Legionella pneumophila*) zu unterbinden ist. Technisch vermeiden werden kann dieses Wachstum in der TWE mittels Zirkulationssystemen und Temperaturhaltebändern (THB), die darauf orientieren die Temperatur des Trinkwasserwarmwassers (TWW) auf einem bestimmten Niveau zu halten. Letztere Technologie nutzt eine elektrische Widerstandsheizung, die aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit in der elektrischen Leistung selbstregulierend ist. Mit dieser Abhängigkeit von der Temperatur des TWW ergibt sich mit dem Einsatz der THB die Möglichkeit einer messtechnischen Auswertung und energetischen Optimierung für das gesamte TWE-System.

Im Forschungsprojekt N5GEH:TWE-Flex stehen Systeme mit THB im Mittelpunkt der Analysen. Ziel ist es, einen verbesserten regelungstechnischen Algorithmus mit diesen Systemen zu entwickeln, der es ermöglicht die Temperaturniveaus in der TWE unter Berücksichtigung der hygienischen Verhältnisse abzusuchen. Hierzu soll ein Service zur Detektion von Messdaten aus dem THB (über die zugehörige Steuerbox) entwickelt werden. Darauf aufbauen werden KI-basierte Verfahren zur Zapfprofilerkennung adressiert, mit denen eine angepasste Betriebsweise des TWE-Systems und der vorgelagerten Anlagen erreicht werden kann. Weiterhin werden die Messdaten zur Bewertung der hygienischen Qualität des TWW in Bezug auf das Wachstum von Legionellen genutzt.

Im Rahmen der Konferenz wird das Konzept der Datenerfassung und Kommunikation im Kontext des N5GEH1 vorgestellt. Hierbei wird auf die einzelnen Komponenten, die Kommunikationspfade zwischen diesen, das verwendete Datenmodell sowie die nötigen Schnittstellen zur lokalen Gebäudetechnik und die Integration von Algorithmen in Form eigenständiger Services in den N5GEH eingegangen.

Darauf aufbauend wird ein Einblick in den aktuellen Stand der Entwicklung von Algorithmen zur Datenaufbereitung und Analyse gegeben. Dazu wird auf die grundlegende Funktionsweise eingegangen, nach der die Messdaten aus einem THB zunächst aufbereitet (Ermittlung der Temperaturen in der TWI), Zapfereignisse detektiert und anschließend auf zeitliche Muster untersucht werden. Ziel ist hierbei die Abschätzung eines Zeitprofils für die Wahrscheinlichkeit auftretender Zapfereignisse. In diesem Kontext werden erste Ergebnisse zur Eignung des THB als Sensor für diesen Prozess anhand erster messtechnischer Analysen an einem Versuchsstand präsentiert.

Im Ausblick wird auf einen möglichen prädiktiven Algorithmus zur energetischen Optimierung der Betriebsweise der TWE und des THB eingegangen, welcher sich auf die zuvor ermittelten Zapfprofile und die Kommunikation über den N5GEH stützt. Weiterhin wird ein Algorithmus skizziert, mit dem die Gefahr des Wachstums von Legionellen über die ermittelten Messdaten abgeschätzt werden kann und die Erkenntnisse in der Ansteuerung des THB und der TWE einfließen können.

Felix Valentin

wiss. Mitarbeiter
Technische Universität Dresden, Institut für
Energietechnik

Joachim Seifert

Technische Universität Dresden, Institut für
Energietechnik

Andrea Meinzenbach

Technische Universität Dresden, Institut für
Energietechnik

Lars Schinke

Technische Universität Dresden, Institut für
Energietechnik

Marcus Kreuziger

Technische Universität Dresden, Institut
für Elektrische Energieversorgung und
Hochspannungstechnik

EMKAL: Energiemanagement für dezentrale Verbundkälteanlagen mit latenten Wärmespeichern

In der Industrie sowie in Teilen des gewerblichen Bereichs liegt der Fokus neben der Versorgung von Liegenschaften mit Wärme oftmals auf einer Versorgung mit Kälte. Hierbei besteht die Herausforderung in der zeitgleichen Bereitstellung unterschiedlicher Temperaturniveaus, da der Wärme- und Kältebedarf nicht allein eine Funktion des Gebäudes, sondern durch bereichsspezifische Prozesse, wie beispielsweise der Produktion, bedingt ist. Darüber hinaus ist, ausgehend von der Problematik einer fluktuierenden Versorgung und Einspeisung durch erneuerbare Energien, besonders das Management zur Steuerung und Kommunikation von Einzelsystemen innerhalb bestehender Infrastrukturen und auf lokaler und regionaler Ebene von zentraler Bedeutung. Daher ist es notwendig, hochflexible Wärme- und Kälteerzeugungsanlagen mit Hilfe intelligenter Energiemanagementsysteme zu betreiben, zu deren Steuerung im Verbund eine Vielzahl von Parametern benötigt werden.

An dieser Stelle setzen die im Rahmen des Forschungsprojekts EMKAL durchgeführten Untersuchungen an. An der TU Dresden wurde ein System mit unterschiedlichen wärme- und kältetechnischen Anlagen entwickelt, welches flexibel auf den Prozess- und Gebäudeenergiebedarf sowie die Anforderungen des übergeordneten Versorgungsnetzes reagieren kann. Kernstück des Systems ist ein Energiemanagementsystem, welches vorausschauend plant und mit übergeordneten Systemen kommunizieren kann. Das Anlagensystem wurde für zwei relevante Betriebsfälle entwickelt und optimiert. Im Fall eines energetischen Überschusses im elektrischen Netz wird das Gesamtsystem als Energiesenke genutzt und das lokale Verteilnetz somit entlastet (vgl. Abbildung 1).

Im konkreten Fall wandelt eine Power-to-Heat-Einheit (P2H) Strom in Wärme um, welche als Heiz- und Prozesswärme oder über eine Absorptionskältemaschine (AKM) auch als Klimatisierungs- oder Prozesskälte genutzt werden kann. Demgegenüber wird in das elektrische Netz eingespeist, sollte dies aufgrund von Unterkapazitäten erforderlich sein. Im Mittelpunkt steht in diesem Fall ein Blockheizkraftwerk (BHKW), welches sowohl elektrische Energie als auch Wärme bereitstellt (vgl. Abbildung 2).

Eine wesentliche Schnittstelle zwischen dem Energiebedarf im Produktionsprozess und dem externen Angebot aus erneuerbaren Energien stellt eine im Rahmen der Untersuchungen weiterentwickelte Absorptionskältemaschine dar. Das durch Abwärme

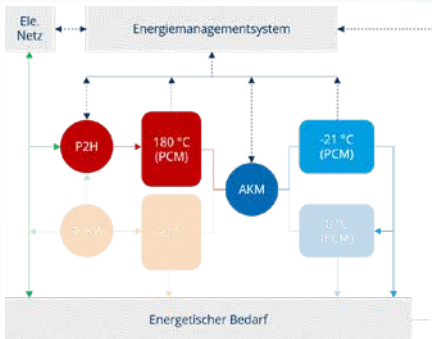


Abbildung 1: Bezug aus dem elektrischen Netz

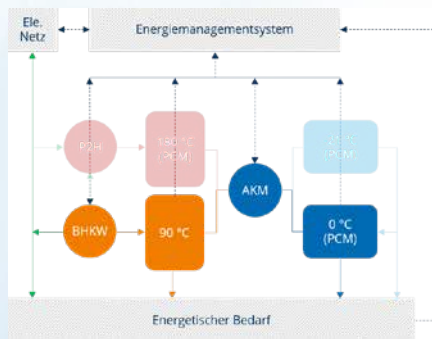


Abbildung 2: Einspeisung in das elektrische Netz

betriebene Kälteversorgungssystem erhöht die Flexibilität systemrelevanter, kleinindustrieller Anlagen und ist auf die Bedingungen im Versorgungsnetz abgestimmt. Das Ziel der beiden Betriebsfälle ist folglich die Stabilisierung des elektrischen Energiesystems (lokales Verteilnetz), da mit dem vorgestellten Anlagenkonzept Übersowie Unterkapazitäten im Stromnetz abgefangen werden können. Die ergänzenden Speicher auf der Wärme- und Kälteseite unterstützen die Netzdienlichkeit und erhöhen die Flexibilität des Gesamtsystems.

Das entwickelte Energiemanagementsystem besitzt erhebliche Chancen. So konnte gezeigt werden, dass unter der Voraussetzung einer durch den Netzbetreiber steuerbaren Anlage, ein generelles Potential zur netzdienlichen Betriebsweise insbesondere durch den Einsatz einer P2H-Anlage vorliegt. Trotz der Einbindung der Absorptionskältemaschine bestehen jedoch auch Grenzen bei der Optimierung des Eigenverbrauchs, was im konkreten Anwendungsfall auf eine Mindestleistung des BHKW von 50 % der elektrischen Nennleistung zurückzuführen ist. Hier wird auf Basis der Analysen die zusätzliche Einbindung eines elektrischen Speichers empfohlen (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4).

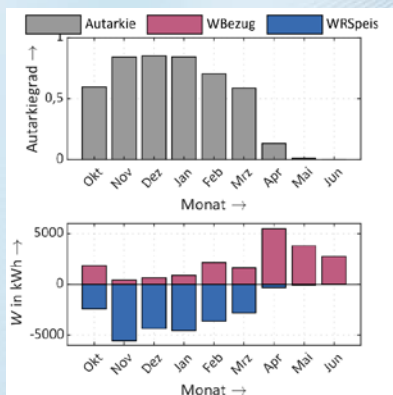


Abbildung 3: Autarkiegrad ohne el. Speicher

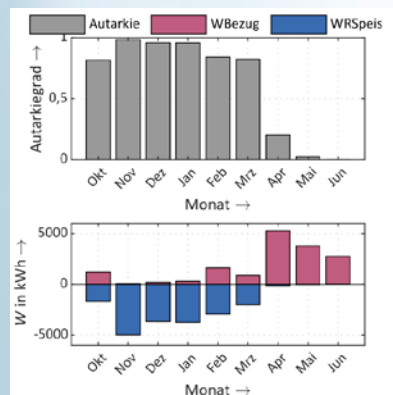


Abbildung 4: Autarkiegrad mit el. Speicher



Tim Jourdan
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und
Energiespeicherung, Universität
Stuttgart

Mostafa Barghash
Forschungsgesellschaft Heizung-
Lüftung-Klimatechnik Stuttgart mbH
(FG HLK)

Lukas Siebler
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und
Energiespeicherung, Universität
Stuttgart

Tobias Henzler
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und
Energiespeicherung, Universität
Stuttgart

Konstantinos Stergiarpoulos
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und
Energiespeicherung, Universität
Stuttgart

Systemübergreifende Regelung von Wohnungslüftungs- und Heizungssystemen

Ein fortgeschrittener Ansatz für die effiziente Raumkonditionierung in Wohngebäuden sind übergreifende Regelstrategien der Systeme Wohnungslüftung und Heizung. Diese sind zentraler Gegenstand des im Rahmen der Industriellen Gemeinschaftsforschung geförderten Projekts HeatVentCon (IGF-Vorhaben-Nr. 22051 N) über „Systemübergreifende Regelstrategien für einen energetisch optimierten Betrieb von Wohnungslüftungs- und Heizungssystemen“. Daneben wird das Konzept dezentral angeordneter Ventilatoren bei zentralem Wohnungslüftungsgerät untersucht, als Variante eines Variablen-Volumenstrom-Systems. Ziel des Projekts sind bedarfsgeführte zonenweise und systemübergreifende Regelstrategien für die Nutzenübergabe in Wohngebäuden zu entwickeln. Es werden deren Potentiale aufgezeigt und das resultierende Systemverhalten untersucht. Die Untersuchungen erfolgen anhand von thermisch-energetischen Gebäude- und Anlagenmodellen in einer Co-Simulationsumgebung mit TRNSYS und MATLAB. Ergänzend zu den Simulationen werden Experimente an Prüfständen zur zonenweisen Luftverteilung sowie der Anlagentechnik für die Nutzenübergabe in Wohngebäuden vorgenommen.

Es wird das Potential einer auf Präsenzmeldern gestützten bedarfsgeführten zonenweisen und übergreifenden Regelstrategie im Kontext einer Wohnung (Neubau) in einem Mehrfamilienhaus untersucht. Die Anlagentechnik besteht aus einem zentralen Wohnungslüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und elektrischem Vorerwärmer in Kombination mit Raumheizflächen als Heizsystem. Die Einzelsysteme Wohnungslüftungsgerät und Heizsystem sind in Anlehnung an DIN 1946-6 und DIN EN 12831-1 dimensioniert. Der Vorerwärmer ist Teil der Frostschutzstrategie

und verhindert damit die Vereisung der Wärmerückgewinnung. Das Gesamtsystem wird nach typischen Nutzungsanforderungen bedarfsgeführt geregelt. Dabei wird außer der Nutzerpräsenz die CO_2 -Konzentration, die Raumluftfeuchte und die Raumtemperatur berücksichtigt. Ein geringer Aufwand der Nutzenübergabe bei gleichzeitig sichergestellter Behaglichkeit wird durch die raumweise Regelung der Wohnungslüftung und Heizung erzielt. In der Praxis werden bei trägem Heizungssystem potentielle Einsparungen eines Absenkbetriebs oft nicht erschlossen. Die vorgeschlagene übergreifende Regelstrategie schafft verbesserte Voraussetzungen, um diese Einsparpotentiale zu heben. Dabei werden in der Systemkombination verfügbare Informationen und die einzelnen Funktionen zusammengeführt und komplementär eingesetzt. Vor einer Reduktion des Luftstroms und im Absenkbetrieb des Heizungssystem wird beispielsweise berücksichtigt, ob die Raumluftfeuchte obere Grenzwerte einhält. Nach einer Temperaturabsenkung wird thermische Behaglichkeit bei Anwesenheit von Personen mit hoher Regelgüte wiederhergestellt. Hierfür sind Wärmeeinträge aus der Nutzung als Störeinfluss für die Regelung berücksichtigt, um ein Überheizen zu minimieren.

Die Untersuchungen zeigen, dass die erzielten Einsparungen überwiegend auf die bedarfsgeführten und zonenweisen Regelstrategien zurückzuführen sind, wobei die übergreifende Regelstrategie die verfügbaren Informationen darüber hinaus für kleinere Einsparpotentiale und den optimierten Betrieb des Gesamtsystem nutzen kann.



Jan Richarz
Wissenschaftlicher Mitarbeiter /
Doktorand
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik

Dominik Hering
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für
Gebäude- und Raumklimatechnik

Dirk Müller
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für
Gebäude- und Raumklimatechnik

Optimierte Modernisierungsfahrpläne: Neuer Ansatz zur Identifikation und zeitlichen Planung von Modernisierungsmaßnahmen für Typgebäude

In Deutschland verursachen alle Gebäude, die vor 1979 erbaut wurden über 75 % des Wärme- und Kältebedarfs des Bestands. In der Bestandsmodernisierung liegt daher ein hohes Einsparpotential. Bereits 2045 soll der dt. Gebäudebestand klimaneutral sein und im Jahr 2030 nur noch 32 % der Emissionen des Jahres 1990 ausstoßen. Neben diesen Zielen empfiehlt der IPCC Emissionsbudgets, die noch maximal zur Einhaltung des 1,5 °C-Ziels ausgestoßen werden dürfen. Diese Budgetangaben beziehen sich auf über die Zeit kumulierte Emissionen, statt jahresspezifischer Emissionsziele.

Aufgrund begrenzter Investitionsmöglichkeiten und Handwerkskapazitäten, unterschiedlichen Lebensdauern von Gebäudeanlagen und -bauteilen sowie weiteren individuellen Gründen sollte bei der Modernisierungsplanung berücksichtigt werden, dass nicht alle notw. Modernisierungsmaßnahmen eines Gebäudes zum gleichen Zeitpunkt durchgeführt werden können. Ein Lösungsansatz für diese Herausforderung sind Modernisierungsfahrpläne (MF), mit welchen Maßnahmen zeitlich geplant werden können.

Die ökonomische und ökologische Güte dieser MF ist abhängig von vorherrschenden Randbedingungen wie Anlagen- und Energiepreisen oder dem Emissionsfaktor des Strommix. Diese Randbedingungen ändern sich über die Jahre. Hauptziele dieser Arbeit sind die Berücksichtigung dieser zeitlichen Wechselwirkungen sowie der Abhängigkeiten von Maßnahmen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Dazu wird während der Identifikation optimaler Maßnahmen auch der optimale Zeitpunkt zu deren Umsetzung ermittelt.

Zur Modellierung der MF ist die Betrachtung einer stündlichen Zeitskala für den Betrieb des Energieversorgungssystems (EVS) bis hin zu einer jährl. Zeitskala des Planungshorizonts notwendig. Gemischt-ganzzahlige Optimierungsprogramme (MIP) können mehrere Zeitskalen in einem Modell berücksichtigen. Daher entwickeln wir ein MIP stetig weiter, das stündliche Effekte berücksichtigt und MF auf einer jährl. Skala bestimmt. Hierbei werden Maßnahmen zum EVS-Austausch, die Dämmung der Gebäudehülle sowie der Maßnahmen-Umsetzungszeitpunkt ermittelt. Die Ermittlung geschieht im Rahmen einer Mehrzieloptimierung hinsichtlich totaler Kosten

und kumuliertem CO₂-Emissionsausstoß des Gebäudes über dem Betrachtungszeitraum. Zusätzlich können jährl. Emissionsziele vorgegeben werden.

Das Modell ist für die Anwendung auf typische Gebäude zugeschnitten, um eine Skalierung auf den dt. Gebäudebestand zu ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Zusammensetzung des Gebäudeenergiesystems mehrmals während eines MF ändert. EVS-Anlagentausch und Dämmungsmaßnahmen werden durch den Ansatz zeitlich aufeinander abgestimmt. Auf Basis des entwickelten Modells wird in diesem Beitrag die folgende Frage fokussiert:

Wie wirken sich Emissionsziele zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb langfristiger Modernisierungsfahrpläne auf die kumulierten Emissionen eines Gebäudes aus?

Jeder Punkt in Abbildung 1 (s.g. Pareto-Front) zeigt die totalen Kosten und kumulierten Emissionen eines MF. Ökonomisch optimale MF verursachen minimal mögliche Kosten, ökologisch optimale MF minimal mögliche kumulierte Emissionen. MF mit jährl. Emissionszielen, auf Basis der dt. Gebäude-Klimaziele, liegen zwischen diesen Optima. Für jedes Gebäude gibt es jedoch MF mit Mehrkosten von nur 1-3 % und erheblichen Einsparpotentialen (Δ) kumulierter Emissionen.

Die Ergebnisse zeigen, dass Emissionseinsparpotentiale durch die alleinige Vorgabe jährl. Emissionsziele ungenutzt bleiben können.

Kumulierte Emissionen sollten daher als weiteres Vorgabekriterium fungieren.

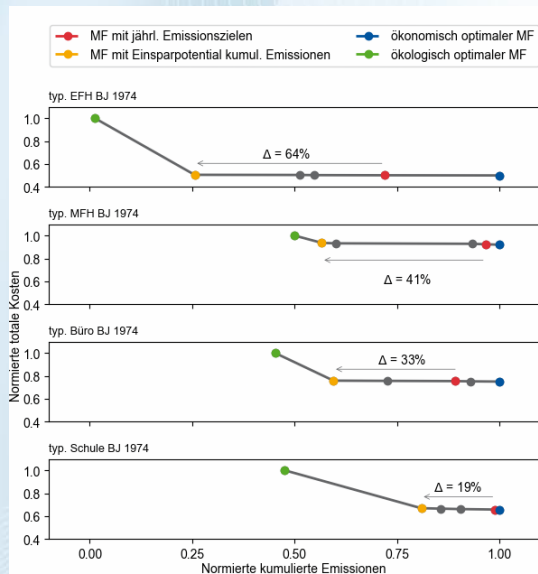


Abbildung 1. Vergleich von totalen Kosten und kumulierten Emissionen von Modernisierungsfahrplänen für typische deutsche Gebäude.

¹ Eigene Berechnung; Datenbasis: Pezzutto et al. 2018, Hotmaps Project, D2.3 WP2 Report-Open Data Set for the EU28.

² Bundesregierung Deutschland, Klimaschutz für Gebäude (2022)

³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Geneva, Switzerland

⁴ Richarz et al., 2022. Optimal scheduling of modernization measures for typical non-residential buildings, Energy 238, Part A, 2022,121871, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121871>



Michael Schaub
Professor an der Hochschule Coburg

Propan-Wärmepumpen als Gamechanger für die Wärmewende im Bestand

Wärmepumpen (WP) mit Propan (R290) als Kältemittel ermöglichen Vorlauftemperaturen von 70 bis 75 °C bei Außenlufttemperaturen von -10 °C und rücken damit auch in unsanierten Bestandsgebäuden den allergrößten Teil der Heizarbeit in den Arbeitsbereich, wie Abb. 1 beispielhaft für die Lastprofile von Mehrfamilienhäusern (MFH) der VDI 4655 zeigt.

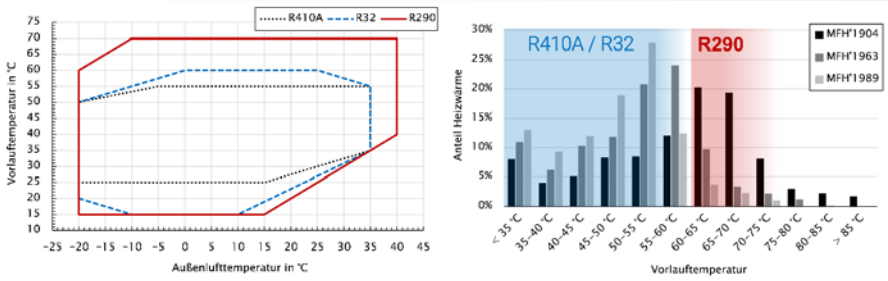


Abb. 1: li.: Arbeitsbereiche je Kältemittel, re.: MFH-Heizanteile je Vorlauftemperatur

Eine ausführliche Marktanalyse für R290-WP ergab, dass bereits über 100 unterschiedliche Einzelgeräte in mehr als 30 Baureihen von über 25 Herstellern marktverfügbar sind (Stand 04/2023 - weitere angekündigt). Abb. 2 zeigt Schallleistungspegel, Aufstellvolumen und Gewicht der jeweiligen Außeneinheiten in Abhängigkeit der Nenn-Heizleistung für die o.g. Marktanalyse sowie für eine weitere Stichprobe von über 25 reversiblen Kaltwassersätzen mit R290.

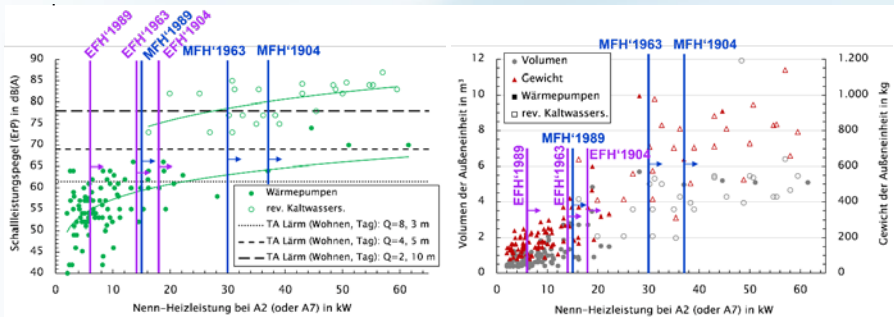


Abb. 2: Schallleistung (links) bzw. Volumen und Gewicht (rechts) der Außeneinheit

Darin sind für verschiedene Typgebäude die erforderlichen Nenn-Heizleistungen (A2/W35) einer monoenergetischen WP-Dimensionierung für einen Bivalenzpunkt von $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ eingezeichnet. Die Typgebäude bilden mittlere Größen und energetische Standards (unsaniert) der Gründerzeit, der Nachkriegsjahre und der Wendezeit im deutschen Wohngebäudebestand ab (vgl. [TABULA]).

Es wird ersichtlich, dass eine monoenergetische Dimensionierung insb. für ältere unsanierte MFH sehr große Leistungen erfordert, die gegenwärtig überwiegend nur von reversiblen Kaltwassersätzen erbracht werden könnten. Deren Schalleistungspegel sind jedoch nur bei sehr günstigen Randbedingung mit einer Aufstellung in Wohngebieten vereinbar. Ferner erreichen die reversiblen Kaltwassersätze im WP-Modus trotz R290 meist nicht die erforderlichen Vorlauftemperaturen von $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vereinzelt dringen bereits als WP konstruierte Geräte bei vertretbaren Schalleistungspegeln in die erforderlichen Leistungsbereiche vor (Kaskaden entsprechend). Diese benötigen jedoch geeignete Aufstell- und Verbringmöglichkeiten (Größenordnung 500 kg und 5 m^3) sowie entsprechende elektrische Anschlussleistungen.

Für eine monoenergetische Ausstattung von MFH mit WP bleibt daher weiterhin häufig nur eine Reduktion der Last (energetische Sanierung) oder die fortschreitende Entwicklung von WP abzuwarten. Eine Alternative dazu spiegelt sich im Ansatz des Mindestanteils von 65 % erneuerbarer Wärme wider, wie Abb. 3 zeigt.

So kann schon mit einem Leistungsanteil der WP von 30 bis 50 % der Norm-Heizlast (bezogen auf A-7/W35 gemäß Referentenentwurf zur GEG-Änderung) der allergrößte Teil des Erdgases substituiert werden. Die dafür erforderlichen WP-Leistungen sind für einen Großteil der MFH sofort verfügbar.

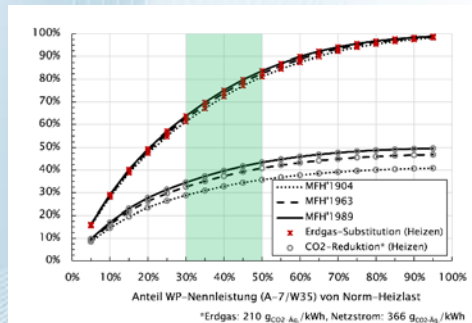


Abb. 3: theoretische Erdgas-Substitution bzw. CO_2 -Reduktion je WP-Anteil in MFH

Fazit

Propan löst das Temperatur-Problem, doch die Leistung zeigt sich als neue Achillesferse von WP.

Die hybride Integration von marktverfügbaren R290-WP mit Leistungsanteilen von 30 bis 50 % ermöglicht hingegen auch für teil- oder unsanierte Bestandsgebäude eine sofortige Substitution von ca. 60 bis 85 % des Erdgases und Emissions-Reduktionen von 30 bis 45 % (bei Netzstrom).

So werden hybride Sofortmaßnahmen auch den begrenzten Kapazitäten bei der energetischen Sanierung und beim Stromnetz-Ausbau gerecht.

Pro gefertigter und installierter WP ist dabei die CO_2 -Reduktion in MFH im Mittel um ca. Faktor 2,1 größer als in EFH.



Alex Primas
Senior Wissenschaftlicher
Mitarbeiter
Hochschule Luzern Technik
& Architektur, Institut für
Gebäudetechnik und Energie
IGE

Stanislav Sehnálek
Tomas Bata University, Faculty of Applied
Informatics, Zlín, Czech Republic

Heinrich Huber
Hochschule Luzern, Institut für
Gebäudetechnik und Energie IGE,
Luzern, Schweiz

Influence of air flow patterns on pressure drop measurements of heat exchangers

The pressure drop of a HRC (Heat Recovery Component) is an essential parameter for assessing its performance. The measured pressure drop of a test sample is assessed within the certification programs of HRC's as Eurovent or AHRI. The base for this measurement is in Europe the standard EN 308:2022 [1] and in Northern America ASHRAE Standard 84:2020 [2]. The test setup is proposed differently in these standards and is not strictly defined.

From round robin tests arose questions on differences in pressure drop measurements between laboratories and the setups used by them. To investigate this, the flow patterns in test casings are analysed with a CFD model. The base is a typical setup used for testing rotary heat exchangers with a diameter of 1.2 m at the test rig of the Lucerne Laboratory. Possible systematic deviations in the measurement of the pressure drop are examined, such as the position of the pressure tapings. Further, different cases for the geometry of the inlet and outlet are modelled.

As an example, Figure 1 shows the distribution of static pressure on the inlet and outlet. Depending on the position of the pressure taps, differences in the static pressure on the inlet and outlet of up to 11 Pa or around 5% of the pressure drop of the unit tested are observed. Depending on the distance between the pressure tap and the wheel, significant differences are observed between the different sides of the casing (left, right, up, and down). The zero position (0m) in Figure 1 is at the surface of the wheel (inlet or outlet).

The analysis shows that the position of the pressure tapings can be relevant for the measured value and should be included in the uncertainty assessment. While test setups with ideal flow conditions due to the space requirements are not realisable, the results of this study are measures to evaluate and limit possible deviations, e.g. by the design of the inlet section of the casing, by introducing settling means or optimising the location and/or number of pressure taps.

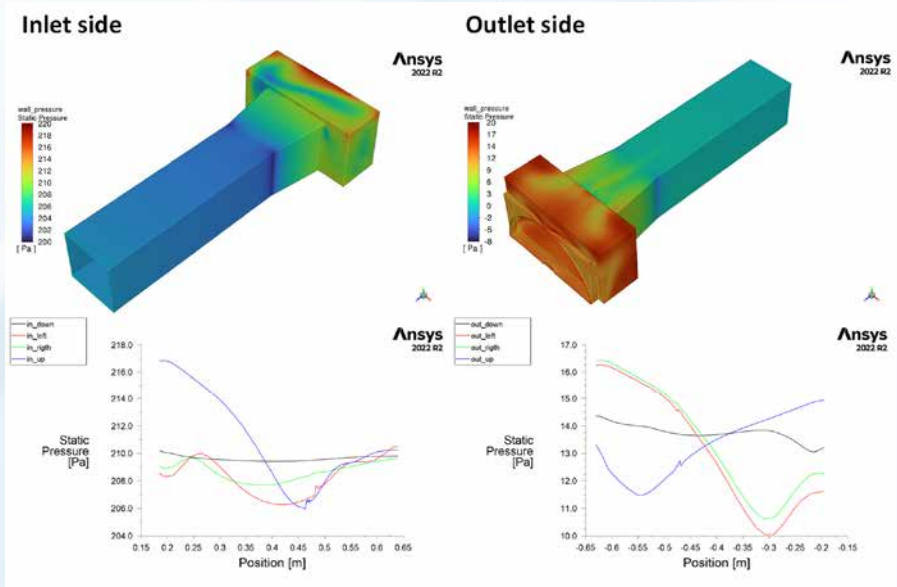


Figure 1: Test setup as used in HSLU test rig, distribution of static pressure.

The study shall help interpret Annex A of EN 308:2022, mainly to estimate additional (systematic) uncertainties of the pressure drop measurements between different setups. It also provides hints for the design of test casings. The investigation also raises the question of how practical installations of HRCs in air handling units affect the pressure drop of the HRC or at least the measured value and how this differs from laboratory tests. This could be a topic for further research.

References

- [1] EN 308: 2022; Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air heat recovery components
- [2] ANSI/ASHRAE Standard 84-2020; Method of Testing Air-to-Air Heat/Energy Exchangers



Ralph Krause
Hauptbereichsleiter
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Einsatz formveränderlicher Flügelgeometrien an Ventilatoren

Ventilatoren werden in der technischen Gebäudeausrüstung eingesetzt, um Luft zwischen verschiedenen Bereichen zu bewegen. Solange sich die Bedingungen nicht ändern, können die Ventilatoren auf diesen Einsatzfall hin optimiert werden. Ändern sich die Anforderungen, gibt es aktuell verschiedene Möglichkeiten der Anpassung. Das sind z.B. Drosselung, Blattverstellung, Drall-Regelung und Drehzahlregelung. Eine weitere Möglichkeit wäre die Anpassung der Flügelkontur an die neuen Strömungsverhältnisse nach biologischem Vorbild. Diesem Vorhaben wird sich in einer ersten Ausbaustufe im Rahmen eines zukünftigen Forschungsvorhabens gewidmet.

Ziel der Forschungsarbeiten ist die Entwicklung einer Technologie zur Herstellung neuartiger Halbzeuge auf Basis aktorischer, textiler Preforms (Faserkunststoffbauteile) und darauf abgestimmter Steuerungsmechanismen am Beispiel eines gestaltvariablen und belastungsgerecht stellbaren Laufradflügels für axiale Strömungsmaschinen. So dienen solche Schaufeln z.B. als Windräder der Energiegewinnung oder der Energieübertragung im Falle von Axialventilatoren. Die lastgerechte Konstruktion und Anordnung dieser Schaufeln in der Strömungsmaschine beeinflusst dabei entscheidend sowohl Energieeffizienz als auch Lärmemission. Entsprechend groß sind die energetischen Einspareffekte und die Reduktion der Schallemission, welche sich durch Einsatz neuer Materialien und Steuermechanismen erreichen lassen.

Durch die dreidimensionale Integration von Smart Materials (schaltbare Formgedächtnislegierungen – FGL, z.B. auf der Basis von NiTi) in eine textile Verstärkungsstruktur oder als eigenständige textile Verstärkungsstruktur werden diese Halbzeuge in ihre Form flexibel steuerbar und können kurzfristig an die funktionellen Anforderungen in technischen Prozessen angepasst werden.





Frieder Lörcher
Ingenieur in der Vorausentwicklung
ZIEHL-ABEGG SE
André Müller
ZIEHL-ABEGG SE

Untersuchungen zum Einbaulärm eines Radialventilators bei kompakten Einbauverhältnissen in einer Air Handling Unit

Infolge signifikanter Fortschritte in der Simulations- und Fertigungstechnik von Radialventilatoren in den Letzten 10 Jahren haben moderne Radialventilatoren typischerweise einen sehr niedrigen Eigenlärmpegel. Infolgedessen gewinnen zusätzliche Schallquellen, die infolge beengter Einbauverhältnisse auf der Zuströmseite der Ventilatoren auftreten (Einbaulärm), verstärkt an Bedeutung. Solche beengten Einbauverhältnisse sind wiederum den Bestrebungen geschuldet, Air Handling Units (AHUs) möglichst platz- und gewichtssparend, letztlich ressourcenschonend, zu gestalten. Erschwert werden die negativen Auswirkungen des Einbaulärms jedoch auch durch seine eher niederfrequente Natur, die eine Reduktion durch Schalldämpfer unverhältnismäßig aufwändig macht. Des Weiteren kann die Energieeffizienz der Radialventilatorsysteme infolge beengter Einbauverhältnisse erheblich reduziert sein.

Einbaulärm umfasst insbesondere zwei Entstehungsmechanismen. Zum einen entsteht ein eher tonaler Lärm, das heißt Schall bei diskreten Frequenzen, infolge räumlich ungleichmäßiger Zuströmung, d.h. einer räumlich ungleichmäßigen „Füllung“ der Einströmdüse. Ein typischer Fall dafür ist eine radial einseitige Gestaltung der Zuströmverhältnisse zum Ventilator bzw. zu dessen Einströmdüse, wodurch im zeitlichen Mittel eine bezüglich der Ventilatorachse asymmetrische Einströmung in den Ventilator entsteht. Zum zweiten entsteht ein eher breitbandiger Lärm infolge von in den Ventilator eingesaugten instationären Turbulenzwirbeln, welche je nach Gestaltung des Zuströmbereichs beispielsweise durch Strömungsumlenkungen, Komponenten oder Störkonturen stromauf des Ventilators entstehen können. Durch Analyse der Frequenzspektren kann der Einfluss dieser beiden Entstehungsmechanismen voneinander unterschieden werden, was anhand von Beispielen dargelegt wird.

In diesem Vortrag wird der Einbaulärm eines modernen Radialventilators mit niedrigem Eigenlärmniveau für drei verschiedene typische Einbausituationen von AHUs aufgezeigt und hinsichtlich des Frequenzspektrums analysiert. Die Einbausituationen sind verschiedene axiale Zuströmungen aus einem rechteckigen Kanal über einen Wärmetauscher, eine radial einseitige Zuströmung mit einer 90° Umlenkung vor

der Einlaufdüse sowie eine schräge Zuströmung über einen Plattenwärmetauscher. Dabei werden als Parameter noch Abstands- bzw. Kanalmaße auf der Zuströmseite variiert. Es werden Aussagen in Bezug auf die konkurrierenden Ziele „kompakte Bauweise“ und „niedriger Einbaulärm“ sowie „hohe Energieeffizienz“ abgeleitet.

Für die untersuchten Einbausituationen werden zwei Ansätze zur Reduktion des Einbaulärms bei hohem Wirkungsgrad und bei gegebenen Abstands- und Kanalmaßen untersucht. Der erste Ansatz ist ein Umlenklech vor der Einlaufdüse für den Fall einer radial einseitigen Zuströmung mit 90° Umlenkung. Der zweite Ansatz, der für alle untersuchten Zuströmungen getestet wurde, ist die Anbringung zweier unterschiedlich feiner kompakter und widerstandsarmer Wabengleichrichter vor der Einlaufdüse. Ihr jeweiliger Einfluss auf den tonalen und breitbandigen Einbaulärm wird herausgearbeitet und diskutiert. Es kann gezeigt werden, dass durch Anwendung der vorgeschlagenen Maßnahmen besonders kompakte Bauweisen der AHUs bei niedrigem Einbaulärm möglich werden. Dabei können mit den vorgeschlagenen Maßnahmen sehr gute Effizienzwerte des Ventilatorsystems beibehalten werden, die teilweise sogar Verbesserungen gegenüber den Referenzmessungen aufweisen.



Heinrich Huber
Dozent Gebäudetechnik
Hochschule Luzern, Institut für
Gebäudetechnik und Energie IGE

Florian Brzezinski
Hochschule Luzern, Institut für
Gebäudetechnik und Energie IGE

Michael Riediker
Schweizerisches Zentrum für
Arbeits- und Umweltgesundheit

Aerosolübertragung in Rotations-Wärmerückgewinnern

Rotations-Wärmeübertrager (RWÜ) sind wegen ihrer hohen Effizienz und Kompaktheit eine weit verbreitete Wärmerückgewinner-Kategorie in RLT-Anlagen. Ein Nachteil ist, dass sie typischerweise eine höhere Abluftübertragung aufweisen als andere Bauarten. Weiter wird die Oberfläche von RWÜ sowohl von der Zu- als auch von der Abluft überströmt. Dies ermöglicht eine Feuchterückgewinnung, birgt aber das Risiko, dass unerwünschte Stoffe übertragen werden könnten. Im Hinblick auf luftgetragene Krankheitserreger stellt sich daher die Frage, ob es bei RWÜ zu einer relevanten Aerosolübertragung kommen kann und ob sich diese von der Abluftübertragung unterscheidet. Im Auftrag des Fachverbandes Gebäude-Klima e.V. hat die Hochschule Luzern zusammen mit dem Schweizerischen Zentrum für Arbeits- und Umweltgesundheit dazu experimentelle Untersuchungen durchgeführt [1].

Untersucht wurde ein RWÜ ohne Beschichtung (Kondensationsrotor) und ein RWÜ mit Beschichtung (Sorptionsrotor). Bei beiden RWÜ wurden Messungen mit und ohne Spülzone bei unterschiedlichen Luftkonditionen und Drehzahlen durchgeführt. Das Abluftübertragungsverhältnis (EATR für engl. Exhaust Air Transfer Ratio) wurde gemäss EN 308:2021 [2] mit Spurengas bestimmt. Analog zum EATR wurde das Aerosolübertragungsverhältnis (ASTR für engl. Aerosol Transfer Ratio) definiert. Das ASTR besagt, wie viele Prozent der in der Abluft enthaltenen Partikel in die Zuluft übertragen werden.

Bei den Messungen wurde Aerosol mit einer Nebelmaschine in Pulsen in die Abluft eingebracht. Dieses Aerosol hat im Messbereich der Sensoren einen durchschnittlichen Durchmesser von etwas mehr als einem Mikrometer und ist damit in seiner Grösse und Konsistenz mit ausgeatmetem Aerosol vergleichbar [3]. Die verwendeten Sensoren zählen die Partikel in einer Grösse von 0,3 bis 10 μm und liefern eine gute Bewertung der Konzentrationen über einen breiten Bereich [4].

Ohne Spülzone lag das ASTR immer geringfügig unter dem EATR. Mit Spülzone wurde bei den beiden RWÜ ein maximales ASTR von 0,12 % resp. 0,35 % ermittelt, was geringfügig über dem maximalen EATR von rund 0,05 % lag. Da bei diesen

tiefen Übertragungsverhältnissen die Messunsicherheit im Bereich des Messwertes liegt, sind die Differenzen von ASTR und EATR zu relativieren.

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass nach heutigen Standards ausgelegte und betriebene RLT-Anlagen mit RWÜ nur eine nicht relevante Menge an Aerosolen übertragen. Damit besteht in Gebäudenutzungen wie Büros, in denen die Häufigkeit hochinfektiöser Personen gering bis moderat ist, kein Infektionsrisiko für COVID-19. Bei mangelhaften RLT-Anlagen mit falschen Druckverhältnissen und gleichzeitig unzureichenden Filtern ist jedoch eine Aerosolübertragung in hygienisch relevanter Menge denkbar, was aber nicht nur Anlagen mit RWÜ betrifft.

Quellenangaben:

1. Huber, H., Brzezinski, F., Riediker, M. Measurements of Aerosol Transfer by Rotary Heat Exchangers. TGA Report Nr. 8. Fachverband Gebäude-Klima e.V. (FGK), Ludwigsburg. 2022-03
2. EN 308:2021 Heat exchangers - Test procedures for establishing performance of air to air heat recovery components
3. Johnson G.R. et al. Modality of human expired aerosol size distributions. Journal of Aerosol Science 2011; 42.
4. Tryner, J. et al. Effects of aerosol type and simulated aging on performance of low-cost PM sensors. Journal of Aerosol Science, Dec 2020; 105654

Florian Kreß

wiss. MA / Konstruktion Maschinenbau
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Karsten Hackeschmidt

Donald Stubbe

Markus Adamiak

Erkenntnisse bei der Erfassung von Pathogenen an einem tischintegriertem Sekundärluftreiniger

Für die Entwicklung eines dezentralen Luftreinigungsgerätes für Tischmöbel ist die Erfassung und Filterung von Atemluft ein wesentlicher Schwerpunkt. Das Reinigungsgerät soll kurzfristig insbesondere in Schulen den sicheren Präsenzunterricht unter Pandemiebedingungen ermöglichen aber auch langfristig helfen, die Auswirkung der jährlich auftretenden Grippewelle zu minimieren. Dabei soll die Luft möglichst nah an der Quelle erfasst werden, um eine Durchmischung der Raumluft in geschlossenen Räumen zu verhindern. Zur Bestimmung der notwendigen Randbedingungen des Reinigers und seiner Spezifikationen, war es notwendig die Atemluft und seine Charakteristik genauer darzustellen.

Für die Untersuchung von quellnaher Erfassung von Atemluft in geschlossenen Räumen wurde am ILK Dresden ein entsprechender Personen-Dummy entwickelt. Dieser wurde so ausgestattet, dass eine möglichst realitätsnahe Atmung über einen Blasebalg generiert werden kann. Da sich die Lungenleistung von verschiedene Altersgruppen unterscheidet, wurde eine Steuerung integriert, um die Atemfrequenz und das Luftvolumen einstellen zu können. Die Erwärmung und Befeuchtung der Luft waren ebenso Bestandteil, wie temporäre Nebelerzeugung. Auch ein manuelles Umschalten von Nasen- und Mundatmung wurde vorgesehen. Über zweckmäßige Sensoren konnten Temperatur und Feuchte im Balg, sowie die Raumtemperatur gemessen und dokumentiert werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen kann eine zielgerichtete Auslegung von Ventilator, Filter und der luftführenden Bauelementen für einen tischintegrierten Sekundärluftreiniger geschehen.

Der Vortrag zeigt die technischen Parameter und die Funktionsweise des Dummies, sowie erste Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des Erfassungsgrades für die Entwicklung einer Schulbanklüftung.





Anne Hartmann

wissenschaftliche Mitarbeiterin

Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut / ITG Institut für

Technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH

Martin Kriegel

Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut

Einflussfaktoren auf die Abscheidung von Partikeln durch negative sowie bipolar geladene Luftionen

Zunehmende Verschmutzung der Außenluft führt zu einem vermehrten Transport von (lungengängigen) Partikeln in die Raumluft. Bei Räumen, die mit einer maschinellen Lüftungsanlage ausgestattet sind, kann mit effizienteren Filtern entgegengewirkt werden, während in Räumen mit Fensterlüftung eine Ausbreitung in der Raumluft mit weiteren Maßnahmen verhindert werden muss. Sowohl in maschinell als auch in frei gelüfteten Räumen wird aktuell die Erzeugung von Luftionen zur Abscheidung von Partikeln als eine mögliche Maßnahme zur Verbesserung der Luftqualität diskutiert.

In dieser Studie wird der Einfluss verschiedener Faktoren (Partikelmaterial-/anzahl, Polarität der Ionen (negativ oder bipolar), Luftgeschwindigkeit sowie Erdung von Oberflächen) auf den Anteil der Partikel, die in einer gewissen Entfernung vom Ionengenerator auftreten, untersucht. Zu diesem Zweck wird in einem runden Lüftungskanal eine rechteckige Messstrecke integriert. Nach einer Partikeleinbringung (Di-Ethyl-Hexyl-Sebacat (DEHS), NaCl oder Außenluft) und Referenzmessung der Partikelanzahl erfolgt eine Ioneneinbringung in die Messstrecke. Anschließend wird in verschiedenen Abständen erneut die Partikelanzahl gemessen. Es werden 2 verschiedene Ionengeneratoren verwendet. Zum einen drei mobile negative Ionengeneratoren des Typs Ionbox 20mTM der Firma IonPacific und zum anderen drei Aktoren der Firma S-Leit, die nach dem Prinzip der Leitfähigen Luft® arbeiten. Die Aktoren können dabei sowohl negative als auch positive Ionen abgeben. Die Strömungsgeschwindigkeit an der Einbringung der Ionen wird dabei mit 0,045 m/s und 0,15 m/s gemessen, was typischen Luftgeschwindigkeiten in Innenräumen entspricht. Die Messstrecke innerhalb des Kanals kann an den Nullleiter des Hauses angeschlossen und damit geerdet werden.

Die Polarität der Ionen zeigt den größten Einfluss auf die Abscheideeffizienz von Partikeln. Während die mobilen negativen Ionengeneratoren im Allgemeinen eine eher geringe Verbesserung der Abscheidung zur Folge haben, kann mit Hilfe der Einbringung von positiven und negativen Ionen – bipolare Einbringung - eine deutliche Reduktion der Partikelanzahl erreicht werden. Des Weiteren führt eine Erhö-

hung der Geschwindigkeit zu einer besseren Vermischung von Ionen und Partikeln, was ebenfalls die Abscheidung erhöht. Durch die Einbringung der verschiedenen Partikelmaterialien wird neben den Materialeigenschaften auch die Partikelanzahl variiert. Eine Trennung der beiden Einflüsse ist nicht möglich. Eine relative Betrachtung der gemessenen Partikel im Verhältnis zu den eingebrachten Partikeln zeigt aber, dass die Abscheidung für DEHS und NaCl, mit einer höheren Partikelkonzentration, höher ist als für Außenluft mit einer geringeren Ausgangskonzentration. Die Erdung der Oberflächen ist notwendig, um eine Aufladung zu vermeiden, was insbesondere aus Gründen der Funktionalität (Partikel können schlechter auf gleich geladenen Oberflächen sedimentieren) notwendig ist aber auch aus Gründen der Sicherheit (elektrische Schläge können bei Berührung auftreten) notwendig sein kann.



Christian Lerche
Geschäftsführer
Ingenieurbüro Dr. Lerche GmbH

Martin Lauer
Institut für Luft- und Kältetechnik
gemeinnützige GmbH, Dresden

Hellmut Siegmund
RL-Raumlufttechnik und
Raumluftqualität GmbH, Bad Honnef

Ralf Heidenreich
Institut für Luft- und Kältetechnik
gemeinnützige GmbH, Dresden

Kombination von Ionisatoren und Filtermedien für die Aerosolabscheidung

Hintergrund

In der Raumlufttechnik werden üblicherweise Tiefenfilter eingesetzt, die für die Partikelgröße von $0,3 \mu\text{m}$ meist ein Abscheideminimum aufweisen. Mit der Bewertung der Abscheideeffizienz vor allem im Größenbereich von $0,3$ bis $1 \mu\text{m}$ (ePM1 gemäß ISO 16890) wurde dem Gesundheitsschutz gegenüber Feinstaub, Bakterien und Schimmelpilzen Rechnung getragen. Die COVID19- Pandemie der letzten Jahre hat allerdings gezeigt, dass auch die Abscheidung von Viren relevant ist und Effizienzsteigerungen im Bereich des Abscheideminimums erforderlich sind. Wenn dafür mechanische Filtrationsprinzipien genutzt werden, führt der Einsatz dichter Filtermaterials zu höherem Energiebedarf der Ventilatoren des Lüftungssystems. Deswegen sind alternative Wirkprinzipien wie zum Beispiel die elektrostatische Aerosolabscheidung von Interesse, die einen geringen Druckverlust mit hoher Abscheideeffizienz vereinen.

Ziel

Von der Erzeugung ionisierter Luft stromaufwärts eines Standard-Filtermaterials wird eine erhebliche Steigerung der Filterleistung gegenüber Nanopartikeln erwartet. Das Potential zur Verbesserung der Abscheideleistung durch diese Technologie sollte mit prototypischen Komponenten experimentell quantifiziert und ein besseres Verständnis der Aerosolabscheidung infolge Ionisation erzielt werden.

Methoden

Die vorliegende Studie umfasste mehrere Untersuchungsschritte:

- Charakterisierung des Wirkungsbereichs der verwendeten Ionisatoren
- Untersuchung des elektrostatischen Auf- und Entladeverhaltens mehrerer marktüblicher Filtermaterialien
- Ermittlung von Fraktionsabscheidegraden gegenüber Nano-Aerosolen an Medienproben ohne und mit Ionisation
- Messung nach ISO 16890 an RLT-Filterelementen ohne und mit Ionisation

Ergebnisse

Die Flachproben der Filtermedien zeigten durch vorgeschaltete Ionisation stark verbesserte Abscheidegrade. Je nach verwendetem Ausgangsmaterial führte die anströmseitige Luftionisierung zu minimalen Effizienzen zwischen 80 und 99 % im Größenbereich von 50 bis 1000 nm. Ohne Ionisation lagen die Minima je nach Medientyp zwischen 0 und 60 %. Einen Auszug der Ergebnisse zeigt Abbildung 1.

Die Ergebnisse an Standard-Taschenfiltern waren weniger signifikant, zeigten aber immer noch eine Erhöhung der Filterklasse von ePM10 55 % auf 75 % beziehungsweise von ePM1 60% auf 80%. An den Fraktionsabscheidegraden eines ePM10 55 %-Filters (Abbildung 2) wird deutlich, dass die Ionisation vor allem bei Partikeln unterhalb 1 µm wirkt.

Durch gezielte Entwicklung aller Komponenten und Optimierung ihrer Anordnung zueinander werden deutlich höhere Verbesserungen als erreichbar eingeschätzt, sodass das aufgezeigte Potential in Anwendungen zur Luftfiltration überführt und die Technologie zum Erreichen hoher Filtrationsleistungen bei niedrigem Energiebedarf genutzt werden kann.

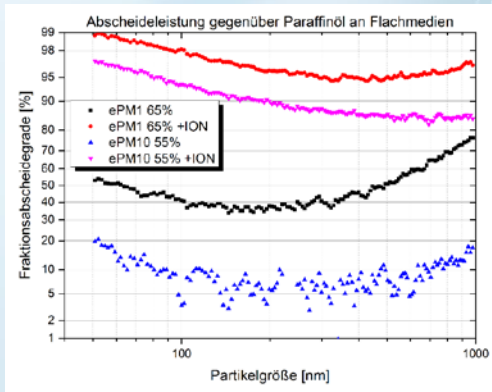


Abbildung 1: Fraktionsabscheidegrade an Flachproben handelsüblicher Filtermedien ohne und mit Ionisation

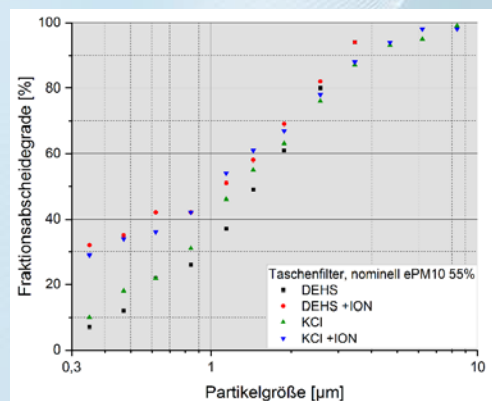


Abbildung 2: Fraktionsabscheidegrade nach ISO 16890, ohne Isopropanol-Konditionierung



Lukas Schmitt
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Martin Kriegel
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Strahlungsabsorption der Raumluft und ihr Einfluss auf den Wärmeübergang an Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen

Die Raumluft wird in der Gebäudeenergetik zumeist transparent für Wärmestrahlung angenommen und modelliert. Obgleich diese Annahme nur zulässig ist, wenn die Raumluft keine signifikanten Mengen an strahlungsaktiven Gasen beinhaltet, stellt die gegenwärtige Literatur keine quantitative Abschätzung der Strahlungsabsorption innerhalb der Raumluft im Kontext von Heiz- und Kühlsystemen für Aufenthaltsräume zur Verfügung.

Unter Berücksichtigung der strahlungsaktiven Gase Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid wird in diesem Vortrag eine Methodik zur Berechnung des Wärmeübergangs durch Strahlungsabsorption zwischen einer Heiz- oder Kühlfläche und der Raumluft vorgestellt. Die korrekte Bilanzierung des Strahlungswärmeübergangs wird anschließend in Form von Wärmeübergangskoeffizienten in den Kontext zum gesamten Wärmeübergang an Flächenheiz- und Flächenkühlsystemen eingeordnet.

Exemplarische Ergebnisse werden für einen Wohnraum mit den Maßen $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ ($L \times B \times H$) und eine Industriehalle mit den Maßen $60 \times 30 \times 6 \text{ m}^3$ dargestellt. In beiden Fällen werden Luft- und Umschließungsflächentemperaturen zwischen 10 und $30 \text{ }^\circ\text{C}$ sowie Über- bzw. Untertemperaturen der Heiz- oder Kühlfläche zwischen -10 und 100 K berücksichtigt. Die Wasserdampf- und Kohlenstoffdioxid-Partialdrücke in der Raumluft werden zu 1170 Pa (50% relative Luftfeuchte bei 20°C Lufttemperatur) und 80 Pa (800 ppm) festgesetzt.

Innerhalb der betrachteten Randbedingungen misst der Wärmeübergang durch Strahlungsabsorption im Wohnraum $0,62$ bis $1,32 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. In der Industriehalle erhöht sich der Wärmeübergang aufgrund des größeren Raumvolumens zu $1,07$ bis $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dabei wird die Strahlungsabsorption zu ca. 85% durch Wasserdampf und zu 15% durch Kohlenstoffdioxid bestimmt. In allen Fällen beträgt der Anteil des Wärmeübergangs durch Strahlungsabsorption zwischen 13 und 23% des gesamten Strahlungswärmeübergangs. Im Verhältnis zum gesamten Wärmeübergang ist der Effekt der Strahlungsabsorption dabei für Deckenheiz- und Fußbodenkühlsysteme

besonders signifikant. Hier liegen der konvektive Wärmeübergang und der Wärmeübergang durch Strahlungsabsorption in der gleichen Größenordnung.

Im Kontext von Deckenheizsystemen verursacht die Strahlungsabsorption der Raumluft bei einer ausgebildeten Luftschichtung außerhalb der Aufenthaltszone analog zur Konvektion einen Effizienzverlust des Heizsystems. Für die Dimensionierung von Deckenheizsystemen wird folglich eine Berücksichtigung eines reduzierten Strahlungswirkungsgrads empfohlen.



Claus Händel
Geschäftsführer Technik
Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Teillast von Ventilatoren in Klima- und Lüftungsanlagen

Die derzeitigen Ökodesign-Verordnungen für Ventilatoren und Lüftungsgeräte basieren auf dem Punkt mit dem besten Wirkungsgrad (Best Efficiency Point) für Ventilatoren und dem Nennbetriebspunkt für Lüftungsgeräte. Dies ist für eine Verordnung einfach umzusetzen, aber künftige Bewertungsverfahren sollten auch mögliche Teillastaspekte berücksichtigen, da Lüftungsanlagen und Ventilatoren sehr häufig nutzungsabhängig gesteuert oder geregelt werden. Die Vielfalt der möglichen Anwendungen und damit die stündliche Verteilung der Betriebspunkte des Ventilators während einer typischen Nutzung erschweren die Festlegung eines einzigen Indexwertes für Ventilatoren.

Ein typisches RLT-Gerät für eine zentrale RLT-Anlage wird in Abhängigkeit der thermischen Last, der Bedarfssteuerung, dem Außenklima und der Systemauslegung für verschiedene Ventilatoren und Teillastaspekte analysiert. Die daraus resultierenden Teillastbetriebsstunden in den Ventilatorcurven und der jährliche Energieverbrauch können als Grundlage für zukünftige Kennzahlen für Teillastbetrachtungen in den einschlägigen Verordnungen dienen. Diese Studie beschränkt sich auf Ventilatoren in RLT-Geräten für gewerbliche Anwendungen und befasst sich zunächst nicht mit Prozessanwendungen. Diese Anwendungen sollten aber noch ergänzend berücksichtigt werden, da derselbe Ventilator und dasselbe Lüftungsgerät auch in Prozessanwendungen eingesetzt werden können. Eine mehrfache nutzungsabhängige Deklaration der Ventilatoren würde zu einem unangemessenen bürokratischen Aufwand für die Ventilatorenhersteller führen.

Die Systemsimulation für das gesamte AC-System wurde mit AC-OPT auf stündlicher Basis durchgeführt. AC-OPT ist eine Klimasimulationssoftware zur Berechnung des Energiebedarfs (Heizung, Kühlung, Wasser, Lufttransport) und der Kosten für ein mehrzoniges HLK-System in Abhängigkeit von den Außenklimaparametern (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung und Luftdichte), den detaillierten Wärmelasten, dem CO₂-gesteuerten Lüftungsbedarf und den Teillastleistungsdaten für die einzelnen Komponenten des HLK-Systems. Um die Simulationszeit zu begrenzen, wird die Ventilatorleistung auf der Grundlage der DLL des Ventilatorherstellers berechnet, wobei eine mehrfach kubische Regression auf der Grundlage der 100 DLL-Berechnungspunkte verwendet wird, die den gesamten Anwendungsbereich abdecken (minimaler und maximaler Volumenstrom und Druck).

$$\eta_{F, Sys} = A + B * qv + C * qv^2 + D * qv^3 + E * \Delta p + F * \Delta p^2 + G * \Delta p^3 + H * qv * \Delta p + I * qv^2 * \Delta p + J * qv * \Delta p^2$$

qv: Luftvolumenstrom m³ /h

Δp: Gesamtdruck Pa

A...J: Regressionsfaktoren für Hyperboloid

Die Regression für $\eta_{F, Sys}$ begrenzt den Unterschied zwischen der DLL-Berechnung des Herstellers und der Regressionsberechnung auf einen Wert von weniger als 1 % absolut. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel. Auf der linken Seite Hersteller-DLL-Ergebnis, in der Mitte Regressionsergebnis und rechts die absolute Differenz. In diesem Fall liegt die Differenz von Herstellerangabe und Regression unter 1 % absolut. Die Installationsverluste wurden nach den RLT-Richtlinien berechnet. Für die Zu- und Abluft wurden die gleichen Ventilatoren gewählt.

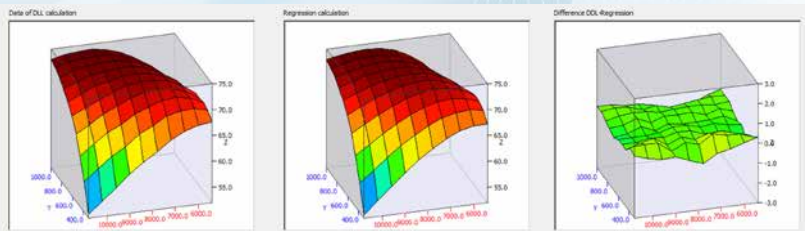
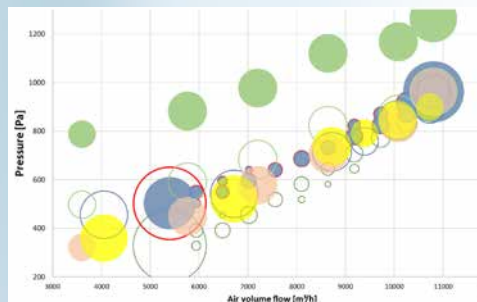


Abbildung 1: Ventilatorcurven $\eta_{F, Sys}$ über Volumenstrom und Druck – DLL-Ergebnisse und Regression

Die Auswahl der in dieser Studie beschriebenen Beispiele zeigt jedoch schon einen großen Bereich möglicher Teillastbetriebspunkte und erhebliche Unterschiede zwischen den Betriebsparametern. Die Abbildung 2 zeigt den Bereich der Teillast-Stundenhäufigkeiten im Ventilatorkennfeld. Es ist bemerkenswert, dass dieser große Variationsbereich nur für ein einziges RLT-Gerät gültig ist. Dies zeigt deutlich, dass eine Verallgemeinerung über einen Index in diesem Fall schwierig sein könnte. Zusätzlich können die hier verwendeten Ventilatoren auch in vielen anderen, nicht mit RLT-Geräten verbundenen Anwendungen, eingesetzt werden. Es stellt sich die Frage, ob eine einzige Kennzahl des Ventilator-Motor-Antrieb-Systems für eine Regulierung zielführend ist oder ob zuverlässige Teillastkurven erforderlich sind. Zuverlässige Teillastkurven ermöglichen dem Anwender eines Ventilators eine optimierte Auswahl exakt für seinen Einsatzfall.

Abbildung 2: Frequenzen des Teillastbetriebs für verschiedene Anwendungen und Betriebsszenarien





Lars Haupt
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Universität Dresden
Joachim Seifert
Technische Universität Dresden

Christian Vering
RWTH Aachen
Thomas Hackensellner
Glen Dimplex Deutschland GmbH
Karsten Spreitzer
Viessmann Werke Allendorf GmbH

Systemplattform für Digitale Zwillinge am Beispiel von Wärmepumpen – ein ganzheitlicher Ansatz

Digitale Werkzeuge zur Planung und Auslegung von Kälte- und Wärmeanlagen sind bekannt und werden erfolgreich in Theorie und Praxis eingesetzt. Durch die stetig steigende Datenverarbeitungsleistung und der Möglichkeit, kontinuierlich Livedaten zu erfassen, rücken vermehrt Werkzeuge in den Fokus, die im Betrieb über den gesamten Lebenszyklus hinweg verwendet werden können. Dies geht mit dem zunehmenden Interesse von Herstellern und Betreibern z.B. Wärmepumpenanlagen bzgl. der Optimierung von Prozessen im Betrieb inkl. Fehlererkennung einher. Daher sind die bestehenden digitalen Werkzeuge und Methoden anzupassen, zu erweitern und um Neuentwicklungen zu ergänzen. Zusätzlich ist es vorteilhaft, alle digitalen Werkzeuge in einer Cloud zusammenzufassen und jeweils kompatibel für die einzelnen Entwicklungs- und Nutzungsphasen auszuwählen und zu verwenden.

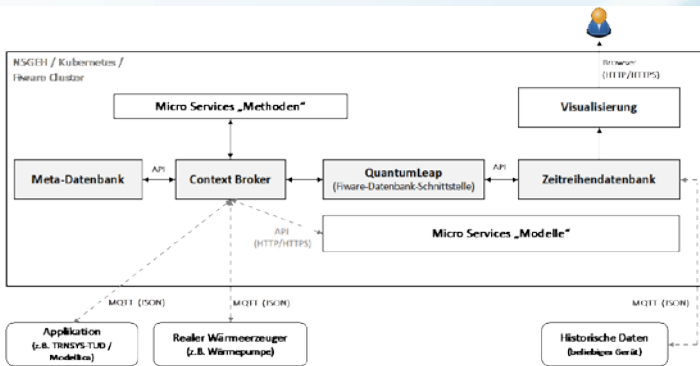


Abbildung 1: Schema der N5GEH-Systemplattform (Cloud) [1]

Im Rahmen des Projektes „DZWi“ wurde eine cloudbasierte Systemplattform („N5GEH“ Plattform) dahingehend ertüchtigt, dass mit deren Hilfe, Digitale Zwillinge für energetische Systeme realisiert werden können (vgl. Abb. 1). Am Beispiel des Digitalen Zwillings für Wärmepumpen wird die Systemplattform im Detail vorgestellt und gezeigt, dass komplexe Digitale Zwillinge leistungsfähige Werkzeuge zur Weiterentwicklung klimatechnischer Komponenten in der Gebäudeenergie-technik sind. Die Plattform enthält unterschiedliche Modelle und Werkzeuge für verschiedene Entwicklungs- und Nutzungsphasen einer Wärmepumpe.

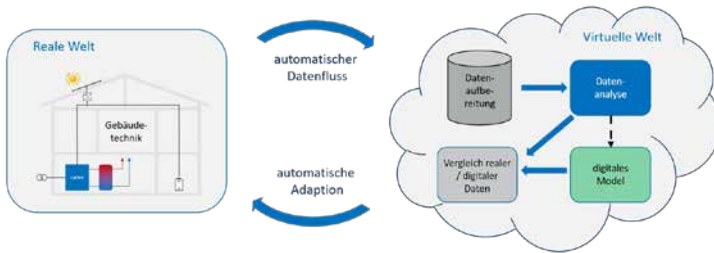


Abbildung 2: Digitaler Zwilling in der Gebäudeenergie-technik

Kernkomponente des Digitalen Zwilling ist eine Cloud-Infrastruktur inklusive numerischer Modelle und Schnittstellen zu realen Geräten (vgl. Abb. 2), welche einen bi-direktionalen, automatischen Datenfluss zwischen physischem (realer Zwilling) und virtuellem Objekt (virtueller Zwilling) ermöglicht. Das wesentliche Funktionsziel des DZWi ist es eine automatische Anpassung/Optimierung des realen Systems vornehmen zu können. Sämtliche Modelle und Services wurden via Python realisiert. Über implementierte Schnittstellen ist eine Kopplung mit Modellen mit anderen Sprachen (Modelica, etc.) möglich. Alle Komponenten sind generisch und modular implementiert.



Abbildung 3: CEL 2.0 der TU Dresden

Der beschriebene Digitale Zwilling wurde mit Messdaten der Projektpartner validiert und kann zuverlässig eingesetzt werden. Abb. 3 zeigt beispielhaft das hier für genutzte CEL 2.0 der TU Dresden.

Zukünftig wird die Systematik des Digitalen Zwillinges auf weitere Anwendungen übertragen. Zu nennen sind hier z.B. Klima- und Lüftungsanlagen, Pumpen, Verdichter sowie Kälteanlagen.

Diese Veröffentlichung wäre ohne die Hilfe der im Folgenden genannten Kolleg:innen und dem BMWK nicht möglich gewesen: Dr.-Ing. M. Knorr¹, Dipl.-Ing. L. Schinke¹, Dr.-Ing. P. Seidel¹, Dr.-Ing. A. Perschk¹, Dr.-Ing. A. König-Haagen², M. Sc. S. Borges³, M. Sc. F. Wüllhorst³, M. Sc. S. Göbel³, M. Sc. H. Romberg³, M. Sc. T. Klebig³, Prof. Dr.-Ing. D. Müller³, M. Sc. C. Grozescu⁴, M. Sc. A. Eggert⁴

¹TU Dresden, ²Glen Dimplex Deutschland GmbH, ³RWTH Aachen, ⁴Viessman Werke Allendorf

Literatur

[1] Seifert, J.; Knorr, M.; Wiemann, S.; Schegner, P.; Fitzek, F.-F.; Krahmer, S.; Gasch, E. Bonetto, R.; Sychev, I.; Kozak, W.: National 5G Energy Hub – Einführung zukunfts-trächtiger Kommunikationsstandards in der Energietechnik, Forschungsbericht TU Dresden 2021



Joachim Seifert
 TU Berlin, Prof. für Digitale Vernetzung
 von Gebäude, Energieversorgungs-
 anlagen und Nutzenden
 TU Dresden, Prof. für
 Gebäudeenergie-technik und
 Wärmeversorgung

L. Schinke
 TU Dresden
M. Knorr
 TU Dresden

Leistungsbestimmung von Heiz- und Kühleinrichtungen zur Wärmeübertragung - neue Erkenntnisse aus theoretischen und experimentellen Analysen

Die Wärmeübergabe im Raum stellt die Schnittstelle zwischen technischem System und Empfinden des Nutzers hinsichtlich der Erfüllung der Heiz- und Kühlaufgabe dar. Für die Heizungstechnik ist hierbei klar die Tendenz zu Anlagen mit geringeren Systemtemperaturen zu erkennen. Flächenheizungen sind im Neubaubereich das dominierende System, wohingegen im Großteil der Bestandsgebäude die freie Heizfläche das verbreitetste System darstellt. Die Kenntnis der exakten Leistung der genannten Systeme ist hierbei von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich wird bei freien Heizflächen von einer Übertemperatur zur Raumtemperatur als wichtiges Kriterium für die Leistungsbestimmung ausgegangen. Die klassische Umrechnung mittels Übertemperatur hat jedoch Grenzen, wenn zusätzlich eine Massestromdrosselung erfolgt. In diesem Falle ist die Oberflächentemperatur des Heizkörpers nicht homogen verteilt (vgl. Abb. 1). Je nach System können hier lokale, auf Grund der Temperaturdifferenzen an der Oberfläche stark unterschiedliche Wärmestromdichten entstehen, die eine Korrektur der Leistungsbestimmung erfordern. In der Vergangenheit wurden z.B. Ansätze für die Korrektur beim Einbau in Nischen analysiert. Im vorliegenden Beitrag wird eine Korrektur-Kurvenschar für unterschiedliche Heizkörpertypen beschrieben, mit denen weiterhin die logarithmische Temperaturdifferenz als Berechnungsgrundlage verwendet werden kann (vgl. Abb. 2).

Die Korrekturkurven sind für unterschiedliche Typen von Heizkörpern keineswegs identisch. Röhrenradiatoren haben z.B. im Vergleich zu Plattenheizkörpern eine Korrekturfunktion mit geringerem Gradienten. Auch bei Plattenheizkörpern gibt es signifikante Differenzen, die von der hydraulischen Schaltung abhängig sind. Bei Gebläsekonvektoren wird keine Abhängigkeit von dem Massestromverhältnis bestimmt. Der physikalische Hintergrund der unterschiedlichen Korrekturkurven ist der sich unterschiedlich einstellende Konvektionsstrom an der freien Heizfläche. Begrenzend muss jedoch festgestellt werden, dass die Gültigkeit der Korrekturkurven limitiert ist, da Messungen bei sehr kleinen Masseströmen mit hohen Unsicherheiten verbunden sind.

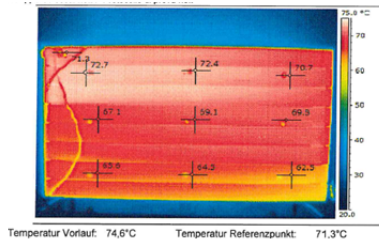


Abb. 1: Thermografie-Aufnahme eines Flachheizkörpers mit thermischen Hotspots

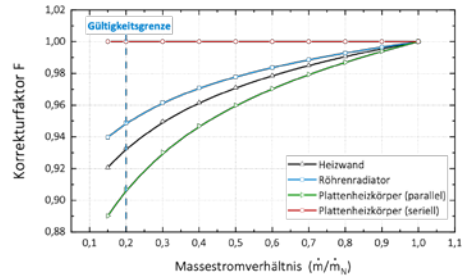


Abb. 2: Korrekturdiagramm für ausgewählte Klassen von Heizkörpern bei Verwendung der Leistungsumrechnung mit logarithmischer Übertemperatur

Im zweiten Teil des Beitrages wird die Leistungsbestimmung bei bauteilintegrierten Heiz- und Kühlsystemen betrachtet. Hier kann mit der europäischen Richtlinie EN 1264 eine Leistungsbestimmung vorgenommen werden. Bestandteil des Berechnungsganges sind jedoch feste Wärmeübergangskoeffizienten, die in der Vergangenheit bei höheren Systemtemperaturen ihre Berechtigung hatten. Bei geringeren Systemtemperaturen ist diese Randbedingung nicht weiter aufrecht zu erhalten. Es werden innerhalb des Beitrages zum TGA-Kongress die Auswirkungen auf die Leistungsberechnungen dokumentiert.



Thomas Oppelt
wiss. MA / Thermische Simulation
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Maschinenlernbasierte Module für intelligente TGA-Planungssoftware

Software, die zur Planung von technischer Gebäudeausrüstung (TGA) eingesetzt wird, erleichtert den Anwendern im Vergleich zur früheren Arbeit mit dem Taschenrechner die Tätigkeit deutlich. Der Ablauf ist dabei jedoch seit Jahrzehnten unverändert: Planer geben die Konfiguration vor, für die Kühllast-Auslegung nach VDI 2078 sind das unter anderem Standort, Raumeigenschaften, Kühlsystem und Regelung. Die Software wendet die Berechnungsalgorithmen der relevanten Normen und Richtlinien an, ermittelt Ergebnisse und stellt diese tabellarisch sowie grafisch dar. Es bleibt den Anwendern überlassen, die Ergebnisse auf Plausibilität zu prüfen und durch manuelle Variation der Vorgaben (z.B. andere Regelung des Kühlsystems) eine optimale Lösung für die Planungsaufgabe zu suchen.

Bisher wird das Potenzial der heute verfügbaren Rechenkapazität und der breiten Vielfalt an ausgefeilten Verfahren des maschinellen Lernens (ML) in TGA-Planungssoftware nicht genutzt. Ziel eines aktuellen Forschungsvorhabens am ILK Dresden ist deshalb die Entwicklung ML-basierter Softwaremodule, die Planungssoftware intelligent machen. Die intelligente Prüfung von Eingaben und Ergebnissen sowie die automatische Generierung von Optimierungsvorschlägen soll Planern die Arbeit erleichtern, eine hohe Planungsqualität sicherstellen und eine maximale Energieeffizienz bei gleichzeitig sichergestelltem Nutzerkomfort im Raum/Gebäude erreichen. In den Softwaremodulen sollen drei Intelligenzstufen abgebildet werden, die von der Detektion grober Fehler über das Feintuning des vorgegebenen Systems bis hin zum Finden einer Optimallösung für die vorgegebene Aufgabe reichen.





Hossein Rezazadeh
Entwicklungsingenieur
Hansa Klima Systeme

Matthias Lamping
Hansa Klima Systeme

Neural Network Model Based Control System for Swimming Hall AHUs

Introduction

Maintaining the desired comfort condition in a swimming hall is an energy intensive task and on the other hand, a complex task because the controlled variables are dynamically coupled. In conventional control systems, we use SPS systems, which apply predefined rules to set the reference values. These rules are based on outside temperature, pool water temperature and some restrictions such as minimum required ventilation rate and minimum required fresh air. The problem with this kind of rule-based controllers is that although they manage to track the reference values they fail to consider the coupled dynamics of the system. On the other hand, the air-handling units for the swimming halls are complex units with many degrees of freedom, which can work, in a large range of operating modes. The positioning of the dampers has a great effect on the overall airflow resistance of the system and it is in terms of energy consumption crucial to find the optimum positioning of the dampers. The units with integrated heat pumps can use heat pumps as both means of heating or dehumidification. They can be employed in either variable or fixed speed. Here the outside absolute humidity, temperature and thermal energy and electricity prices play the major role in the optimal usage of the heat pumps. With such a complex system, it is impossible to find the optimum operating mode with minimum energy consumption without having knowledge about the model of the system and other factors such as energy prices for gas and electricity.

Control Strategy

A two-layer control design is employed where the supervisory level includes a MPC with integrated building model and in the lower level separate MPCs with appropriate AHU models. The upper layer controller defines the required load for the building and distributes the load among the AHUs. This provides a convenient modularized control algorithm with separate modules for the building control and air-handling units of different types. For the supervisory level, we outline a MPC algorithm that outputs the required hall heating and dehumidification loads to achieve the desired comfort condition based on disturbance parameters. The prediction time horizon

is one hour with sample time of one minute. The minimum and maximum limits of heating and dehumidification are calculated based on the AHU capacities and outside weather condition and the physical limits such as minimum required outside air, outside absolute humidity and temperature.

Conclusion and outlook

Model based control has shown a great potential for the AHU MIMO systems for swimming halls with many degrees of freedom. It has shown not only up to 60% energy saving potential but also improvement in hall comfort level. Neural networks make the MPC application even more attractive by speeding up the modelling process of different AHUs and different buildings by using transfer-learning technique. This is our ongoing development phase where the AHUs are linked through a cloud connection system. In that case, the building MPC would start with a standard pre-trained building model and adapts itself during runtime using collected data according to the local weather condition and usage profile and the new AHUs. This reduces the training time and cost and also enriches our training datasets which improves the learning performance of the system.



J. Strubel
Viessmann Elektronik GmbH
P. Skiba
Viessmann Elektronik GmbH
A. Brand
Viessmann Elektronik GmbH
C. Falk
Viessmann Elektronik GmbH

T. Ratajczyk
Viessmann Elektronik GmbH
F. Paschke
Viessmann Research & Development
Center Dresden
M. Kowalczyk
Viessmann Research & Development
Center Wrocław

Modellbasierter Entwurf und simulationsgestützte Evaluation einer vernetzten Einzelraumregelung

Energieeffizienz und Energieeinsparung - Schlagworte, die durch den Klimawandel und den Krieg in der Ukraine die öffentliche Diskussion in den letzten Monaten bestimmten. Gleichzeitig wird der Wärmepumpe als Schlüsseltechnologie im Gebäudesektor eine wesentliche Rolle zugeschrieben, den Umstieg auf erneuerbare Energien zu gestalten und die Effizienzpotenziale zu heben. Aufgrund der Schwierigkeiten in den globalen Lieferketten, der vollen Auftragsbücher der SHK Branche und nicht zuletzt durch den nicht unerheblichen Invest in ein Wärmepumpensystem gestaltet sich die Modernisierung der Heizung für viele Privathaushalte als schwierig, wenn nicht sogar als unmöglich. Eine vergleichsweise günstige Alternative, um Energie zu sparen, besteht daher in der Modernisierung der individuellen Temperaturregelung der Räume. Ein durchaus nennenswertes Einsparpotential durch den Einsatz von thermostatisch geregelten Heizflächen beziffert [1] auf bis zu 30% bezogen auf die Brennstoffkosten. Kombiniert man Thermostate zur Regelung von Heizkörpern und Heizflächen mit zusätzlicher Raumtemperatursensorik und hat man darüber hinaus noch die Möglichkeit diese Komponenten über eine App auf dem Smartphone zu bedienen und zu überwachen, dann lässt sich für kleines Geld ein Beitrag zur Energieeinsparung leisten und das Heizungssystem mit dem Komfort einer Einzelraumregelung aufwerten.

In diesem Beitrag geben wir daher einen Einblick in die einzelnen Komponenten und den modellbasierten Entwurf der Regelung nach [2] des Viessmann ViCare Smart Climate Systems. Dabei verstehen wir unter einer vernetzten Einzelraumregelung nicht nur die Regelung der Temperatur auf Raum- beziehungsweise Gebäudeebene, sondern insbesondere auch die informationstechnische Anknüpfung an den Wärmeerzeuger. Ausgehend von der Beschreibung der wichtigsten Funktionen erfolgt zunächst eine Klassifizierung nach Tabelle 5 in [3]. Dies erlaubt in strukturierter Weise Rückschlüsse zu ziehen, welche Funktionen einen nennenswerten Beitrag zur Energieeffizienz erzielen.

Darüber hinaus zeigen wir auf, wie sich simulationsgestützt die Leistungsfähigkeit des Systems anhand verschiedener Kennzahlen bestimmen lässt. Die hierfür zugrunde gelegten Szenarien (Zeitprogramme, aktivierte Funktionen) und Randbedingungen (Wetterdaten, Gebäudekennwerte) werden erläutert. Den Abschluss des Beitrags bildet eine Übersicht über die simulierten Szenarien zusammen mit einer statistischen Auswertung der Ergebnisse, die einen Rückschluss auf das Einsparpotential einer vernetzten Einzelraumregelung erlaubt.

- [1] European Building Automation and Controls Association (Hrsg.): Room temperature controls: How the EU is missing an opportunity for substantial energy savings. <https://eubac.org/publications/> (13.01.2023), 2017.
- [2] G. Roppenecker: Zustandsregelung linearer Systeme - Eine Neubetrachtung. In: at - Automatisierungstechnik, 57 (2009), Heft 10, S. 491-498.
- [3] British Standards Institution (Hrsg.) (BS EN ISO 52120-1:2022): Energy performance of buildings - Contribution of building automation, controls and building management. 2022---

Svenne Freund
Projektingenieur
ROM Technik
Gerhard Schmitz
Technische Universität Hamburg

Bruno Lüdemann
ROM Technik
Peter Thiel
ROM Technik

Ergebnisse der Implementierung Modellbasierter Prädiktiver Regelung in einem großen Verwaltungsgebäude zur Optimierung der Energieeffizienz und des Komforts

Einleitung

Die Transformation zu einem umweltfreundlichen und energieeffizienten Gebäudebestand stellt ein wesentlicher Bestandteil für den globalen Klimaschutz. Neben energetischen Sanierungsmaßnahmen stellen hard- und softwaretechnische Maßnahme an Steuerungs- und Regelungssystemen gebäudetechnischer Anlagen einen effektiven Ansatz dar, mit dem kostengünstig erhebliche Energieeinsparungen und eine Verbesserung des Nutzerkomforts in Gebäuden erzielt werden können.

Die Modellbasierte Prädiktive Regelung (engl. model predictiv control, MPC) wurde in den vergangenen Jahren als vielversprechender Ansatz für eine energieeffiziente Regelung von gebäudetechnischen Anlagen identifiziert. Hierbei wird die Gebäudedynamik über Simulationsmodelle sowie die Vorhersage externen und interner Einflussgrößen wie Witterungsverhältnisse oder Gebäudebelegung in den Regelungsalgorithmus integriert. Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse der Implementierung eines MPC-Reglers in einem Verwaltungsgebäude über die Dauer von insgesamt neun Monaten hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs und des thermischen Komforts dar.

Gebäudebeschreibung

Bei dem Demonstrationsgebäude handelt es sich um ein großes, energieeffizientes Verwaltungsgebäude in Hamburg (siehe Abbildung 1) mit einer Nettogrundfläche von 46 500 m² und etwa 1250 Büros, das mit hohen Anforderungen an den Primär- und Heizenergieverbrauch im Jahr 2013 fertiggestellt wurde.

Das Gebäude wurde in einem Intensivmonitoring im Rahmen der Forschungsinitiative Energieoptimiertes Bauen seit Beginn der Betriebsphase wissenschaftlich begleitet.

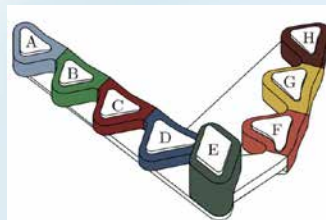


Abbildung 1: Äußeres Erscheinungsbild des Gebäudes und schematische Darstellung der Gebäudeabschnitte.

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt primär über Betonkernaktivierung, die als thermoaktive Decke (TAD) realisiert ist in Kombination mit erdreichgekoppelten Wärmepumpen.

Modellbasierte prädiktive Regelungsstrategie

In Abbildung 2 ist das grundlegende Funktionsschema des genutzten MPC-Reglers dargestellt. Der Kern des MPC-Reglers besteht aus der Optimierung einer Kostenfunktion und der Prädiktion des Titel: Ergebnisse der Implementierung Modellbasierter Prädiktiver Regelung in einem großen Verwaltungsgebäude zur Optimierung der Energieeffizienz und des Komforts dynamischen Systemverhaltens von Referenzzonen. Bei der Modellierung der Referenzzonen werden vereinfachte Grey-Box-Modelle auf Basis von Widerstands-Kapazitätsnetzwerken verwendet.

Ergebnisse der experimentellen Untersuchung

Die entwickelte MPC-Regelungsstrategie wird in das Gebäudeautomations-system integriert und die Performance im Hinblick auf den Heizenergieverbrauch und den thermischen Komfort in zwei Heizperioden mit der bisherigen herkömmlichen heizkurvenbasierten Steuerungsstrategie verglichen. Dabei übernimmt der MPC-Regler die Vorlauftemperaturregelung und die Pumpensteuerung der TADHeizkreise.

Im Vergleich zur heizkurvenbasierten Steuerungsstrategie kann in den Untersuchungszeiträumen im Mittel eine Einsparung an Heizenergie von 10 bis 30 % pro Monat messtechnisch nachgewiesen werden. Es zeigt sich, dass die Regler-Performance abhängig von den vorherrschenden Witterungsverhältnissen ist. In Übergangsmonaten wie April ist die MPC-Regelung überlegen und es können Heizenergieeinsparung von bis zu 75 % erreicht werden. Auch hinsichtlich des thermischen Komforts kann eine Verbesserung im Vergleich zu den vorangegangenen Betriebsjahren nachgewiesen werden. Der Anteil an Raumluftzuständen innerhalb der Kategorie I nach DIN EN 16798-1 wird durch die veränderte Regelungsstrategie deutlich gesteigert. Die Ermittlung des thermischen Komforts stützt sich dabei auf eine Vielzahl von Messungen der Raumluftzustände in über 70 Büros.

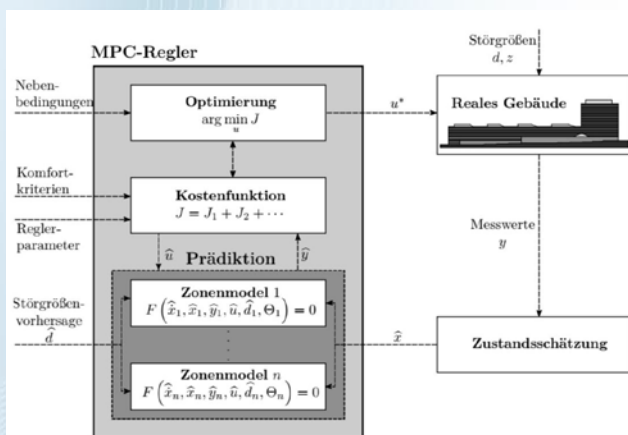


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Funktionsweise des MPC-Reglers.



Marc Baranski
Korrespondenzautor
Gerrit Bode
Felix Nienaber
Bruno Bruhn

Philip Grant
Henrik Ziegeldorf
Johannes Fütterer
alle: aedifion GmbH

Skalierbare Dekarbonisierung durch automatisierte Betriebsoptimierung – eine Auswertung von Fallstudien im Gebäudebestand

Eine der größten Herausforderungen in der Bewältigung der Klimakrise besteht in der Dekarbonisierung des großen und diversen Gebäudebestands. Eine Reduktion der Kohlenstoffdioxid-Emissionen kann mit minimalen finanziellen Investitionen über technische Maßnahmen wie der Verbesserung der Gebäudesteuerung und -regelung erreicht werden. Das Potential ist signifikant, da in jedem Bestandsgebäude einerseits Fehlfunktionen in der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) vorliegen können, andererseits das Verhalten von Gebäudenutzenden oftmals nur unzureichend in der Bestands-Gebäudeautomation Berücksichtigung gefunden hat. Die Herausforderung besteht in der Identifikation und Realisierung der Verbesserungspotenziale, im Folgenden Betriebsoptimierung genannt, bei möglichst geringem personellem Aufwand und möglichst wenigen Einschränkungen des laufenden Gebäudebetriebs.

In diesem Beitrag wird eine Methodik für die skalierbare Betriebsoptimierung vorgestellt und deren Effektivität anhand von realen Fallstudien nachgewiesen. Die Identifikation der Verbesserungspotenziale geschieht dabei durch eine vollständig automatisierte Analyse von Betriebsdaten aus der TGA. Diese Betriebsdaten werden hochauflösend aus der Bestands-Gebäudeautomation sowie ergänzend nachgerüsteten Funksensoren ausgelesen und in einer Cloud-Plattform gespeichert. Die Analysen zeigen einen nicht bedarfsgerechten Betrieb, das Vorliegen von gleichzeitigem Heizen und Kühlen sowie Potentiale zur Nutzung von Umweltenergie auf. Im nächsten Schritt folgt ein automatisierter Testprozess, bei dem die Anwendbarkeit von vorgefertigten modellprädiktiven Regelalgorithmen evaluiert wird. Es wird bestimmt, inwieweit diese Algorithmen die identifizierten Verbesserungspotentiale heben werden. Die Algorithmen, deren Effektivität nachgewiesen werden konnte, werden in der Cloud-Plattform in einem sogenannten Stream-Processing Framework aktiviert und senden in der Folge optimierte Sollwerte und Freigaben an die lokale Gebäudeautomation. Der Betrieb wird dauerhaft überwacht und die erzielte Performanz der Algorithmen evaluiert.

Die vorgestellten Fallstudien umfassen die vorausschauende Klimatisierung von Büroflächen, die bedarfsgerechte Einstellung von Luftvolumenströmen und die verbesserte Nutzung von Umweltenergie durch automatisierte Verschattungssteuerung. Alle Anwendungen sind in realen Bestandsgebäuden nachgerüstet und evaluiert worden. Die Fallstudien zeigen die wirtschaftliche Umsetzung von Datenaufnahme, Analyse und Regelalgorithmen sowie die realisierte Einsparung von Endenergie und CO₂-Emissionen bei gleichbleibendem thermischem Komfort und Luftqualität in den Flächen. Aus den Erkenntnissen der Fallstudien werden Handlungsempfehlungen für die Skalierung der Methodik auf den gesamten Gebäudebestand abgeleitet.

Wir danken für die finanzielle Unterstützung durch das BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Förderkennzeichen 03EN1014C, sowie unseren Projektpartnern vom Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen und der eurogard GmbH für die Zusammenarbeit.



Paul Seidel
wiss. Mitarbeiter / Projektleiter
TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergie-technik
und Wärmeversorgung

Martin Altenburger
TU Berlin

Joachim Seifert
TU Dresden / TU Berlin

Lutz Birnick
Yados GmbH

Miguel Gonzales
Vattenfall Wärme Berlin GmbH

Nico Klecka und Michael Dittel
Danfoss GmbH und Leaftech
GmbH

N5GEH: E³ - Entwicklung eines bidirektionalen multienergetischen Systemreglers für zukünftige Wärmenetze der 5. Generation

Im städtischen Kontext stellen hydraulische Netze zur Wärme- und Kälteversorgung eine erprobte Technologie dar, da sie mit zentralen energetischen Wandlungseinheiten ausgestattet sind. Die Einbindung von regenerativen Quellen in diese zentralen Systeme ist erstrebenswert, jedoch technisch anspruchsvoll. Ebenso existieren bei dem Ausbau von Photovoltaik (PV)-Systemen Hemmnisse in Bezug auf das elektrische Netz, obwohl im urbanen Raum ausreichend Dach- und theoretisch auch Fassadenflächen zur Verfügung stehen. Die Kombination beider Technologien und deren ganzheitliche Betrachtung stellt ein hohes Potential zur Ressourcenschonung sowie sektorenübergreifenden Energiebereitstellung und -nutzung dar.

Im Projekt N5GEH: E³ werden daher Anlagentechnik sowie digitale Lösungen entwickelt, welche es ermöglichen, einerseits mit einem lokalen Energiemanagementsystem mehr regenerative Energie zur Versorgung der Liegenschaft zu nutzen und andererseits ein multienergetisches System bestehend aus einem Wärmenetz der 5. Generation und vielen dezentralen Energiewandlungseinheiten zu etablieren. Das Wärmenetz dient hierbei als ein thermischer Ringspeicher innerhalb des urbanen Raums. Das System wird möglichst kompatibel zu verschiedenen Energiewandlungseinheiten aufgebaut und am Beispiel von drei Anwendungsfällen (dezentrale Erzeugungssysteme) untersucht, welche je nach Betriebsweise aus dem Wärmenetz Wärme beziehen oder in dieses einspeisen. Dies sind:

- 1.** bidirektionaler Netzübergabestation mit einem dezentralen Heizstab (im Pufferspeicher integriert) und einer PV-Anlage
- 2.** Wasser-Wasser-Wärmepumpe, welche das Wärmenetz als Wärmequelle nutzt, mit einer PV-Anlage
- 3.** bidirektionaler Netzübergabestation mit einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)/ Brennstoffzellen.

Der Fokus des Projektes liegt auf der Entwicklung des multienergetischen Systemreglers, welcher die unterschiedlichen Anlagentechnologien dezentral optimiert an-

steuern und gleichzeitig über eine definierte Schnittstelle mit dem angeschlossenen übergelagerten Wärmenetz interagieren kann. Um dies in geeigneter Weise umzusetzen, ist es notwendig gebäudeseitig ein möglichst allgemeingültiges Datenmodell zu erstellen, welches den Versorgungszustand sowie die energetischen Verbrauchs- und Erzeugungspotentiale aggregiert beinhaltet. Auf diese Weise wird die Möglichkeit geschaffen, dass die dezentralen Anlagen als Verbund gemeinsam die Systemversorgung ergänzen oder in Teilen vollständig übernehmen können. Hierbei ist anzumerken, dass im Rahmen des Projektes keine energetische und hydraulische Netzoptimierung durchgeführt wird. Es wird die IT-Architektur des ganzheitlichen Systems und die IT-Schnittstelle für diese Einbindung auf Basis des N5GEH-Standard entwickelt. Dies beinhaltet unterschiedliche Softwaremodule, welche für die unterschiedlichen Betriebsweisen benötigt werden. Die einzelnen Module können je nach Umsetzung in einer lokalen Steuereinheit oder in einer Cloud als Services angewendet werden. Inhaltlich adressiert werden die Erstellung einer thermischen und elektrischen Bedarfsprognose sowie einer Prognose der möglichen Bereitstellung elektrischer Energie aus PV und KWK sowie die Regelungsalgorithmen für verschiedene Betriebsweisen. Die Entwicklung des Systemreglers mit den zwei Varianten einer lokalen sowie einer Cloud-Steuerung wird durch Simulationen, einen HiL-Versuchsstand und einen abschließenden Feldtest begleitet.



Moritz Zuschlag
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik, RWTH Aachen
University

David Jansen
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik, RWTH Aachen University

Rita Streblow
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik, RWTH Aachen
University

Dirk Müller
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik, RWTH Aachen
University

Übertragbarer Modellansatz zur Abbildung von Energiewandlungsanlagen mit Fokus auf Skalierbarkeit und Parametrierungsaufwand

Die Energieversorgung von Gebäuden, Quartieren und Städten der Zukunft wird vielfältiger sein und primär von volatil verfügbaren Energieträgern wie Sonne und Wind abhängen. Um dieses volatile Angebot nutzbar zu machen, ist eine umfangreiche Regelung von Energiewandlungsanlagen und ein dazugehöriges Speichermanagement notwendig. Dies führt dazu, dass die angebotsgesteuerte Betriebsweise verstärkt bei der Auslegung von entsprechenden Anlagen berücksichtigt werden muss.

Zusätzlich zu der Betriebsweise steigert die zunehmende Angebotsvielfalt an Anlagen die Komplexität der Auslegung einer Energieversorgung. Um sowohl die Vielfalt an Anlagen als auch die angebotsgesteuerte Betriebsweise bei der Auslegung zu berücksichtigen, eignen sich Simulationen, anhand derer unterschiedliche Szenarien evaluiert werden können. Die dafür benötigten Modelle müssen in der Lage sein, das Verhalten unterschiedlich ausgelegter Anlagen und der Regelung ausreichend abzubilden. Somit rückt die Skalierbarkeit eines Modells (z.B. der nominellen Leistung) mit in den Fokus der Modellierung. Dabei muss der Gesamtaufwand für Modellierung, Parametrierung und Simulation jedoch weiterhin berücksichtigt werden, da diese den Aufwand einer Parameterevaluation oder einer Optimierung beeinflussen. Gray-Box Modelle sind ein möglicher Lösungsansatz. Diese verwenden mitunter Kennfelder, um Zusammenhänge vereinfacht abzubilden.

Dabei soll die Genauigkeit des Modells nicht beeinflusst werden, jedoch der Simulationsaufwand reduziert werden. Die Kennfelder können entweder auf umfangreichen empirischen Daten, die meistens anlagenspezifisch sind, oder auf Herstellerangaben basieren. Beide Ansätze sind nur eingeschränkt skalierbar und stellen eine Herausforderung an die Parametrierbarkeit bzw. die dazugehörige Datenverfügbarkeit. Eine skalierbare und extrapolierbare Alternative stellt hingegen ein modellbasierter Ansatz dar, welcher das Verhalten einer speziellen Technologie und nicht einer speziellen Anlage abbildet. Für ein modellbasiertes Kennfeld müssen entsprechend

des zu modellierenden Verhaltens charakteristische Größen, deren Einflüsse und physikalische Vereinfachungen identifiziert werden. Dazu wird in diesem Vortrag eine Methode vorgestellt, die auf unterschiedliche Energiewandlungsanlagen übertragbar ist. Mit dieser Methode zur Kennfelderstellung können Kennfelder generiert werden, die für einen skalierbaren Gray-Box-Modellansatz geeignet sind, und die dazu beitragen, die Parametrierung des Modells auf ein Minimum zu reduzieren. Die Methode baut auf den Inhalten öffentlich zugänglicher Datenblätter auf und kombiniert diese mit vereinfachten physikalischen quasistationären Gleichungen und Annahmen. Je nach Modellansatz ist eine Kalibrierung notwendig, für die entweder auf Herstellerdaten oder auf Messwerte zurückgegriffen werden muss. Ein erfolgreich kalibriertes Modell wird zur Bildung eines Kennfeldes verwendet, welches im Anschluss validiert werden muss. Das quasistationäre Kennfeld bildet den Kern des dynamischen Gray-Box-Modells. Zur Abbildung eines dynamischen Einflusses beinhaltet dieses Modell noch dynamische Untermodelle zur Beschreibung der Anlagenkomponenten.



Verena Dannapfel
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl
für Gebäude- und Raumklimatechnik

Gonzalo Parra Alvarez
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl
für Gebäude- und Raumklimatechnik

Thomas Schreiber
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl
für Gebäude- und Raumklimatechnik

Dirk Müller
RWTH Aachen University, E.ON
Energieforschungszentrum, Lehrstuhl
für Gebäude- und Raumklimatechnik

Die SUSTAIN 2 Cloud of Clouds – Datentransparenz schafft Betriebsverbesserungen in einem kommunalen Liegenschaftsportfolio

Daten sind die Grundlage, um Störungen im Betrieb zu erkennen und energetische Optimierungen durchzuführen. Besonders in der aktuellen Marktsituation, die sich durch hohe Energiepreise bei gleichzeitigen Lieferengpässen und fehlenden Handwerkerkapazitäten auszeichnet, bieten Anpassungen in der Regelung eine attraktive Möglichkeit, kurzfristig die Effizienz zu steigern.

Im Projekt SUSTAIN 2 hat ein Team der RWTH Aachen für die Stadt Bottrop eine übergeordnete cloudbasierte Lösung entwickelt, die erfolgreich heterogene Bestandsdaten und zusätzlich aufgenommene Sensorik-Daten integriert. Diese technische Lösung ermöglicht es der Stadt Bottrop erstmals, über ein gemeinsames Portal 25 Gebäude mit aktuellen und historischen Daten der verschiedenen Anlagen sowie exemplarischen Raumklimadaten zu überwachen. Die Gebäude haben unterschiedliche Nutzungen, Baualtersklassen und technische Voraussetzungen. Es befinden sich Schulen, Sporthallen, Schwimmbäder, Technikzentralen und Bürogebäude darunter, die mit diverser Anlagentechnik, sowie Daten- und Kommunikationsinfrastrukturen ausgestattet sind. Bei der Plattform-Architektur wurde konsequent auf open source Technologien gesetzt.

Im Zuge des Projekts unterstützen die Projektpartner E.ON Energy Solutions, Emcher-Lippe-Energieversorgung und RWTH Aachen die Stadt Bottrop durch die Digitalisierung der ihnen zugeordneten Objekte und in der Auswertung der vorliegenden Daten. Hierbei kommen unterschiedliche proprietäre Dateninfrastrukturen zum Einsatz, die zugleich erprobt und miteinander verglichen werden können. In der übergeordnete SUSTAIN 2 Cloud of Clouds werden die Datenströme der verschiedenen Plattform-Adapter zusammengeführt. Hierauf aufbauend können auf Dashboards Zeitreihen und Live-Daten als Diagramme mit dazugehörigen Anlagenschemata abgebildet werden.

Zur Betriebsoptimierung werden zwei verschiedene Strategien umgesetzt. In der direkten Betreiber-Interaktion versendet das System Alarme bei Störungen und Sollwert-Verletzungen gemäß der vorher festgelegten Randbedingungen und Kommunikationsstrukturen. Auf Grundlage von Key Performance Indikatoren, Anomalie-Detektionen und Simulationen werden Maßnahmen empfohlen und priorisiert. Alternativ zu dieser Vorgehensweise kann in anderen Objekten eine direkte Anlagensteuerung über Fernzugriff umgesetzt werden (vgl. Abbildung 1).

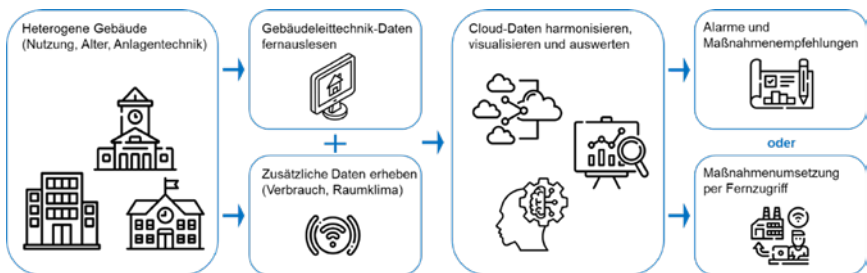


Abbildung 1: SUSTAIN 2 Datenerhebung und -verwendung

Sämtliche angewendete Technologien und Methoden werden zum Projektende in einem Leitfaden diskutiert und für verschiedene Anwendungsfälle bewertet. Ziel ist es, Kommunen neben den entwickelten technischen Lösungen Maßnahmenempfehlungen für den Digitalisierungsprozess ihrer Gebäude an die Hand zu geben. Zudem werden Wirtschaftlichkeitsanalysen durchgeführt, die den zusätzlichen Initialisierungsaufwand für Hardware-Installationen und Software-Lösung gegenüber deren Nutzen in den Bereichen Energieeffizienz und Komfort in Bezug setzen.

Unsere Erfahrungen zeigen, dass durch eine konsequente Digitalisierung große Potenziale für die Verbesserung des Gebäudebetriebs erzielt werden können. Open source Plattformen, wie die hier entwickelte, erlauben Kommunen eine Vorreiterrolle in der Wärmewende einzunehmen.



David Jansen



Pooyan Jahangiri

David Jansen

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
RWTH Aachen University, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Pooyan Jahangiri

Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG

Dominik Hering

RWTH Aachen University, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Dirk Müller

RWTH Aachen University, E.ON Energieforschungszentrum,
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Bruno Lüdemann

Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG

Herausforderungen & Lösungsansätze zur Verwendung von BIM als Datenquelle zur Simulation von Technischer Gebäudeausrüstung

Mit dem Building Information Modeling (BIM) werden Datenmodelle erstellt, mit denen Bauobjekte effizient geplant, analysiert, gebaut und betrieben werden können. BIM soll Gebäude über den gesamten Lebenszyklus begleiten und eine Kommunikation der Gewerke ermöglichen. Damit BIM funktioniert, muss auch auf technischer Seite ein verlustfreier Datenaustausch zwischen den verwendeten Softwaretools der einzelnen Gewerke garantiert werden. Für diesen Austausch wurde das offene Datenformat IFC aufgebaut. BIM-Modellen bieten eine vielversprechende Basis zur Generierung von Simulationsmodellen zur Analyse und Optimierung von Gebäuden. Bei kontinuierlicher Aktualisierung des BIM-Modells bleibt das Simulationsmodell stets aktuell und kann in allen Lebensphasen des Gebäudes genutzt werden. Eine Automatisierung der Modellerstellung ermöglicht eine schnelle und gleichzeitig detailgetreue Analyse in den Bereichen der Gebäude- und Anlagensimulation. So können bspw. dynamische Bedarfsberechnungen des Gebäudes zur Dimensionierung der Anlagentechnik, sowie Funktionsprüfungen oder Entrauchungssimulationen durchgeführt werden.

Damit dies möglich ist, muss die Vollständigkeit der Parameter gewährleistet sein. Die Praxis zeigt, dass dies aktuell aus unterschiedlichen Gründen nur selten der Fall ist.

Unvollständig parametrisierte Komponentenmodelle der Hersteller

BIM Modelle der technischen Komponenten werden in aktuellen Planungsprozessen primär zur Visualisierung und Kollisionsüberprüfung erstellt. Folglich stellen

die meisten Komponentenhersteller nur Geometriedaten ohne semantische Daten bereit.

Nicht Abbildbarkeiten von Parametern im IFC und verlustbehafteter Im- und Export in Softwaretools

Das Datenformat und das zum Export verwendete Softwaretool müssen die Parameter abbilden können und das Softwaretool den Export und/oder Import korrekt durchführen, sowie alle vorhandenen Informationen in das Datenaustauschformat spiegeln. Aktuell werden in den gängigen Softwaretools viele Elemente, welche nicht die Bauphysik betreffen, als Proxys exportiert und sind daher nicht oder nur mit hohem Aufwand für die automatisierte Modellerstellung geeignet.

Nicht vollständige Dateneingabe bei der Planung

Alle Bauteile inklusive der dazugehörigen Parameter müssen während der Planung im BIM-Modell eingetragen und bei Bedarf während der Bauphase bzw. im Betrieb aktualisiert werden. Dieser Aufwand geht über die üblichen vereinbarten Leistungen hinaus. Daher ist eine umfassende Definition der dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation als Anwendungsfall und der dafür erforderlichen Parameter im Rahmen der AIA erforderlich.

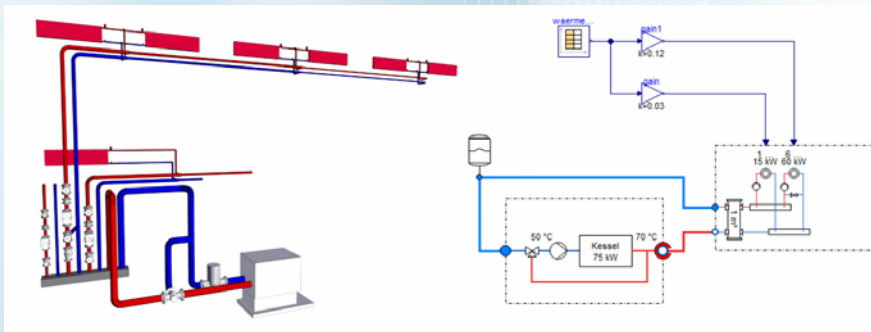


Abbildung 1: IFC-Modell (links) und Simulationsmodell in Modelica (rechts) eines einfachen Heizkreises

Durch die Entwicklung des Open Source Tools bim2sim1 zur automatisierten Modellerstellung wird der Prozess der Simulation beschleunigt und weniger fehleranfällig. Dadurch können bestehende Hemmnisse zum frühzeitigen Einsatz von Simulationen in der Planung abgebaut und mögliche Fehler in der Auslegung erkannt werden. Beispielhaft ist in Abbildung 1 das automatisch erstellte Simulationsmodell auf Basis eines IFC-Modells dargestellt. Zusätzlich



Falk Cudok
wissenschaftlicher Mitarbeiter
TU Berlin

Felix Rehmann
TU Berlin

Rita Streblow
TU Berlin / Einstein Center Digital
Future

BIM im Gebäudebestand – Energiewendebauen

Das Building Information Modeling (BIM) ist eine Methode, die unter Verwendung von digitalen Modellen (CAD und alphanumerischen Parametern) und daran gekoppelten digitalen Werkzeugen (bspw. automatische Kollisionsprüfer, hydraulische Rohrströmungssimulation) die Zusammenarbeit der verschiedenen an der Baumaßnahme beteiligten Stakeholder (unterschiedliche Rollen und Fachdisziplin) strukturiert. Dabei ist es das Ziel die steigenden Anforderungen an Gebäude und damit die steigende Komplexität handhabbar zu machen. Bisher wird die BIM-Methode hauptsächlich im Neubau angewandt. Allerdings gehört die Sanierung der Bestandsgebäude zu den zentralen Herausforderungen, um Klimaneutralität zu erreichen. Dieser Beitrag gibt eine Übersicht über Herausforderungen zu BIM in der Bestandssanierung und zeigt Einflusskriterien auf die erfolgreiche Einführung und Förderung der Methode.

Eine Literaturrecherche zu BIM in der Gebäudebestandssanierung hat gezeigt, dass sehr wenig Literatur zu diesem Thema vorhanden ist. Deshalb hat die wissenschaftliche Begleitforschung zur Forschungsinitiative Energiewendebauen den Workshop „BIM im Gebäudebestand - Herausforderungen in der Sanierung“ am 19.09.2022 mit Vertretenden aus der Forschung, sowie der Industrie und von Behörden durchgeführt.

Dabei wurde unter anderem in Vorträgen beispielhaft gezeigt, dass die Anwendung der BIM-Methode in der Sanierung von Bestandsgebäuden mit einer guten Bestandsaufnahme ökonomisch abbildbar ist. Neben den Vorträgen wurden folgende Thesen unter den Teilnehmenden diskutiert und bewertet.

1. Mit Hilfe der BIM-Methode können Sanierungsaufgaben effizienter durchgeführt werden.
2. BIM im Bestand ist nicht Stand der Praxis.
3. Die Anwendung der BIM-Methode beim Bauen im Bestand ist wichtiger als im Neubau.
4. Standardisierte Sanierungsprozesse sind möglich.

5. Maschinelles Lernen (ML) und Künstliche Intelligenz (KI) sind wichtige Technologien für das automatisierte Erstellen von BIM-Modellen.
6. Informationsbeschaffung für die Erstellung eines BIM-Modelles ist für fast alle Gebäude ohne mechanische Eingriffe (zerstörungsfreie Prüfung) möglich.

Wie in der Abbildung 1 dargestellt, haben die Teilnehmenden die Thesen eins, zwei, vier, fünf und sechs relativ eindeutig bewertet (Zustimmung bzw. Ablehnung > 75%). Bei der dritten These zeigte sich ein differenzierteres Meinungsbild.

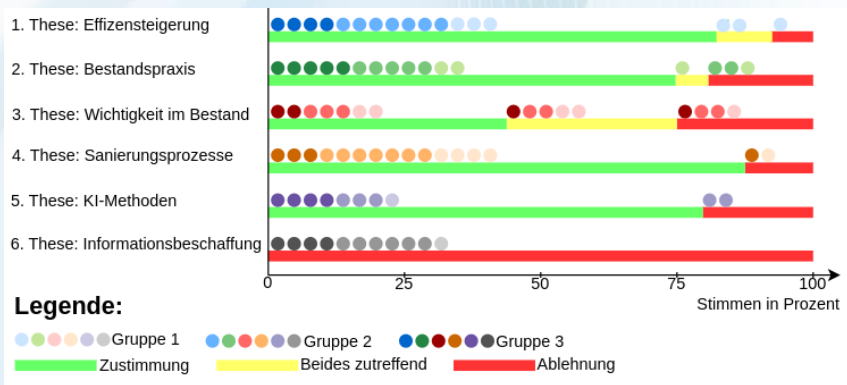


Abbildung 1: Gegenüberstellung der quantitativen Ergebnisse der Thesendiskussion

In dem Beitrag werden im Rahmen der Thesendiskussion unter anderem der aktuelle Stand der Anwendung der BIM-Methode in der Gebäudesanierung vorgestellt und Empfehlungen zur Umsetzung der BIM-Methode in der Gebäudesanierung abgeleitet. Dabei ist die Bestandsaufnahme ein Schwerpunkt, welcher eine hohe Relevanz für die Anwendung der BIM-Methode hat und in der Praxis eine Herausforderung darstellt.

Wir danken für die finanzielle Unterstützung durch das BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz), Förderkennzeichen 03EWB004A.



Raphael Walter
Drees & Sommer SE



Marc Mühlen
Drees & Sommer SE



Thomas Schild
Drees & Sommer SE



Thomas Storek
Drees & Sommer SE

Forschungsvorhaben N5GEH-Booster

Neben der energetischen Sanierung von Bestandsgebäuden kann der CO₂-Fußabdruck von Immobilien durch eine kontinuierliche, ganzheitliche und systemübergreifende Optimierung der gebäudetechnischen Anlagen weiter reduziert werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts BOOSTER („IoT-Based Operational Optimization for SusTainable EneRgy systems“) soll dies anhand der Entwicklung von marktauglichen IoT-Diensten zur Betriebsoptimierung demonstriert werden.

Über den Einsatz von Funktechnik und IoT werden die physischen Komponenten wie Sensorik und Aktorik, als virtuelle Objekte in eine zentrale IoT-Plattform eingebunden und gekoppelt. Dies ermöglicht die flexible Integration von IoT-Diensten sowie Methoden aus dem Bereich Data-Science und maschinellen Lernens zur Optimierung des Anlagenbetriebs, auch im Bestand.

Als Forschungsobjekt dient ein Gebäude des Neckarspinnerei-Quartiers (nahe Stuttgart), das in Zuge von Sanierungsmaßnahmen energetisch optimiert wird. Zunächst wird der Demonstrator datenseitig mittels Funktechnik erschlossen, die bidirektionale Kommunikation sowie die langfristige Datenspeicherung in der Cloud realisiert. Hierfür wird im Projekt die herstellernerneutrale N5GEH-Plattform verwendet und die Netzwerktopologie anhand des Gebäudes veranschaulicht. Als beispielhafter IoT-Dienst zur Betriebsoptimierung wird eine Modellprädiktive Regelung (MPR) von Heizkörperthermostatventilen umgesetzt.

Die MPR von Gebäudeenergiesystemen ist seit mehreren Jahren im Fokus der Forschung und das Einsparungspotenzial experimentell nachgewiesen. Eine breite Übertragung der Forschungsergebnisse auf die Praxis hat bisher jedoch noch nicht stattgefunden. Die praktische Implementierung ist derzeit noch mit Hemmnissen, hohen Kosten und Aufwand verbunden. Dies ist unter anderem auf die Fragmentierung und mangelhafte Interoperabilität diverser herstellerabhängiger Protokolle und Geräte zurückzuführen. Im Projekt wird eine modulare MPR basierend auf einem

R-C-Modell aufgebaut, welches anhand eines Beispielraums parametrisiert wird. Im Vergleich zu einer Referenzregelung wurde zunächst simulativ eine mittlere energetische Einsparung von 8 % bei einer gleichzeitigen Steigerung des Nutzerkomforts erreicht. Der Dienst wird im Projekt mit dem realen Gebäude gekoppelt, um die Ergebnisse der Vorstudie zu verifizieren.

Langfristig soll durch das BOOSTER-Projekt die Marktreife von herstellernerutralen IoT-Plattformen gezeigt werden, über die skalierbare IoT-Dienste angeboten werden können. Die vorgestellten IoT-Dienste bilden die Basis zur Quantifizierung von energetischen Einsparungen und Reduktion der CO₂-Emissionen von Immobilien. Die Demonstration am Bestandsgebäude dient der ökonomischen Nutzenevaluierung und der Identifikation erforderlicher Hard- und Softwareausrüstungen. Zudem wird das Ziel verfolgt, die aktuell vorhandenen Barrieren bei der Implementierung abzubauen, indem standardisierte Lösungen definiert und Best-Practice Beispiele zur Steigerung der Sichtbarkeit der technischen Lösung geschaffen werden. IoT-Dienste müssen zukünftig bereits bei der Planung der verschiedenen Gewerke berücksichtigt werden. Die Verwendung einer herstellernerutralen IoT-Plattform kann den Implementierungsprozess erleichtern, wodurch Potenziale beim Betrieb von Gebäuden in Hinblick auf den Klimaschutz ausgeschöpft werden können.

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Förderkennzeichen 03EN1058A-B).



Ralf Wagner
Technikvorstand (CTO)
LTG Aktiengesellschaft

5D-Systemkarte: Einsatzgrenzen von Klimasystemen und deren Bewertung hinsichtlich Gesamtkosten und Primärenergiebedarf

Eine raumluftechnische Lösung zur Klimatisierung einer Nutzungszone besteht aus Komponenten, die die Funktionen Be- und Entlüften, Heizen und Kühlen übernehmen. Die Kombinationen der einzelnen Teilsysteme wie Fensterlüftung, zentrale Lüftung, dezentrale Lüftung, Betonkernaktivierung, Kühldecken, Fancoils und Induktionssysteme, VVS-Anlagen und CVS-Anlagen etc. sind so vielfältig wie der Aufstellungsort im Raum und die damit verbundenen Sekundärkosten. Die Summe der am Markt verfügbaren Systemlösungen liegt im dreistelligen Bereich. Ein Vergleich der Systeme ist nur dann sinnvoll, wenn die Randparameter des jeweiligen Systems bei der individuellen Auslegung vergleichbar sind, d.h. bei gleicher Raumgröße, gleicher maximaler Raumkühl- und Heizleistung, Luftqualität und akustischer Qualität im Raum.

Es wurde gezeigt, dass es möglich ist, die individuelle Systemoptimierung mit künstlicher Intelligenz unter Verwendung der Schwarmoptimierung (PSO) hinsichtlich Total Cost of Ownership (TCO) und Primärenergiebedarf zu automatisieren. Dabei werden typische Systemkosten für Technikzentralen, Kanalnetz, Vertikalschächte, Geschosshöhen, Medienleitungen, Nutzflächengewinne und -verluste etc. ebenso berücksichtigt wie Wartungs- und Instandhaltungskosten aller Komponenten... wobei jedes System im individuellen Optimum ausgelegt wird. Grundlage jeder Optimierung sind reale Produkte.

Die Analyse von 567.000 Einzelsystemoptimierungen kann nun in der Weise erfolgen, dass für einen projektspezifischen Satz von Randparametern alle Systeme hinsichtlich TCO und Primärenergiebedarf optimiert werden und ein Ranking und Vergleich der für diesen speziellen Auslegungsfall anwendbaren Systeme erfolgt. Die hier vorgestellte systemspezifische Analyse betrachtet dagegen ein einzelnes typisches Klimasystem unter 5400 möglichen Randparametern.

Das Ergebnis ist eine 5-dimensionale Karte der möglichen Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen für jedes Klimasystem, aufgelöst nach erforderlicher Heizleistung im

Raum, Kühlleistung im Raum, Schalldruckpegel im Raum, Raumluftqualität (IAQ) und Raumgröße. Wenn eine technische Lösung möglich ist, wird dieses System anhand der Rangfolge aller verfügbaren alternativen Systeme bewertet.

Anhand von drei Systembeispielen soll gezeigt werden, dass diese Darstellung geeignet ist, die physikalischen Einsatzgrenzen gängiger Systeme zu visualisieren und den idealen wirtschaftlichen Betriebs- und Einsatzbereich zu finden. Aus dem Diagramm kann die Kostensteigerung bei Anpassung der Raumanforderungen in allen oben genannten 5 Dimensionen sowie der direkte Einfluss auf den Primärenergiebedarf direkt abgelesen werden.

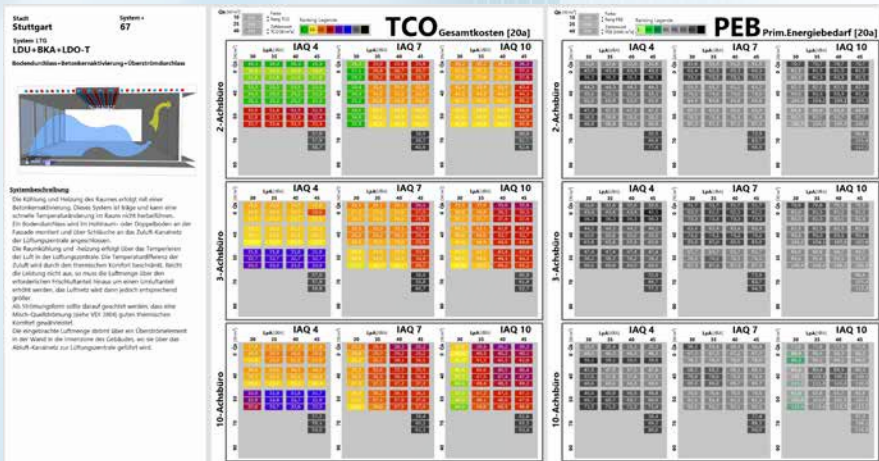


Bild: Beispiel für ein Klimasystem bestehend aus Bodenluftdurchlässen mit zentraler Anbindung zzgl Betonkernaktivierung als Sekundärheiz- und Kühlsystem, sowie Überströmdurchlässen in der Wand für Abluftabsaugung in der Kernzone



Alexander Neubauer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut

Heizleistungsprognosen mit Hilfe von neuronalen Netzen

Durch die Verwendung von stündlichen Heizleistungsprognosen können Wärmeerzeuger effizienter geregelt werden und Flexibilisierungspotentiale bezüglich einer Lastverschiebung realisiert werden. Die steigende Elektrifizierung des Wärmesektors und die größtenteils fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung bieten die Möglichkeit Stromüberschüsse in thermische Energie umzuwandeln und anschließend zeitlich versetzt als Raumwärme abzugeben. Für diese Lastverschiebung ist eine präzise Bedarfsprognose notwendig. Diese kann mit Hilfe einer Modellierung des Gebäudes erfolgen, für diese müssen jedoch die bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes bekannt sein oder eine Parameteridentifikation durchgeführt werden. Neuronale Netze können die Abhängigkeit zwischen den Einflussgrößen wie z.B. den Wetterbedingungen und der Zielgröße in Form der Heizlast erlernen. Durch diesen Black-Box-Ansatz sind gebäudespezifische Parameter nicht zwangsläufig notwendig.

Die verbesserten Rechenkapazitäten und steigende Anzahl an Messdatenpunkten erhöht den Einsatz von datengetriebenen Prognosemodellen wie den neuronalen Netzen. In der Trainingsphase wird mit Hilfe von Trainingsdaten das neuronale Netz trainiert und anschließend an Testdaten bzw. im laufenden Betrieb getestet und betrieben. Ein wichtiger Punkt für die Anwendbarkeit von neuronalen Netzen zur Heizlastprognose ist die Dateneffizienz der Methode. So sollen mit möglichst wenig Trainingsdaten eine möglichst gute Prognosegüte erzielt werden.

Zur Durchführung der Heizlastprognose wurden Long short-term memory (LSTM) Netze verwendet. Im Vergleich zu feed-forward Netzen besitzen die LSTMs eine Rückkopplung und weisen damit eine Art „Gedächtnis“ auf. Diese Eigenschaft ist für die Anwendung von Zeitreihenprognosen – wie der Heizlastprognose – ein großer Vorteil, da die thermische Speichermasse des Gebäudes besser berücksichtigt wird und wiederkehrende Muster, wie z.B. die Belegung des Gebäudes besser abgebildet werden können. Für die Heizlastprognose werden verschiedene Eingangsgrößen wie z.B. die Außentemperatur, Solarstrahlung, interne Gewinne verwendet. Der Einfluss der einzelnen Eingangsgrößen unterscheidet sich dabei jedoch stark von den bauphysikalischen Eigenschaften und der Nutzung des Gebäudetyps. Diese

große Varianz an Randbedingungen werden bei vielen Studien zur Heizlastprognose nicht berücksichtigt. Zur Bestimmung des Einflusses der Eingangsgrößen wird deren Wichtigkeit, die feature importance bestimmt.

Im Umfang der durchgeführten Untersuchungen wurden Heizlastprognosen für verschiedene Gebäudetypen mit Hilfe von LSTMs durchgeführt und geeignete Konfigurationen für die neuronalen Netze definiert. Des Weiteren wurde die Wichtigkeit der einzelnen Eingangsgrößen in Abhängigkeit der Gebäudeeigenschaften definiert. Dieser Zusammenhang wurden bestimmt und quantifiziert.



Dorothea Völkerling
Datenanalystin
TROX GmbH

Fehlererkennung und -diagnose für RLT-Geräte mit maschinellem Lernen und schwellwertbasierten Methoden

Die hier vorgestellten Methoden der Fehlererkennung und -diagnose (FED) werden im Rahmen des Forschungsprojektes LuftKonVerTeR in der F&E der TROX GmbH entwickelt und evaluiert.

Überwachung der Regelqualität

Bei diesem intuitiven Vorgehen wird ein Akzeptanzband für die Regelabweichung vorgegeben. Für einen betrachteten Zeitraum wird die Höhe der maximalen Über- und Unterschwingung (außerhalb einer erwünschten Einschwingzeit) ermittelt sowie das Integral über die mittlere positive und negative Abweichung der Regelgröße vom Akzeptanzband (siehe Abbildung 1). Dies erlaubt eine Einschätzung der Ausprägung und Art der Regelabweichung.

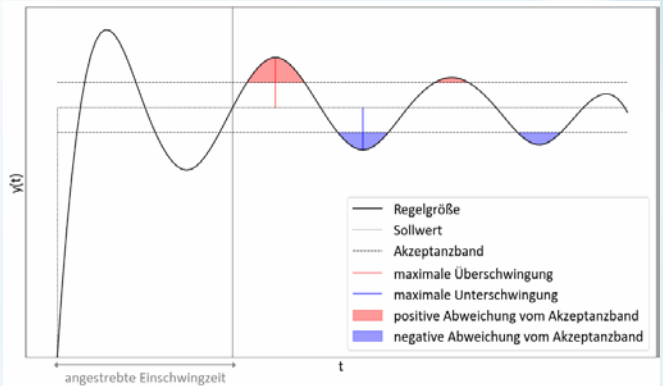


Abbildung 1: Gütekriterien der Regelung

Schwellwertbasierte Fehlererkennung

Einige Fehler äußern sich durch starke Schwankungen oder große Ausreißer der Variablen und lassen sich mit Hilfe statistischer Größen wie dem Absolutwert des Differenzenquotienten oder der lokalen Standardabweichung finden. Anschließend wird für die jeweilige Größe der relative Fehler bezüglich des Schwellwertes (einer oberen Grenze), berechnet. Wo das jeweilige statistische Merkmal den Schwellwert unterschreitet, ist der Fehler Null. Die Schwellwerte werden anhand von Referenzdaten festgelegt, die einen fehlerfreien Betrieb repräsentieren. Für jedes Merkmal wird definiert als das Maximum der statistischen Größe multipliziert mit einem Faktor $a > 1$,

welcher den Schwellwert anhebt, um falsch positive Ergebnisse zu vermeiden. Anschließend erfolgt eine Glättung. Im Test konnten zwei von drei Fehlern zuverlässig durch eine schwellwertbasierte Methode gefunden werden. Für den dritten Fehler konnten nur extreme Ausprägungen detektiert werden.

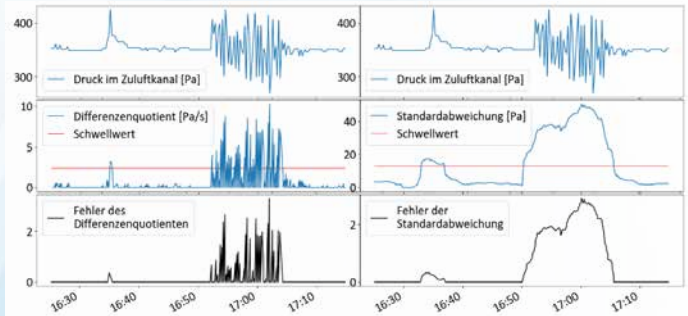
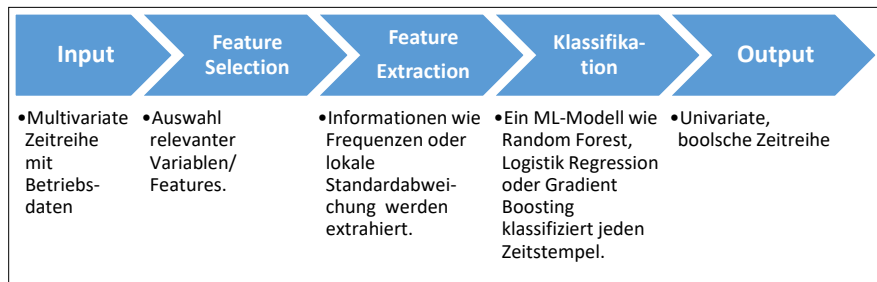


Abbildung 2: Schwellwertbasierte Fehlererkennung am Beispiel von schwingendem Kanaldruck

FED mit Hilfe maschinellen Lernens

Um Methoden des maschinellen Lernens zu testen, wurden verschiedene Fehler ausgewählt (F1 bis F5). Die Entwicklung der Methode erfolgt in drei Schritten: Die Daten der Fehler werden für jeden Zeitstempel als fehlerhaft (True) oder fehlerfrei (False) gelabelt.

Es wird ein Hypertuning von Algorithmus 1 durchgeführt. In diesem Schritt werden die Parameter der Feature Extraktion und die Hyperparameter der Klassifikatoren mit Hilfe von Kreuzvalidierung optimiert. Dazu werden Trainingsdaten verwendet. Die optimierte Version von Algorithmus 1 wird mit Hilfe von Testdaten und gängigen Performance-Metriken validiert (siehe Tabelle 1).



Algorithmus 1: Fehlererkennung aus Schritt 2 und 3.

Fehler	Spezifität	Sensitivität	Anteil in %	Feature Extraction	Klassifikator
F1	0.93	0.93	26.7	Frequenzanalyse	RF
F2	0.96	0.91	22.0	Frequenzanalyse	RF
F3	0.99	0.92	7.8	lokale Standardabweichung	RF
F4	0.99	0.62	1.9	Dynamic Time Warping	GB
F5	0.99	0.44	1.1	Frequenzanalyse	LReg

Tabelle 1: Performance-Metriken zu Schritt 3



Christian Karczewski
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Gebäudeenergetik, Thermo-
technik und Energiespeicherung (IGTE),
Universität Stuttgart

Tobias Henzler
Institut für Gebäudeenergetik, Thermo-
technik und Energiespeicherung (IGTE),
Universität Stuttgart

Konstantinos Stergiaropoulos
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE), Universität
Stuttgart

Direktes Lastmanagement energieflexibler Gebäude durch den Einsatz von Zustandsbeobachtern

Der Ausbau dargebotsabhängiger erneuerbarer Stromerzeuger mit fluktuierender Einspeisung und die gleichzeitige Elektrifizierung des Verkehrs- und Wärmesektors sind eine Herausforderung für das Energiesystem. Für die zukünftige Stabilität des Stromnetzes ist ein Lastmanagement notwendig, bei dem die verbraucherseitige Flexibilität dahingehend ausgenutzt wird, dass die Leistungsaufnahme an die Erzeugungskapazitäten angepasst wird. In einem energieflexiblen Gebäude kann die Leistungsaufnahme der Wärme- und Kälteerzeuger in günstigen Zeiten erhöht werden, um das Gebäude gezielt stärker zu erwärmen oder abzukühlen als im Sollzustand notwendig. Die in der Gebäudemasse gespeicherte thermische Energie kann anschließend genutzt werden, um den Energiebedarf für Heizen oder Kühlen in ungünstigen Zeiten zu senken.

Für den Bilanzkreisverantwortlichen ist die Kenntnis der Reaktion seines Bilanzkreises auf den zeitlichen Verlauf des Preissignals von essentieller Bedeutung, um ein Preissignal auszugestalten, das an die Gebäudebetreiber übergeben wird. Auf der Gebäudeseite erscheinen prädiktive Regelstrategien als vielversprechende Option für einen flexiblen, am Strompreis ausgerichteten Betrieb der Anlagentechnik. Jedoch ist das Lastverhalten eines energieflexiblen Gebäudes mit prädiktiver Regelung schwer vorherzusagen und stellt somit eine netzseitige Hürde für deren Einbindung in das Stromnetz dar. Gleichzeitig führt der flexible Betrieb zu einem Mehraufwand gegenüber dem bedarfsgeführten Betrieb, was eine verbraucherseitige Hürde darstellt.

In dem vorliegenden Beitrag wird ein Betriebskonzept für ein energieflexibles Gebäude mit direktem Lastmanagement beschrieben und simulativ untersucht. Das Betriebskonzept zeichnet sich dadurch aus, dass die Leistungsaufnahme der Anlagentechnik in einen bedarfsdeckenden und einen flexiblen Teil zerlegt wird. Der flexible Teil der

Last ermöglicht den direkten Lastmanagementeingriff durch den Bilanzkreisverantwortlichen. Der direkte Eingriff bietet den Vorteil, dass kein Preissignal ausgestaltet werden muss, hat jedoch eine nicht messbare Veränderung der Raumlufttemperatur zur Folge. Mittels eines Zustandsbeobachters sowie eines mathematischen Modells des Gebäudes wird die Temperaturänderung geschätzt, die aus dem Lastmanagementeingriff resultiert. Durch Berücksichtigung dieser Temperaturänderung in der Regelung der Raumlufttemperatur ist es möglich, den bedarfsdeckenden Anteil der Leistungsaufnahme durch die Anlagentechnik zu bestimmen.

Anhand von Simulationsstudien wird ein Lastmanagementszenario untersucht, bei dem die Raumlufttemperatur zu günstigen Zeiten erhöht wird, wodurch ein energetischer Mehraufwand von rund 20 % entsteht. Es zeigt sich, dass der bedarfsdeckende Energieaufwand trotz unvermeidbarer Modellabweichungen rekonstruiert werden kann. Anhand dieses rekonstruierten Energieaufwands wird die aus dem Lastmanagement folgende Reduktion der Leistungsaufnahme ermittelt. Die Untersuchungen zeigen, dass rund die Hälfte des Mehraufwands zur Senkung des Energiebezugs in ungünstigen Zeiten genutzt werden kann. Auf diese Weise wird trotz des insgesamt höheren Energieaufwands des Gebäudes, eine Reduktion der Stromkosten im Bilanzkreis erzielt. In Zukunft

könnte der aus dem flexiblen Betrieb resultierende Mehraufwand beispielsweise durch den sonst abgeregelten Überschussstrom von erneuerbaren Erzeugern gedeckt werden.



Sebastian Dietz
Doktorand
University of Luxembourg

Nicolas Réhault
Fraunhofer ISE

Frank Scholzen
University of Luxembourg

Anwendung einer Kombination von KI-Methoden für die automatische Fehlererkennung und -diagnose an raumlufttechnischen Anlagen

Trotz intensiver Forschung werden heute automatische Fehlererkennungs- und Diagnosemethoden (FED) für Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK) in der Praxis nur selten eingesetzt. Jedoch können solche Verfahren die Zusammenhänge in Messdaten automatisiert interpretieren und Prozesse, wie das Technische Monitoring, effizient unterstützen. Die größten Hindernisse bei der Anwendung in realen Gebäuden sind die individuelle Parametrisierung, der Modellierungsaufwand für die Einrichtung des FED-Prozesses sowie die Sicherstellung der Performance des FED-Prozesses hinsichtlich Genauigkeit, Robustheit, Anpassungsfähigkeit und Erkennung von unbekanntem Fehlern. Obwohl viele FED-Verfahren entwickelt worden sind, gibt es bisher kein Ansatz, der auf einer einzelnen Methode basiert und die Anforderungen erfüllt.

Die Kombination von KI-Methoden, die einerseits auf Experten-Regeln und andererseits auf maschinellen Lernverfahren (ML) basieren, ist ein vielversprechender Ansatz, um sowohl den Modellierungsaufwand zu reduzieren als auch die Güte der FED zu steigern. In dieser Arbeit wird ein residualgenerierender Prozess verfolgt, indem ML-Modelle das fehlerfreie Betriebsverhalten anhand historischer Betriebsdaten erlernen und die Abweichungen zwischen der Schätzung und dem Realbetrieb für die FED genutzt werden. Die parallele Anwendung zu einem regelbasierten System ermöglicht auch die Erkennung von neuartigen Betriebsverhalten, also von unbekanntem Fehlern.

Eine hohe Qualität der Schätzung setzt jedoch voraus, dass möglichst fehlerfreie Betriebsdaten für das Training der ML-Modelle verwendet werden. Zu diesem Zweck werden durch das entwickelte regelbasierte System bekannte und häufig vorkommende Fehler initial im Trainingsdatensatz identifiziert und gefiltert (siehe Abbildung 1). Das System besteht aus einer Sammlung von Experten-Regeln für die Betriebsüberwachung von HLK-Anlagen. Auf Basis der verfügbaren Datenpunkte (Sensoren, Aktoren, Betriebssignale) werden die Regeln automatisiert getriggert und ein binäres Fehlersignal für jeden Fehlertyp generiert.

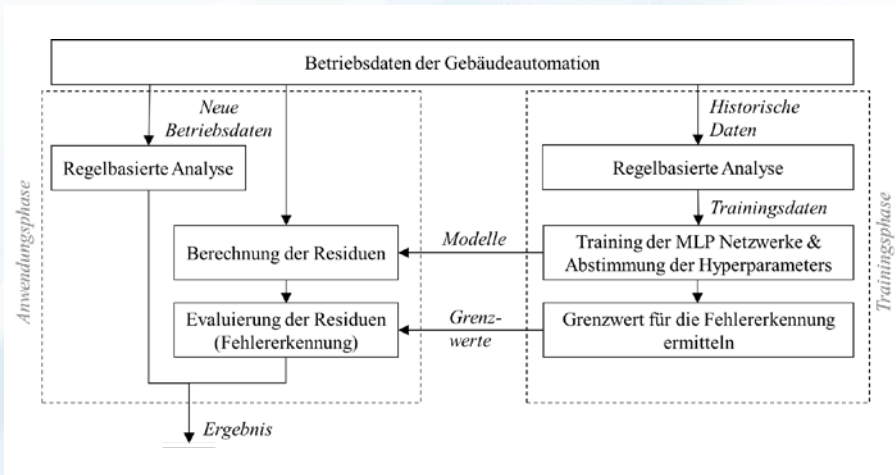


Abbildung 1: Schematische Darstellung des verfolgten residualgenerierenden FED-Ansatzes basierend auf Experten-Regeln und MPL-Netzwerken.

Zur Modellierung des fehlerfreien Betriebsverhaltens werden mehrschichtige Perzeptron (MLP) – Netzwerke und Bayes'schen Optimierung zur Abstimmung der Hyperparameter eingesetzt. Die Schätzung erfolgt individuell für jeden Datenpunkt, sodass das observierte Teilsystem (z.B. eine Lüftungsanlage) durch eine Modell-sammlung repräsentiert wird. Dieser Ansatz ermöglicht in der Trainingsphase eine dynamische Anpassung des Prozesses an die verfügbaren Datenpunkte und generiert in der Anwendungsphase aussagekräftige Residuen für die FED.

Durch die Kombination eines regelbasierten Systems mit etablierten Techniken aus dem Bereich des maschinellen Lernens wird der FED-Prozess weitestgehend automatisiert und auch für unerfahrene ML-Nutzer mit einem geringen Implementierungsaufwand anwendbar. In dem Vortrag wird anhand von fünf raumluftechnischen Anlagen eines großen Universitätsgebäudes die Anwendung des verfolgten residualgenerierenden Ansatzes und dessen Übertragbarkeit demonstriert. Die ermittelten Residuen werden in einem ersten Schritt für eine Fehlererkennung genutzt, während sich zukünftige Arbeiten auf die Evaluierung der Fehlermuster für die weiterführende Fehlerdiagnose konzentrieren.



Claudia Kandzia
Technische Referentin
Fachverband Gebäude-Klima e. V.

Welchen Einfluss hat die Veränderung der Temperatur auf die relative Feuchte im Innenraum?

Das optimale Raumklima wird sowohl durch die Raumtemperatur als auch durch die Luftfeuchte beeinflusst. Dabei können beide Größen nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da sich die relative Feuchte ändert, wenn die Lufttemperatur ansteigt oder sinkt.

Menschen in Mittel- und Nordeuropa fühlen sich im Winter bei Raumtemperaturen zwischen 21 °C und 22 °C am wohlsten. Die Luftfeuchte sollte zwischen 40 % und 50 % liegen. Veränderungen der Temperatur werden vom Menschen direkt wahrgenommen. Dies trifft auf die Luftfeuchtigkeit jedoch nicht zu. Indirekt macht sich eine zu niedrige Luftfeuchte durch trockene Schleimhäute bemerkbar. Ist die Feuchte zu hoch, wird dies als Schwüle empfunden.

Die DIN EN ISO 7730 beschreibt Kenngrößen sowie deren einzuhaltende Grenzwerte für ein thermisch behagliches Umgebungsklima. Das in der Norm hinterlegte Berechnungsverfahren ermöglicht es, für Menschen in einem gemäßigten Umgebungsklima das allgemeine menschliche Wärmeempfinden und den Grad der thermischen Behaglichkeit vorauszusagen. Anhand der Berechnung des PMV (predicted mean vote) und des PPD (predicted percentage of dissatisfied) ist eine analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit möglich. Dabei wird in der Berechnungsvorschrift eine Variation der Kleidung, der operativen Temperatur und der Luftgeschwindigkeit berücksichtigt. Die Luftfeuchte hingegen hat einen konstanten Wert von 50 %. Dies wird mit dem Argument begründet, dass in einem gemäßigten Umgebungsklima die Luftfeuchte nur einen geringen Einfluss auf das Wärmeempfinden hat. Eine um 0,3 K höhere operative Temperatur wird als ebenso warm empfunden wie der Anstieg der relativen Feuchte um zehn Prozent.

In Abbildung 1 ist auf Basis des Berechnungsverfahrens der Prozentsatz Unzufriedener für einen Bereich der Raumtemperatur zwischen 20 und 26 °C und der relativen Feuchte zwischen 20 und 70 %. Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass

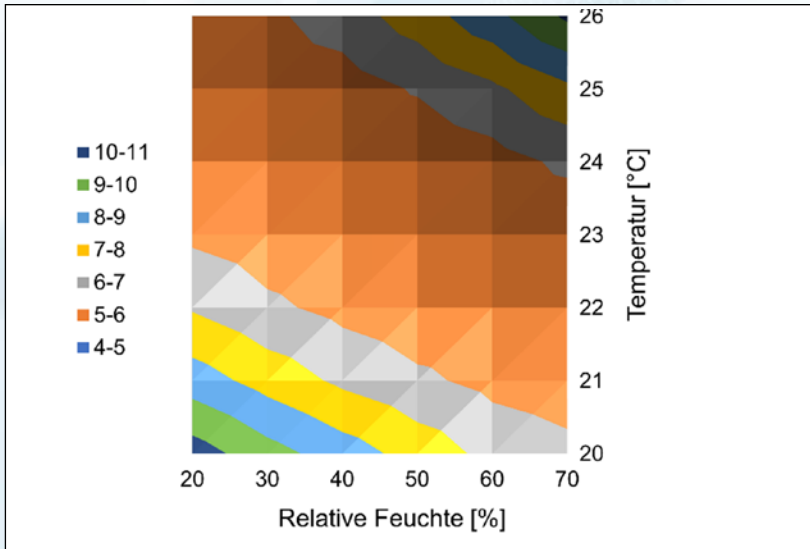


Abbildung 1: Prozentsatz Unzufriedener in Abhängigkeit von Feuchte und Temperatur

in dem dargestellten Temperaturbereich eine Erhöhung der Raumtemperatur um 0,5 K als ebenso warm empfunden wird wie eine Erhöhung der relativen Luftfeuchte um zehn Prozent. Da das Berechnungsverfahren für eine konstante Feuchte von 50 % ausgelegt ist, muss die Frage gestellt werden, ob konkrete Zusammenhänge zwischen der relativen Feuchte und der Raumtemperatur für variierende Werte der relativen Feuchte getroffen werden können. Viel eher sind weitere Untersuchungen notwendig, um konkrete Zusammenhänge zwischen den beiden Größen aufzeigen zu können.



Nadine Busse
Projektleiterin
naturstrom AG

Quartiersenergie aus Sonne und Abwasser

In Sachen Klimaschutzzielen hat der Gebäudesektor in Deutschland noch einiges zu tun. Denn bis 2030 müssen die Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors um 43 Prozent gegenüber 2020 reduziert werden. Energie, als maßgeblicher Emissionstreiber, ist dabei ein Schlüsselfaktor auf dem Weg zur Klimaneutralität. Glücklicherweise schlummern besonders in unseren Städten noch viele ungenutzte energetische Klimaschutz-Potentiale wie beispielsweise Erd-, Luft- und Abwasserwärme. Allein mit Wärme aus Abwasser könnten laut einer Studie der Universität Stuttgart bis zu 8,9 Prozent des deutschen Energiebedarfs für Raumheizung und Warmwasser gedeckt werden.

Das Neubau-Quartier an der Subbelrather Straße zeigt, wie die fossilfreie Energieversorgung der Zukunft aussieht. Wo früher ein Fabrikgelände brach lag, entsteht in Köln-Ehrenfeld bis 2027 neuer Wohnraum mit 216 Wohnungen und einer Großtagespflege. Die Energieversorgung der vier Mehrfamilienhäuser wird auf Solarenergie und Wärme aus dem nahegelegenen Abwasserkanal basieren. Das Energiekonzept umfasst Photovoltaik-Anlagen mit einer Gesamtleistung von 98 Kilowattpeak, zwei zentrale Wasser-Wasser-Wärmepumpen und einen 124 Meter langen Abwasserwärmetauscher. Der vor Ort gewonnene Solarstrom wird zukünftig direkt zum Betrieb der Wärmepumpen eingesetzt und ermöglicht einen besonders attraktiven und stabilen Wärmepreis für die Bewohner:innen. Reicht der vor Ort produzierte Strom einmal nicht aus, wird nahtlos mit 100 Prozent Ökostrom aus dem Netz aus deutschen Wasserkraftwerken aufgestockt. Durch eine gezielte und vorausschauende Steuerung können die Sektoren Strom und Wärme optimal aufeinander abgestimmt werden. Statt der derzeit gesetzlich geforderten 15 Prozent werden so 100 Prozent Erneuerbare Energien im Wärmemix des Kölner Quartiers eingesetzt. Zusätzlich wird in der Tiefgarage eine Ladeinfrastruktur für 100 E-Stellplätze vorgerüstet.

Durch die Energieversorgung mit Solarstrom und Abwasserwärme können im Vergleich zu einer Vollversorgung mit einem Erdgaskessel 107 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr eingespart werden. Das entspricht etwa sieben Flügen um die Erde. Entwickelt wird das Quartier von der WvM Immobilien + Projektentwicklung GmbH,

das Energiekonzept verantwortet und realisiert die naturstrom AG. Betrieben werden die Anlagen von der GreenEstateTWO, ein gemeinsames Joint Venture für die Energiewende im Gebäudesektor.

Die naturstrom AG wurde 1998 in Düsseldorf gegründet und versorgt mehr als 300.000 Haushalte, Unternehmen und Institutionen mit Ökostrom und -wärme. Damit ist naturstrom der größte unabhängige Ökostromanbieter in Deutschland. Das Unternehmen setzt auf den konsequenten Ausbau dezentraler, erneuerbarer Energien. Rund 350 Öko-Kraftwerke sind durch Mitwirkung von naturstrom bislang ans Netz gegangen. Zudem realisiert naturstrom verbrauchsnahe, sektorenübergreifende Versorgungslösungen: von der ökologischen Nahwärmebelieferung in ländlichen Kommunen über Mieterstrom bis hin zu Strom-, Wärme- und E-Mobilitätsangeboten für Unternehmen und Quartiere.

Oliver Mercker
Wissenschaftler
Institut für Solarenergieforschung GmbH
Modar Yasin
Institut für Solarenergieforschung GmbH

Christoph Büttner
Institut für Solarenergieforschung GmbH
Peter Pärisch
Institut für Solarenergieforschung GmbH

Entwicklung smarter Wohnungsstationen und Vergleich vernetzter, regenerativer Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern

Eine Senkung des Temperaturniveaus in Wärmezentralen von Mehrfamilienhäusern (MFH) erlaubt die effiziente Integration monovalenter Wärmepumpensysteme und beschleunigt die Wärmewende. Immer höhere Gebäudedämmstandards lassen hierbei die Trinkwarmwasserbereitung für das Temperaturniveau in Wärmezentralen bestimmend werden. Hygienerichtlinien verlangen das Temperaturniveau im TWW-Speicher nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) bei TWW-Systemen auf 60 °C zu halten, was entsprechend höhere Vorlauftemperaturen des Wärmeerzeugers erfordert. In MFH wird nach den a.a.R.d.T normalerweise eine Zirkulationsleitung (≥ 55 °C) vorgesehen, da der Wasserinhalt der Rohrleitung vom TWW-Speicher bis zur am weitesten entfernten Zapfstelle meist mehr als 3 Liter beträgt. Der Vorwärmteil eines bivalenten TWW-Speichers in MFH muss zudem nach den a.a.R.d.T einmal pro Tag zur thermischen Desinfektion vollständig auf 60 °C erwärmt werden. Da auf MFH ca. 40 % des Endenergieverbrauchs in Wohngebäuden entfallen, stecken in deren Wärmezentralen große Effizienzpotenziale.

Zur Senkung des Temperaturniveaus sind hier dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer (DTW) bzw. Wohnungsstationen (WS) am Markt verbreitet. Bei „kurzen Wegen“ (von unter drei Litern zur entferntesten Zapfstelle) können diese ohne Temperaturanforderungen oder Zirkulation betrieben werden und das Temperaturniveau in der Wärmezentrale um über 10 K senken. Ihre hygienische Unbedenklichkeit sind ein Teilaspekt dieses Forschungsvorhabens.

Die in Abbildung 1 dargestellten Simulationsergebnisse eines regenerativen Wärmeversorgungssystems mit Erdwärmepumpe, PVT-Kollektor, Fußbodenheizung und marktverfügbaren Wohnungsstationen bei einem MFH zeigen, dass die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe von 3,0 auf 3,3 durch Senkung der Temperatur des TWW-Systems von 55 °C auf 50 °C ansteigt (2-L WS). Eine weitere Erhöhung auf 3,9 kann durch elektrische Nacherwärmung mit Absenkung der Vorlauftemperatur auf 40 °C erreicht werden (2-L HYB). Wird die Fußbodenheizung bis zur Wärme-

pumpe geführt (4-L WS) kann die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe sogar auf einen Wert von 4,3 gesteigert werden.

Das laufende Projekt WoSta4.0 analysiert die Betriebsweise der Wohnungsstationen und versucht sie durch digitale Vernetzung und intelligente Regelung zu optimieren. Die bisher statisch und voneinander „informations-isoliert“ betriebenen Wohnungsstationen sollen künftig Informationen über Wärmebedarf (Nutzer) und -erzeugung (Wärmezentrale) sammeln und zur hocheffizienten Energieversorgung durch intelligente elektronische Regelung beitragen. Die bedarfsgeführte Regelung greift auf Wärmeabgabe, Hydraulik, Temperaturniveau und/oder Wärmeerzeuger zu. Der Einsatz smarter Wohnungsstationen macht den Betrieb der Wärmepumpe effizienter und spart somit CO₂-Emissionen. Eine transparente, dezentrale Energieversorgung in der Wohnung soll zudem zum suffizienten Verhalten der Nutzer (Mieter) und zum vernünftigen Ressourceneinsatz in der Wärmeversorgung führen.

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben WoSta4.0 wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN1061A gefördert und ist ein Verbundprojekt mit den Firmen PEWO, Oventrop, PAW und Ecovillage Hannover. Die Autoren sind für den Inhalt dieses Beitrags verantwortlich und danken dem Land Niedersachsen und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) für die Unterstützung.

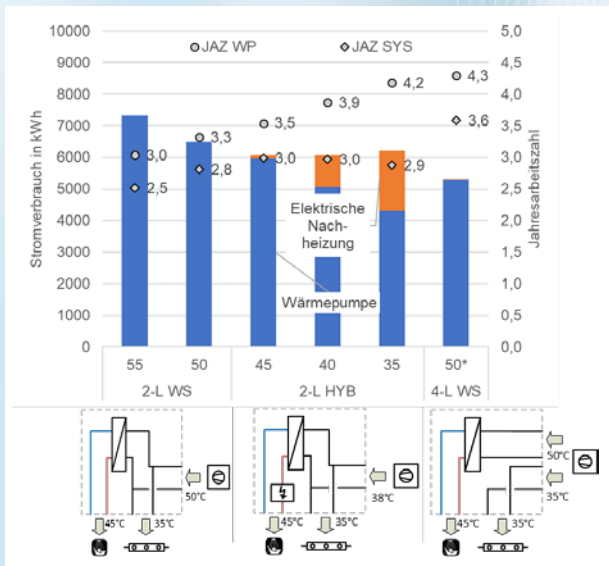


Abbildung 1: Stromverbrauch und Jahresarbeitszahlen zur Versorgung eines MFH mit 9 Wohneinheiten für unterschiedliche Wärmeversorgungskonzepte

Lukas Richter

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Doktorand
Deutsches Biomasseforschungszentrum

Volker Lenz

Deutsches Biomasseforschungszentrum

Martin Dotzauer

Deutsches Biomasseforschungszentrum

Joachim Seifert

TU Dresden

Numerische Optimierung der Versorgungssicherheit in einem zellular strukturierten Quartier unter Nutzung festbiomassebasierter Hybridsysteme

Spätestens seit der Energiekrise 2022 sind die Themen Versorgungssicherheit und Resilienz omnipräsent. Ohne fossile Energieträger ist Deutschland auf einen rasanten Ausbau der erneuerbaren Energien angewiesen, was das Energiesystem vor große Herausforderungen stellt. Volatile Energieträger wie Wind und Sonne werden zu den tragenden Säulen der Energiewende, sind aber selbst nur begrenzt flexibel. Aus diesem Grund könnte die dezentrale Nutzung fester Biomasse zusammen mit Wärmepumpen und Wärmespeichern innerhalb von Hybridsystemen eine wichtige Rolle spielen. Gerade ländliche Gebiete, in denen die Möglichkeit eines Fernwärmenetzes nicht gegeben ist, sind prädestiniert für die dezentrale Nutzung fester Biomasse. Diese Energiebereitstellung durch möglichst kleine Erzeuger erhöht jedoch die Variabilität sowie die Komplexität des Energiesystems. Um problematische Netzverhältnisse zu vermeiden, müssen diese dezentralen Energieanlagen entsprechend verwaltet werden, was zu einer hohen Komplexität in der Steuerung und Organisation führt. Eine sektorübergreifende Organisationsstruktur für dieses Ziel könnte der sogenannte zelluläre Ansatz sein.

In dieser Arbeit wird ein Optimierungsalgorithmus vorgestellt, der die detaillierte Modellierung von Hybridsystemen sowie die autonomen und subsidiären Eigenschaften des zellulären Ansatzes berücksichtigt. Der erste Schritt dieses Ansatzes ist eine Investitionsoptimierung, die mit dem Open Energy Modelling Framework (oemof) durchgeführt wird. Grundlage der Modellierung und Optimierung ist eine repräsentative Energiezelle, die die Gebäudestruktur, die Wetter- und Bedarfsprofile sowie die Potenziale für erneuerbare Energien in einem ländlichen Raum widerspiegelt. Diese Zelle umfasst die Fläche eines Quartiers und besteht aus mehreren kleineren Zellen auf Gebäudeebene. Daraus ergibt sich eine gemischt-ganzzahlige Optimierung auf Basis der Kosteneffizienz, mit der die optimale Anlagenkonfiguration in Abhängigkeit von den spezifischen Randbedingungen und Szenarien bestimmt wird. Um das Energiesystem mit ausreichender Genauigkeit zu modellieren und

Flexibilitäten sowie Grenzwertverletzungen abbilden zu können, werden Zeitschritte von 15 Minuten unter der Annahme von perfect foresight verwendet.

Ohne eine direkte Interaktion der Energiezellen ist es jedoch nicht möglich, die Eigenschaften des zellulären Ansatzes wie Subsidiarität und Autonomie zu modellieren. Daher besteht das Ziel im zweiten Schritt darin, das Betriebsoptimum jeder Zelle auf Gebäudeebene zu finden, um ein Systemoptimum als Summe der lokalen Optima zu erzeugen. Zu diesem Zweck wird ein agentenbasiertes Marktmodell verwendet, mit welchem die Interaktivität jeder Energiezelle simuliert sowie der Betrieb in Richtung Kosteneffizienz und Subsidiarität optimiert werden kann.

Mit diesem Algorithmus ist es möglich, die optimale Anlagenkonfiguration und den Betrieb für jede Zelle über einen Zeitraum von einem Jahr zu berechnen. Damit kann die Nutzung fester Biomasse in dezentralen Versorgungskonzepten optimiert und neue Erkenntnisse darüber gewonnen werden, welche Anlagenkonzepte und Betriebsabläufe zu bevorzugen sind. Der Schwerpunkt der geplanten Präsentation liegt auf dem Konzept eines lokalen Energiemarktes und dessen Interaktionsregeln als Grundlage der darauf aufbauenden agentenbasierten Modellierung.



Bharat Chhugani
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Peter Pärirsch
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Federico Giovannetti
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Dekarbonisierung von Wärmeversorgungssystemen in Bestands-Einfamilienhäusern durch PVT-Wärmepumpensysteme

Das laufende BMWK-geförderte Projekt „integraTE“ untersucht PVT-Kollektoren mit Wärmepumpen (WP), um diese innovativen Energieversorgungssysteme praxisbezogen zu bewerten und ihre Verbreitung für den Gebäudesektor zu erhöhen. PVT-Kollektoren liefern gleichzeitig Wärme und Strom für den Wärmepumpenbetrieb. Diese können sowohl als bauliche Einheit erworben oder als Clamp-On-Wärmetauscher bei bestehenden PV-Anlagen nachgerüstet werden. Die meisten in Deutschland eingesetzten Produkte übertragen Solar- und Umweltwärme an ein Fluid, welches im Quellenkreis von Sole-Wärmepumpen zirkuliert. Neben dem Monitoring von PVT-Wärmepumpen-Demoanlagen, wurden im Rahmen des Projekts auch detaillierte Simulationsstudien zu verschiedenen Wärmeversorgungssystemen durchgeführt. Dabei wurden zwei PVT-Wärmepumpensysteme, die PVT Anlagen (a) als einzige Wärmequelle und (b) als Ergänzung zu einer Erdwärmesonde verwenden, mit sechs verschiedenen Referenzsystemen für die Wärmeversorgung eines Bestands-Einfamilienhauses (140 m²) mit einem spezifischen Gesamtwärmebedarf von 123 kWh/(m²·a) verglichen.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 als CO₂-Emissionen der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme dargestellt, wobei die Emissionen nur für den aus dem Netz bezogenen Strom auf der Grundlage der GEG-Emissionsfaktoren ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms oder des Stromspeichers berechnet wurden. Der PV-Strom, der ins Netz eingespeist wird, erfährt keine Gutschrift. Die Abbildung zeigt, dass ein Gas-Brennwertkessel mit 4808 kg CO₂ - Äquivalent die höchsten CO₂-Emissionen verursacht. Das solarthermische Kombisystem (15 m² Kollektorfläche) reduziert die CO₂-Emissionen um 18 %. Die Wärmepumpensysteme weisen im Vergleich zum Gas Brennwertkessel ein erhebliches CO₂-Reduktionspotential auf: Eine Luftwärmepumpe reduziert die CO₂-Emissionen um 32 %, wobei die Kombination mit 30 m² PV (5,1 kWp) die Emissionen um 40 % senkt. Der Ersatz des Heizungssystems durch PVT-Wärmepumpensysteme bietet ein noch höheres CO₂-Minderungspotenzial.

Mit 30 m² PVT (verschiedene Kollektortypen) erreichen diese Systeme CO₂-Einsparungen von bis zu 49 %. Somit wird eine ähnliche CO₂-Reduktion wie bei einem Wärmepumpensystem mit 180 m Erdwärmesonde erreicht. Im Allgemeinen stellt der PVT-Kollektor in Kombination mit einer Wärmepumpe eine attraktive Alternative zur Luft- oder erdgekoppelten Wärmepumpe dar, wenn diese wegen Platzmangel, Lärm oder weiterer Restriktionen nicht installiert werden können. Darüber hinaus kann durch die Kombination von PVT-Kollektoren mit erdgekoppelten Wärmepumpensystemen die Erdwärmesonde kürzer dimensioniert werden (120 m) bei einer noch stärkeren Reduktion der CO₂-Emissionen. Diese kleinere Dimensionierung der Erdwärmequelle (z. B: Länge oder Anzahl der Erdsonden) ist vor allem von Relevanz, wenn die Bohrtiefe begrenzt ist oder bei größeren Feldern.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben integraTE wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03EGB0023C gefördert. Außerdem bedanken wir uns für die Unterstützung beim Land Niedersachsen sowie bei den Industriepartnern PA-ID, Splus2, Sun-Maxx, Consolar, TripleSolar, nD-Systeme und TGA Büro Carsten Grobe. Die Autoren sind für den Inhalt dieses Beitrags verantwortlich.

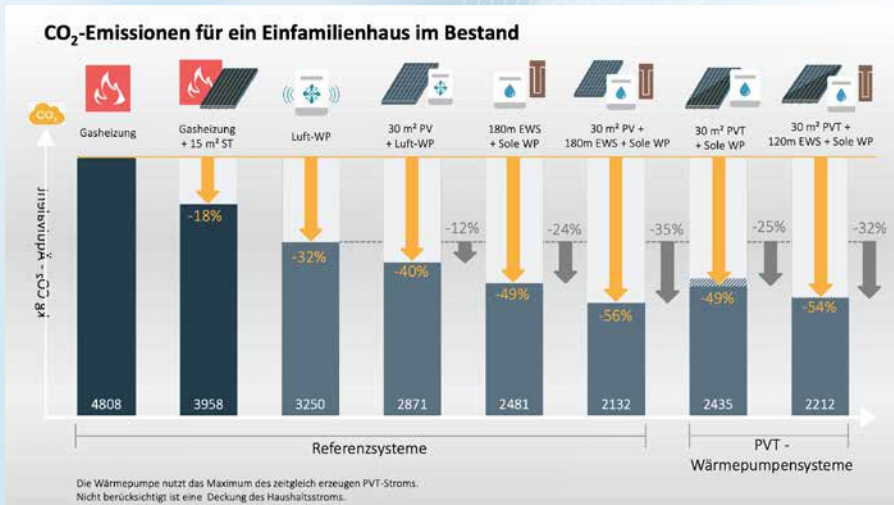


Abbildung 1: CO₂-Emissionen der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme im Gebäudebestand Mit 30 m² PVT (verschiedene Kollektortypen) erreichen diese Systeme CO₂-Einsparungen von bis zu 49 %. Somit wird eine ähnliche CO₂-Reduktion wie bei einem Wärmepumpensystem mit 180 m



Andreas Wessner
Fachhochschule Burgenland

Optimierung und Analyse von Warmwasserbereitungskonzepten in Kombination mit Kühlanwendungen von Wohngebäuden am Beispiel eines Studentenwohnheims

Der Klimawandel stellt die gesamte Menschheit vor große Herausforderungen, die es zu lösen gilt. Die Anzahl an Hitzetagen war in den letzten 20 Jahren in Europa stark im Steigen und insbesondere in den Großstädten entwickeln sich durch die dichten Bebauungen mit sehr wenig Grünflächen höhere Temperaturen und Hitzeinseln. Damit einhergehend steigt der Bedarf nach Kühlung von Gebäuden u.a. auch von Wohnbauten. Um Synergieeffekte zu nutzen, wäre es technisch interessant, die Abwärme von Kühlanlagen (Kältemaschinen) energetisch sinnvoll im Sommer zu nutzen. Als möglicher Abnehmer dieser kostenlosen Low-Exergie bietet sich die Warmwasserbereitung an, welche ganzjährig nachgefragt wird.

In deutschen Privathaushalten wurden im Jahr 2020 allein 106 Terrawattstunden für die Warmwasserbereitung aufgebracht (Umweltbundesamt, 2022). Somit stellt die Warmwasserbereitung eine große mögliche Abwärmesenke in Deutschland dar. Für eine effiziente und hygienisch einwandfreie Trinkwassererwärmung sind jedoch gewisse Warmwassertemperaturen von bis zu 60 °C erforderlich, welche bei einer direkten Nutzung der Abwärme einer Kältemaschine in der Regel nicht erreicht werden können. Abhilfe hierfür stellen sogenannte Booster-Wärmepumpen dar, welche die Abwärmetemperatur auf ein entsprechendes Niveau anheben können. Anhand einer wissenschaftlichen Analyse und Optimierung dieser Technologie für ein geplantes Studentenwohnheim in Graz (Österreich) wurden die folgenden vier Konzepte zur Trinkwassererwärmung in technischer und ökonomischer Hinsicht simulativ mit der Anlagen- und Gebäudesimulationssoftware IDA ICE miteinander verglichen, um eine Bewertung dieser Technologie durchzuführen:

1. Booster-Wärmepumpe mit Frischwassermodulen	2. Elektrospeicher
3. Booster-Wärmepumpe mit zentralem Warmwasserspeicher	4. Brauchwasserwärmepumpen

Im Zuge der Auswertung der vier Konzepte wurde festgestellt, dass die Booster-Wärmepumpen sehr hohe Effizienzen und massive Einsparungen in Bezug auf den Energieverbrauch zu Elektrospeichern aufwiesen. Weiters hat die Auswahl des Gesamtsystemaufbaus einen signifikanten Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz. Bei der Optimierung konnte gezeigt werden, dass mit steigender Warmwasserentnahme bis zu einem gewissen Grad die Auslastung und der Abwärmenutzungsgrad erhöht werden konnten. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigte, dass sich jene Trinkwassererwärmungskonzepte mit Booster-Wärmepumpen durch niedrige Betriebskosten gegenüber der Elektrospeicher-Variante auszeichneten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine Warmwasserbereitung mit Booster-Wärmepumpen auf Basis einer Abwärmenutzung von Kältemaschinen überall dort Sinn machen, wo mit einem hohen Warmwasserverbrauch zu rechnen ist. Als Rückschluss aus der vorliegenden Systembetrachtung kann gezogen werden, dass ein Verhältnis Kälteendenergieverbrauch zu Warmwasserendenergieverbrauch von mindestens eins zu zwei für einen solchen Anwendungsfall sicherzustellen ist, um eine hohe Auslastung der Wärmepumpen zu ermöglichen. Bei Studentenwohnheimen ist bei einem solchen Konzept ein tendenziell höherer Warmwasserendenergieverbrauch als der statistische Durchschnittswert von $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ gemäß Schweizer Architektur- und Ingenieurverein anzusetzen, um eine wirtschaftliche Auslastung der Trinkwassererwärmungsanlage sicherzustellen. Aber auch die thermischen Speichermassen des Gebäudes haben einen Einfluss auf das Gesamtsystem, da die Flexibilität ausgenutzt werden kann.

Eine wesentliche Grundlage dieses Fachartikels stellen die wissenschaftlichen Ergebnisse der Masterarbeit von Herrn Andreas Wessner dar.

Herangezogene Literatur (Abstract):

- Umweltbundesamt (2022): Energieverbrauch privater Haushalte, Daten zuletzt aktualisiert am 20. Dezember 2022, Dessau-Roßlau. Abgerufen am 27. Dezember 2022 um 13:50 Uhr: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#direkte-treibhausgas-emissionen-privater-haushalte-sinken>
- Wessner, A. (2023): Optimierung und Analyse von Warmwasserbereitungskonzepten in Kombination mit Kühlanwendungen von Wohngebäuden am Beispiel eines Studentenwohnheims, Masterarbeit an der Fachhochschule Burgenland, Ziersdorf

Herzlichen Dank an Herrn Dipl.-Ing. Franz Hengel, BSc und seinem Team vom Forschungsinstitut AEE INTEC für die Unterstützung beim Erstellen der Grundlagen dieses Fachartikels!

Michael Müller

Referent, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am IGTE
IGTE (Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und
Energiespeicherung) Universität Stuttgart

Armin Rupert

FG HLK

Benjamin Walz

Universität Stuttgart

Lukas Siebler

Universität Stuttgart

Tobias Henzler

Universität Stuttgart

Konstantinos Stergiaropoulos

Universität Stuttgart

Mindestanforderung für den Außenluftstrom in Nichtwohngebäuden im europäischen Raum

In allen EU27-Staaten gilt mit der EN 16798-1 eine Richtlinie zur Auslegung energetischer und hygienischer Aspekte von Gebäuden. Darunter fällt auch die Lüftung von Wohn- und Nichtwohngebäuden und damit verbunden die Definition oder Empfehlung eines Mindestaußenluftstroms.

In dieser Studie wird eine Literaturrecherche durchgeführt, in der Vorgaben aus nationalen Normen, Gesetzen und Verordnungen im europäischen Raum zusammengetragen werden. Damit werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Auslegung des Mindestaußenluftstroms in Nichtwohngebäuden aufgezeigt.

Mit den recherchierten Daten zu den nationalen Vorgehensweisen wird eine vergleichende Bewertung vorgenommen. Einerseits erfolgt eine Gegenüberstellung der einzelnen Berechnungsverfahren und deren Auslegungswerte. Andererseits wird eine Bewertung der nationalen Vorgehensweisen anhand einer exemplarischen Auslegung der Belüftung von vier verschiedenen Typräumen und jeweils drei Außenluftzuständen durchgeführt. Als Typräume werden ein Einzelbüro, ein Klassenzimmer, ein Theatersaal und ein Patientenzimmer eines Krankenhauses herangezogen. Die drei Außenluftzustände beschreiben einen typischen Sommertag, einen feuchten Sommertag und einen typischen Wintertag. Die Bewertung erfolgt anhand einer stationären Bilanz der CO₂-Konzentration und der Raumluftfeuchte.

Im Rahmen dieser Studie werden Literaturdaten zu 22 Staaten zusammengetragen. Für elf Staaten ist eine ausreichend fundierte Datenlage vorhanden, sodass diese für eine detaillierte Untersuchung ausgewählt werden. Basierend auf der Datenlage und den Erkenntnissen aus den durchgeführten Berechnungen wird anschließend analysiert, welche länderspezifischen Unterschiede es in der Auslegung gibt.

Weiterhin wird herausgearbeitet, welche Kriterien die einzelnen Länder in ihre Auslegung einbeziehen und welche Kriterien ein geeignetes Berechnungsverfahren

für den Mindestaußenluftstrom in Nichtwohngebäuden erfüllen muss. Daraus wird dann wiederum abgeleitet, unter welchen Bedingungen die Angabe eines vereinfachten Auslegungsverfahrens in Form eines einheitlichen personenbezogenen Mindestaußenluftstroms ausreichend ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass es in den untersuchten Staaten keinen Konsens bei den Auslegungsverfahren für den Mindestaußenluftstrom in Nichtwohngebäuden gibt. Es können drei verschiedene Berechnungsverfahren identifiziert werden, die sich hauptsächlich darin unterscheiden, wie personenbezogene und flächenbezogene Werte miteinander verrechnet werden bzw. ob überhaupt beides angegeben wird. Die Verfahren werden national mit unterschiedlichen empfohlenen flächenbezogenen und/oder personenbezogenen Werten und CO₂-Grenzwerten angewandt. Die Güte eines Auslegungsverfahrens wird anhand der Abweichung der berechneten CO₂-Konzentration im Typraum und dem jeweiligen nationalen Grenzwert bestimmt. Es kann kein methodisch eindeutig „ideales“ Auslegungsverfahren identifiziert werden.

Die weiteren Betrachtungen ergeben, dass es durchaus möglich ist, einen allgemeinen Mindestaußenluftstrom für Nichtwohngebäude zu definieren, solange dieser in Abhängigkeit der vorgesehenen Gebäudenutzung (z.B. Parametern wie dem Aktivitätsgrad), der geforderten Luftqualität und geg. der Schadstoff Emissionen des Gebäudes angegeben wird.

In der Vereinfachung des Verfahrens liegt das Potential die Akzeptanz und Überprüfbarkeit bei gleichleibender Güte der Auslegung zu erhöhen.



Hannes Grünewald
Entwicklungsingenieur
inVENTer GmbH

Diana Altendorf
Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung

Tze-Li Liu
Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung

Jörg Dehnert
Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie

Ralf Trabitzsch
Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung

Holger Weiß
Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung

Einsatz von dezentralen Lüftungssystemen zur Reduzierung der Radon-222-Aktivitätskonzentration in Wohnungen

Radon-222 ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, welches als Produkt der Uran-238 Zerfallsreihe stetig neu im Erdreich gebildet wird. Mittels Konvektion und Diffusion wird das Isotop bis an die Erdoberfläche transportiert. Im Fall von Überbauung und unzureichendem Luftwechsel kann sich Radon-222 in Gebäuden anreichern [1] und zu einem Gesundheitsrisiko für Personen werden [2]. Im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) [3] wird deshalb ein Referenzwert von $C_{Rn} = 300 \text{ Bq/m}^3$ für die jährlich gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration (Rn-Ak) in Innenräumen festgelegt. Aufgrund des hohen Aufwandes von baulichen Maßnahmen zum Radonschutz im Bestand [4] sind nachträglich installierte Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung eine effiziente Alternative.

Im Projekt RadonVent wird die Reduzierung der Rn-Ak durch den Einsatz von dezentralen Lüftungssystemen untersucht. Im Zuge dessen, wurden im Zeitraum vom 19.05.2020 bis zum 11.05.2021 22 Lüftungsversuche in einer leerstehenden Wohnung durchgeführt [5]. Diese befindet sich im Erdgeschoss eines zweistöckigen Mehrfamilienhauses in Bad Schlema im Erzgebirge und ist im Bereich des Wohnzimmers teilunterkellert. Das verwendete Lüftungssystem wurde aus alternierenden Geräten der inVENTer GmbH sowie den Messgeräten Radon Scout Plus der SARAD GmbH aufgebaut. Für die Untersuchungen wurde die Wohnung in drei unabhängige Lüftungszonen aufgeteilt und in allen Räumen sowie dem Keller und auf dem Balkon die Rn-Ak gemessen. Neben den etablierten Betriebsweisen Wärmerückgewinnung und Durchlüftung wurde zusätzlich ein Überdruckmodus getestet. Zur Berücksichtigung weiterer Einflussparameter wurden die Wetterdaten sowie der Differenzdruck über der Gebäudehülle erfasst.

Die Messergebnisse der Untersuchungen weisen raumspezifische sowie tages- und jahreszeitliche Schwankungen der Rn-Ak auf. Diese führen zu unterschiedli-

chen Erfolgen bei der Reduzierung der Rn-Ak, wobei Minderungen um bis zu 80 % erreicht wurden. Besonders hervorzuheben sind die Versuche im Überdruckmodus, bei denen selbst bei einem hohen Ausgangsniveau eine konstante Unterschreitung des Referenzwertes erzielt werden konnte.

- [1] Bundesamt für Strahlenschutz, Hrsg., Radon-Handbuch Deutschland. Salzgitter, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/radon-handbuch.html>
- [2] S. Darby u. a., „Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies“, *BMJ*, Bd. 330, Nr. 7485, S. 223, Jan. 2005, doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63.
- [3] Bundesregierung Deutschland, Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. 2017.
- [4] H. Zeeb, F. Shannoun, und World Health Organization, „WHO handbook on indoor radon: a public health perspective“, 2009, Zugriffen: 17. März 2023. [Online]. Verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44149>
- [5] D. Altendorf, H. Grünewald, T.-L. Liu, J. Dehnert, R. Trabitczsch, und H. Weiß, „Decentralised ventilation efficiency for indoor radon reduction considering different environmental parameters“, *Isotopes Environ. Health Stud.*, Bd. 58, Nr. 2, S. 195–213, März 2022, doi: 10.1080/10256016.2022.2047960.

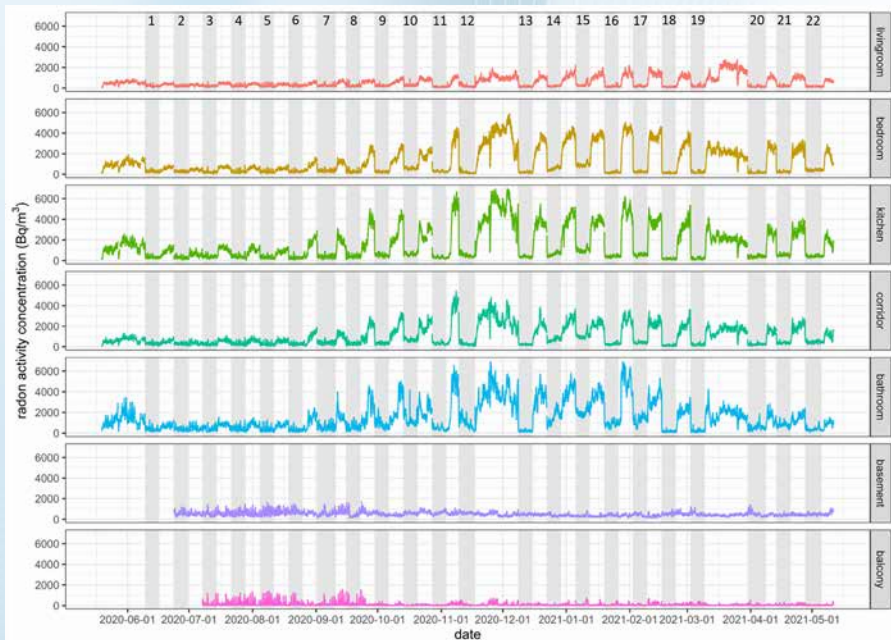


Abbildung 1: Übersicht des Verlaufs der Rn-Ak während des gesamten betrachteten Zeitraums, die 22 Lüftungsversuche sind dabei grau markiert [5]



Thomas Spöler
stellv. Leiter Produktmanagement
Gebr. Kemper GmbH + Co. KG

Klimawandel – unterschätzter Risikofaktor für Trinkwasserhygiene

Das Jahr 2022 war das wärmste Jahr seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1881 in Deutschland. Neun der zehn wärmsten Jahre in Deutschland fallen sogar in das 21. Jahrhundert. Was selten beachtet wird: Der Klimawandel beeinflusst auch die Trinkwasserhygiene in Gebäuden. Denn erhöhte Außenluft- und Bodentemperaturen beeinflussen die Trinkwassertemperaturen.

Das Wachstum von pathogenen Krankheitserregern, wie bsp. *Legionella spec.*, ist besonders in Temperaturbereichen zwischen 25 °C und 45 °C möglich. Im warmen Trinkwasser kann eine Medientemperatur von > 55°C aktiv mittels konventioneller Warmwasserzirkulation sichergestellt und somit mikrobiologischen Kontaminationen entgegengewirkt werden. Publikationen spätestens ab Mitte 2010 machen aber deutlich, dass erhebliche Kontaminationen mit Legionellen auch im kalten Trinkwasser erwartet werden müssen. Steigende Wärmelasten aufgrund klimatischer Veränderungen stellen im kalten Trinkwasser die Einhaltung der Trinkwasserhygiene vor neue Herausforderungen. Unzulässige Temperaturerhöhungen konnten bisher dauerhaft durch temperaturgeführtes Spülen verhindert werden. Eine Big Data Analyse von 8,6 Mio. Messwerten von 2126 in Betrieb befindlichen Spülventilen bestätigt jedoch, dass temperaturgeführte Spülmaßnahmen ökologisch und ökonomisch limitiert sind.

Die Auswirkung der Außenluft- und Bodentemperaturen auf die verworfenen Spülvolumina eines nicht klimatisierten Krankenhauses zeigt ein Beispiel aus der Praxis (Bild 1).

Es ist zu erkennen, dass speziell in den Sommermonaten die Spülvolumina zur Temperaturhaltung extrem ansteigen. Unter dem Aspekt der Wasserknappheit stellt sich die Frage, ob Spülmaßnahmen zur Temperaturhaltung des kalten Trinkwassers in den Sommermonaten noch ökologisch und ökonomisch sinnvoll sind und, ob die notwendigen Spülvolumina zukünftig überhaupt noch zur Verfügung stehen werden. Die Notwendigkeit eines nachhaltigen, ökologischen Umgangs mit der Ressource

Trinkwasser macht es erforderlich, bisher übliche Vorgehensweisen, anzupassen und zu ergänzen. Damit die vorgegebene Temperaturgrenze $< 25^{\circ}\text{C}$ zu jedem Zeitpunkt vom Betreiber eingehalten werden kann, bedarf es eines aktiven innovativen Prozesses. Eine effektive Möglichkeit der aktiven Temperaturhalt ist die Kaltwasser-Zirkulation mit Kühlung. Eine Kaltwasser-Zirkulation stellt über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes eine leistungsfähige und kostengünstige Alternative zur nachhaltigen Temperaturhaltung des Trinkwassers in Gebäuden dar, die zusätzlich noch die Ressource Trinkwasser schont.

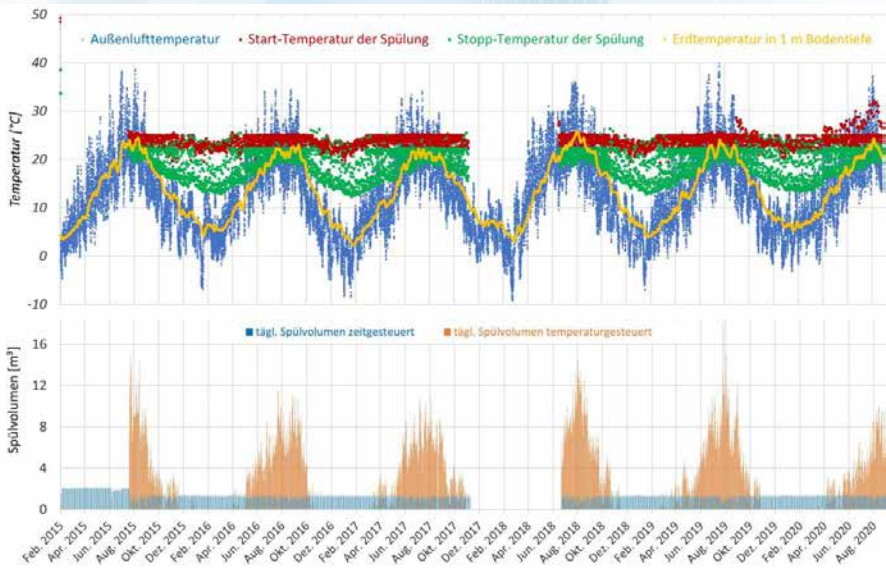


Bild 1: Die Auswirkung der Außenluft- und Bodentemperatur auf die Spülvolumina eines KKH



Sven-Yannik Schuba
Laboringenieur
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Jan-Gerrit Kühlen
Viega GmbH & Co. KG

Jonas Keuler
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Peter Pärisch
Institut für Solarenergieforschung
Hameln (ISFH)

Messergebnisse und Auslegungsempfehlungen für regenerative, zentrale Trinkwassererwärmungsanlagen in Sporthallen

Um die Dekarbonisierung des Wärmesektors in Deutschland voranzutreiben, muss der Einsatz regenerativer Wärmeerzeuger massiv ausgebaut werden. In der Trinkwarmwassererwärmung von Bestands-Sporthallen können Solarthermie- oder Wärmepumpenanlagen aufgrund des hohen Temperaturniveaus von 60 °C nur ineffizient eingebunden werden. Abhilfe schaffen Durchfluss-Trinkwassererwärmer (DTE), die eine hygienische Trennung des Trinkwassers vom erhitzten Wasser des Pufferspeichers zulassen. Allerdings bestehen Defizite bei den Auslegungsempfehlungen für Trinkwassererwärmer Sporthallen. Mit Clamp-On Messsystemen haben wir Durchflüsse und Temperaturen in 12 Sporthallen hochfrequent (1 s⁻¹) gemessen. Gleichzeitigkeitsfaktoren wurden nach der Methode [1] und der Annahme einer max. Zapfleistung pro Dusche von 20 kW erstellt. Der max. ermittelte Gleichzeitigkeitsfaktor beträgt 0,49 (siehe HM_5 Abbildung 1). Unter der Annahme, dass sich die Anzahl der genutzten Kabinen nicht ändert, sind die Hallen HM_3 und HM_1 auf Hallen mit 1 Hallenteil projiziert worden. Basierend auf HM_3, PB_4, HM_6 und PB_3 wurde für eine Formel in Abhängigkeit der Anzahl an Duschen aufgestellt (siehe Abbildung 1).

Der durchschnittliche Nutzungsgrad über alle gemessenen Objekte beträgt 13,8 % (siehe Abbildung 2), was den Bedarf für Optimierungen im Bereich der Trinkwarmwasserinstallation und der Verteilverluste verdeutlicht.

Erste Erkenntnisse zeigen einen hauptsächlichen Einfluss des Vereinssports oder sportlicher Ereignisse auf die Summenlinien. Für die Ableitung allgemeingültiger Summenlinien für Neuanlagen inkl. Spitzenleistungen für DTEs ist die Datenbasis mit 12 Sporthallen noch nicht ausreichend und sollte erweitert werden. Bei der Sanierung von Trinkwassererwärmer in Bestandsanlagen empfiehlt sich abweichend von den aktuellen Vorgaben (Normentwurf, oder was Ähnliches) eine vorherige monatliche Messung, die als Grundlage der Auslegung unter Betrachtung der Summenlinien und Spitzenleistungen dient. Im Messzeitraum sollte sichergestellt werden, dass der maximale Bedarf an Trinkwarmwasser vorliegt.

Danksagung

Dieser Beitrag wurde im Projekt „Technische Anforderungen an Durchfluss-Trinkwassererwärmer zur Steigerung von Energieeffizienz und Komfort großer, regenerativer Wärmezentralen“ (Kurz: TA-DTE-XL, FKZ: 03EN1025), das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Besonderer Dank geht an das Land Niedersachsen und dem Verbundpartner Viega, sowie den Partnern PAW GmbH & Co. KG, Oventrop GmbH & Co. KG, Solvis GmbH, Malotech GmbH, cbb software GmbH, Taconova GmbH, Reich + Hölscher, Varmeco GmbH & Co. KG, Bosch Solarthermie GmbH und Vaillant GmbH. Die Autoren sind ausschließlich für den Inhalt dieses Beitrages verantwortlich.

Literaturverzeichnis

- [1] J. Keuler, P. Mühlenweg, S. Mende, S.Y. Schuba, D. Eggert, P. Pärish, „Measurement and statistical evaluation of hot watertapping profiles in (non-)residential buildings“, Clima 2022 - 14th REHVA HVAC World Congress, Rotterdam, 2022, doi: 10.34641/clima.2022.73.
 [2] VDI 2072:2019-11, Wärmeübergabestation mit Wasser-Wasser-Wärmeübertrager für Durchfluss-Trinkwassererwärmung/Raumwärmeversorgung, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V.

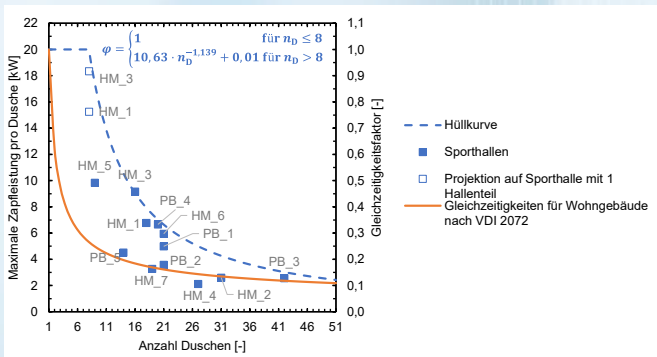


Abbildung 1: Gleichzeitigkeitsfaktoren aller Sporthallen im Vergleich zur VDI 2072 [2]

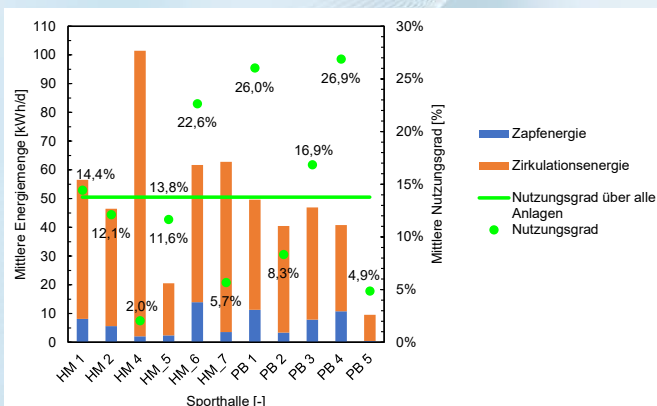


Abbildung 2: Zapf- und Zirkulationsenergien, sowie Nutzungsgrade der Sporthallen



Peter Pärisch
 Gruppenleiter
 Institut für Solarenergieforschung
 Hameln (ISFH)

Mark Distelhoff
 Institut für Solarenergieforschung
 Hameln

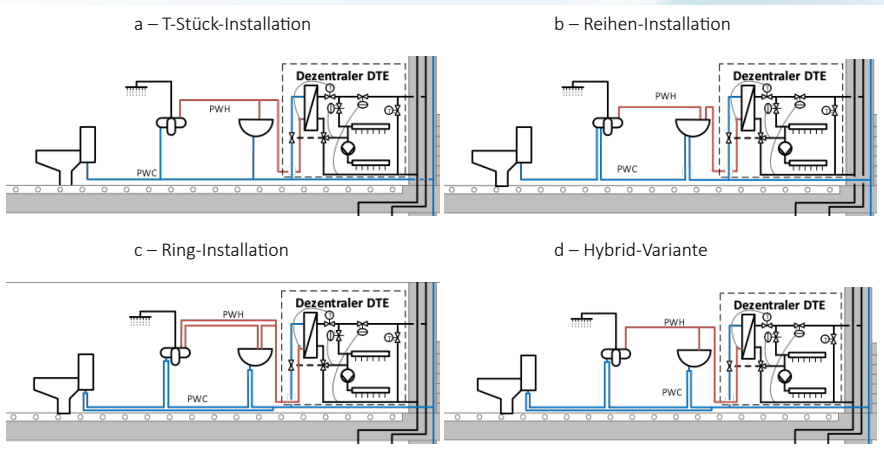
Carsten Lampe
 Institut für Solarenergieforschung
 Hameln

Christopher Graf
 Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft
 und Energiesystemtechnik

Anna Cadenbach
 Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft
 und Energiesystemtechnik

Multikriterieller Eignungsvergleich wohnungsinterner Trinkwasserinstallationsarten für Niedertemperatur-Versorgungssysteme in Mehrfamilienhäusern

Gemäß den a.a.R.d.T. können dezentrale Durchfluss-Trinkwassererwärmer (DTE) bei Leitungsinhalten unter 3 Liter ohne Mindestanforderungen an die PWH-Temperatur (engl. potable water hot) betrieben werden. Die Temperaturabsenkung führt bei Wärmepumpen zur einer Steigerung der Jahresarbeitszahl (vgl. [1]). Im Rahmen des Beitrags erfolgen Simulationsstudien zu verschiedenen am Markt befindlichen Trinkwasserinstallationen (TWI) für Wohneinheiten in Mehrfamilienhäusern (MFH). Das Ziel ist es, die trinkwasserhygienische Widerstandsfähigkeit gegenüber Legionellen bei abgesenkter PWH-Temperatur miteinander zu vergleichen.



Ein repräsentatives MFH mit 8 WE, die je über 3 Zimmer verfügen inkl. Küche und Bad dient als Basis für die Rohrleitungslängen und die Anordnung der Zapfstellen

Waschbecken, Küchenspüle, Duschwanne, WC, Geschirrspüler und Waschmaschine. Das verwendete Bedarfsprofil für Kalt- und Warmwasser für zwei berufstätige Bewohner wurde in 5 s-Auflösung entwickelt (siehe [2]). Die PWH-Temperatur wird zwischen 45 °C und 60 °C, sowie die Dämmung der PWC-Leitungen zwischen 4 mm und 100 % variiert.

Bei allen TWI zeigt sich, dass häufig durchspülte PWH-Rohrabschnitte länger in hygienisch kritischen Temperaturphasen (25-50 °C) verweilen als solche, die eher unregelmäßig durchspült werden. Als hygienisch unbedenklich erweisen sich die T-Stück- (a, d) und die Reiheninstallation (b), bei denen nur die zur aktiven Zapfstelle führenden Rohre erwärmt werden. PWC-seitig hingegen wirkt sich ein häufiger Wasseraustausch, wie bei der Ringinstallation (c, d), besonders positiv aus, da Erwärmungsphasen zuverlässig unterbrochen werden. Die Hybrid-Variante (d) weist hier die geringste hygienische Anspannung auf. Die dickere PWC-Dämmung von 100 % führt variantenübergreifend zu einer weiteren deutlichen Verbesserung. Durch die Temperaturabsenkung von 60 °C auf 45 °C ergibt sich insgesamt eine angespanntere hygienische Situation. Die Rohrtemperaturen werden mit jeder Zapfung genau in den kritischen Bereich (und nicht darüber hinaus) angehoben.

Der Energieaufwand durch die Wohnungsstation bleibt trotz Temperaturabsenkung ungefähr gleich groß (Reduktion von ca. 2-3 %), da die geforderten Zapfmengen und -temperaturen im Bedarfsprofil konstant bleiben. Es verändert sich jedoch das Mischungsverhältnis von PWH und PWC.

Mit der Temperaturabsenkung verschlechtert sich der Komfort merklich von durchschnittlich 95 auf 85 % der Zapfzeit. Die Ring-Installation ist besonders betroffen (von 90 auf 60 %), da kurze Zapfungen oft beendet sind, bevor frisch erwärmtes Wasser die Rohrstrecken bis zur Zapfstelle überwinden kann.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sich bei einer Temperaturabsenkung PWH-seitig die T-Stück oder die Reihen-Installation und PWC-seitig die Ring-Installation in Verbindung mit einer 100 %-Dämmung sinnvoll sind. So ergeben sich eine vergleichsweise hohe hygienische Resilienz bei gleichzeitig geringen Komforteinbußen.

Danksagung

Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben Trans2NT-TWW wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 03EN1027C gefördert. Wir bedanken uns zudem für die Unterstützung beim Land Niedersachsen sowie bei den Industriepartnern Taconova und Uponor Kamo. Die Autoren sind für den Inhalt dieses Beitrages verantwortlich.

Literaturverzeichnis

- [1] F. Weiland, C. Büttner, E. Schneider, P. Pärish, Einfluss von Wärmeversorgungskonzepten mit Wohnungsstationen auf die Effizienz von erdgekoppelten Wärmepumpen-Systemen in Mehrfamilienhäusern, in: Tagungsband EffizienzTagung 2021, online, 2021.
- [2] M. Distelhoff, P. Pärish, C. Lampe, Methodology for the development of temporally high-resolved and spatially accurate tapping profiles, CLIMA 2022 Conf. (2022). <https://doi.org/10.34641/clima.2022.229>.

Thomas Möller
wissenschaftlicher Mitarbeiter
Bauhaus-Universität Weimar,
Fachbereich Gebäudetechnik

Qualitätssicherung des energetischen Gebäudebetriebs

Problemstellung

Die Anforderung an die Energieeffizienz von Gebäuden ist in den letzten Jahren aufgrund strenger gesetzlicher Vorgaben (GEG), steigender Energiepreise, Energieknappheit und wachsenden Bewusstsein für den Klimaschutz stark gestiegen. Auch in Zukunft wird sich dieser Trend fortsetzen.

Zahlreiche Verbrauchsauswertungen in Betrieb befindlicher Gebäude haben allerdings gezeigt, dass die in der Planungsphase festgelegten Energiebedarfswerte oftmals nicht erreicht werden. Für Gebäude, insbesondere solche mit anspruchsvollen Energiekonzepten, wird ein Monitoring in der Betriebsphase empfohlen. In der Praxis wird dabei der Energieverbrauch vergangener Perioden erfasst, bereinigt und mit den festgelegten Energiebedarfswerten aus der Planungsphase verglichen. Festgestellte Abweichungen deuten auf Mängel hin und erfordern weitere Maßnahmen. Nachteilig bei diesem Vorgehen ist der hohe Arbeitsaufwand der benötigten Fachleute um die erforderlichen Daten zu selektieren, aufzubereiten und auszuwerten sowie der Umstand, dass diese Auswertung im Nachhinein erfolgt, Fehler somit erst spät erkannt, ausgewertet und abgestellt werden können.

Zielsetzung

Im Vordergrund steht die Entwicklung einer innovativen, automatischen Bewertungsmethode des energetischen Anlagenbetriebs. Dabei wird der tatsächliche Energieverbrauch hinsichtlich seiner Lage in einem zulässigen Betriebsbereich bewertet. Dieser zulässige Betriebsbereich ist von zahlreichen größtenteils zeitlich variablen, deterministischen sowie stochastischen Parametern (z.B. Außentemperaturverlauf, Personenbelegung, Lüftungsbetrieb, bauphysikalischen Gegebenheiten) abhängig und muss mit einem geeigneten Verfahren bestimmt werden. Wesentliche Vorteile der Methode sind, dass keine manuelle Analyse der Energieverbräuche durch Fachpersonal mehr notwendig ist sowie, dass die zeitaktuelle Meldung unzulässiger Betriebszustände erfolgt und somit die Chance besteht sowohl energetische, wirtschaftliche wie auch qualitative (Minimierung von Ausfällen und Störungen) Verbesserungen rechtzeitig umzusetzen.

Durch die Möglichkeit der Betriebsbewertung (Soll-Ist-Vergleich, Größe der Abweichung) ergeben sich weiterhin auch neue Ansätze zur vertraglichen Gestaltung und Vergütungsregelung externer Betreiberfirmen oder bei PPP-Projekten.





Ronny Mai
wiss. MA / Planung
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Energetische Inspektion „light“ – kann das gutgehen?

Die DIN SPEC 15240 definiert die qualitativen Standards für die Durchführung einer Energetischen Inspektion und gibt Hilfestellung in Form von methodischen Beschreibungen, Checklisten, Kennwerten und Berechnungsverfahren. Sie liegt aktuell in der novellierten Fassung vom März 2019 vor und wird derzeit überarbeitet. Das Forschungsvorhaben des BBSR zur „Untersuchung der Qualitätsverbesserungen durch die Berechnungsverfahren innerhalb der DIN SPEC 15240:2019-03 für die energetische Inspektion von Klimaanlageanlagen“ liefert neue Impulse für qualitative Verbesserungen an den Berechnungsverfahren aber auch am Inspektionsverfahren selbst. Darüber hinaus wurden Vorschläge für weitere Vereinfachungen erarbeitet, um beispielsweise für einfache Anlagenkonfigurationen den Aufwand für die Energetische Inspektion in vertretbarem Rahmen zu halten.

Zur besseren Einschätzung der Ausgangssituation wurde eine direkte Kommunikation mit den Akteuren der Energetischen Inspektion, bestehend aus der auftraggebenden Seite (Betreiber, Facility Manager, Eigentümer) und der auftragnehmenden Seite (Inspektoren) angestrebt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden daher Befragungen von etwa 2000 Marktteilnehmern durchgeführt und 172 Inspektionsberichte aus 3 Bundesländern aus den Jahren 2015 bis 2020 analysiert und ausgewertet. Zusammengefasst lässt sich ableiten, dass die Qualität der Inspektionsberichte verbesserungsbedürftig ist und stark durch die Softwareanwendung beeinflusst wird. Dadurch liegt der Fokus oft viel zu stark auf der Berechnung von Kennwerten und das eigentliche Inspektionsziel, das Erkennen von kostengünstigen Verbesserungsmaßnahmen, wird verfehlt. Oft werden dafür nur standardisierte Textphrasen genutzt und keine individuell formulierten Empfehlungen erarbeitet.

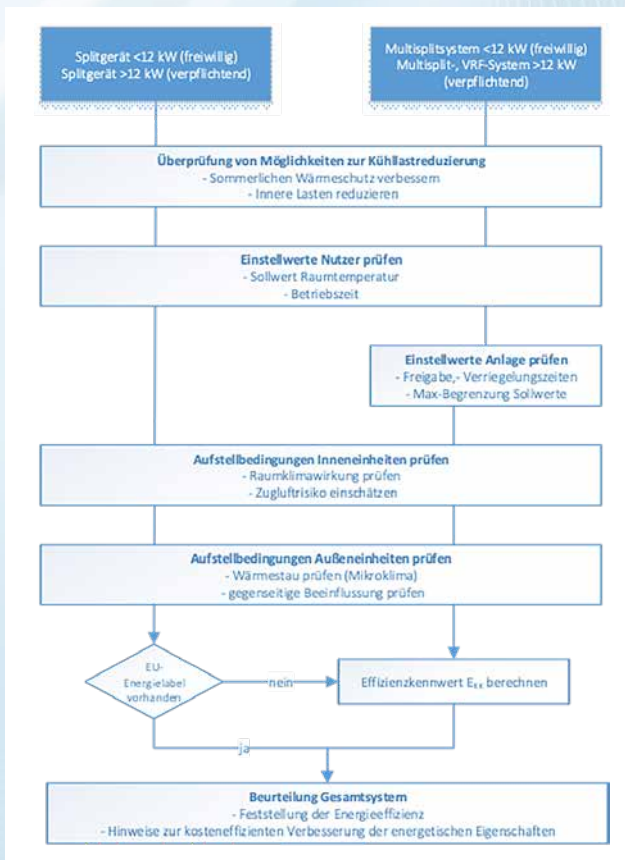
Aufbauend auf dieser Marktanalyse wurden verschiedene Optionen zur Qualitätsverbesserung betrachtet. Dazu gehören neben der Verbesserung der Qualität der Berechnungsverfahren vor allem Vereinfachungen am Inspektionsverfahren selbst. Dafür wurden verschiedene Optionen untersucht:

- Vereinfachungen für Split- und Multisplit- und VRF-Systeme (DX-Systeme)
- Reduzierung des Umfangs der Messaufgaben bei RLT-Anlagen
- Einführung von Empfehlungen anstatt on Pflichtaufgaben
- Vereinfachungen bei Gebäuden mit GEG-konformer Gebäudeautomation

- Hinweise zum verbesserten Umgang mit dem vereinfachten Verfahren zur Kühllastabschätzung
- Reduzierung des Aufwandes für die Dimensionierungsprüfung

Diese Optionen wurden inhaltlich für die direkte normative Umsetzung aufbereitet und grafisch mit Entscheidungsbäumen untersetzt.

Beispiel für einen Entscheidungsbaum bei der Energetischen Inspektion von DX-Systemen:



Im Rahmen des Vortrages werden die Vereinfachungen für eine Energetische Inspektion „light“ vorgestellt und erläutert, warum das nicht zwingend mit Einschränkungen der Inspektionsqualität einhergehen muss. spatially accurate tapping profiles, CLIMA 2022 Conf. (2022). <https://doi.org/10.34641/clima.2022.229>.



Karsten Tawackolian
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut

Tongyao Huang
Hermann-Rietschel-Institut

Georg Hetzel
Trox GmbH

Stefan Brandt
Hermann-Rietschel-Institut

Retrofit einer Büro-Klimaanlage mit einem Cloud-Monitoringsystem

Eine Cloud-Anbindung von RLT-Anlagen bietet zahlreiche Möglichkeiten für Monitoring, Diagnose, prädiktive Instandhaltung und Optimierungen. Im Beitrag werden Untersuchungen an einer Bestandsanlage vorgestellt, bei der ein Cloud-Monitoring nachgerüstet wurde: Hydraulischer Abgleich der Anlage, Einstellung des Vordrucks, Untersuchungen von Störungen durch Fensteröffnungen und Türöffnungen und die energetische Bewertung der Regelstrategie für Teillast.

Im Forschungsprojekt Luftkonverter (Förderkennzeichen 03ET1606A) wurde das Luftkanalnetz der Büroklimaanlage des Hermann-Rietschel-Instituts mit einem Cloud-Monitoringsystem ausgestattet. Von TROX wurde die Cloud-Lösung bereitgestellt.

Es handelt sich um eine Bestandsanlage mit einigen teils bekannten Defiziten, welche untersucht wurden, um Verbesserungsansätze abzuleiten und umzusetzen. Da es sich um ein reales Luftkanalnetz mit mehreren Abzweigen handelt treten dort Wechselwirkungen, auf welche anhand des Cloud-Monitorings untersucht werden können.

Die Anlage versorgt in reinem Zuluft-Betrieb über 14 Stränge (18 Räume) bei einem Gesamtvolumenstrom von 2.800 m³/h. Die Räume werden nach dem Quellluftprinzip belüftet. Raumheizung und -kühlung erfolgen separat wassergetragen über Quellluft-Induktionsdurchlässe. In den einzelnen Strängen sind manuell voreingestellte Regulierklappen installiert. Für den Seminarraum im 1.OG sind vier variable Volumenstromregler TVR/100/Easy installiert.

Im ersten Schritt erfolgte die Ertüchtigung der Anlage:

- Nachrüsten von zwei Volumenstrommesseinrichtungen (Trox VMR) und Einbau eines Differenzdrucktransmitters am Zentralgerät
- Austausch der Regulierklappen durch 14 Volumenstromregler (Trox TVR/125/Easy) in allen Strängen.
- Cloud-Anbindung für die Übermittlung der Daten der Volumenstrommesseinrichtungen und der Differenzdrucktransmitter. Übermittlung von Ist- und Sollwerten der 14 Volumenstromregler

Die Messdaten werden von den Sensoren über spezifische Konverter an das Gateway übertragen und von dort per Mobilfunk an die Cloud-Datenbank gesendet. Mittels Webbrowser kann über das Internet auf die aktuellen und historischen Daten zugegriffen werden (Abbildung 1). Die Nutzer können ortsunabhängig das System überwachen und Soll-Werte einstellen. Abbildung 2 zeigt als Beispiel die Volumenströme in den einzelnen Strängen vor und nach der Nachrüstung und Justierung. Abbildung 3 zeigt den Vergleich für den elektrischen Energiebedarf für die Luftverteilung bei verschiedenen Regelstrategien für Teillast.

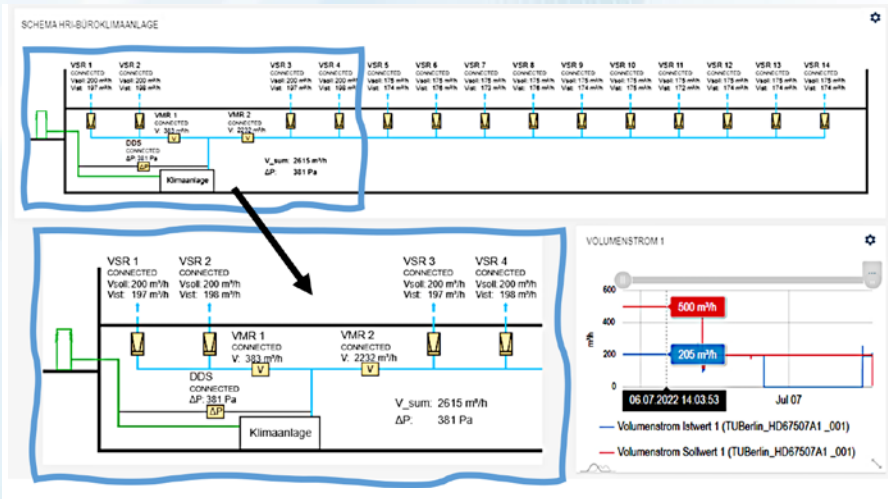


Abbildung 1: Web-Interface des Cloud-Systems mit Anlagenschema und Monitoring

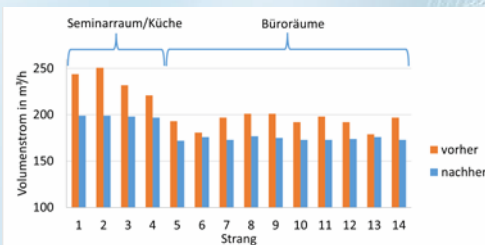


Abbildung 2: Volumenströme in den Strängen vor und nach der Nachrüstung

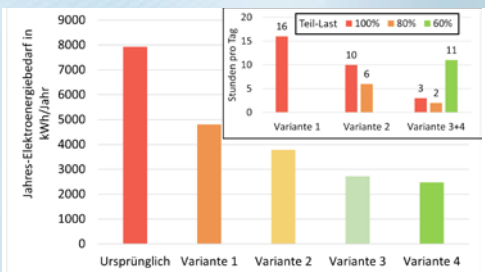


Abbildung 3: Elektrischer Energiebedarf verschiedener Varianten (keine Berücksichtigung von Lüftungswärmeverlusten). Oben rechts: Teillastprofile. Variante 4 mit Vor-Druckanpassung.



André Kremonke
wiss. Mitarbeiter
TU Dresden, Institut für Energietechnik,
Professur für Gebäudeenergietechnik
und Wärmeversorgung
Lars Schinke
TU Dresden

Alf Perschk
TU Dresden
Markus Arendt
TU Dresden
Clemens Feldmann
TU Dresden

Möglichkeiten und Herausforderungen bei der Umsetzung der EnSikuMaV – ein Erfahrungsbericht

Mit der Verordnung zur Sicherung der Energieversorgung über kurzfristig wirksame Maßnahmen soll eine Mangelsituation bei der Energieversorgung vermieden oder diese bei ihrem Eintritt abgemildert werden.

Am Beispiel eines Institutsgebäudes wurde die Umsetzung der EnSikuMaV aktiv begleitet und einem Monitoring unterzogen. Die Erfahrungen zeigen, dass bereits hinsichtlich der konkreten Umsetzung der Verordnung erhebliche Unsicherheiten mit einem daraus resultierendem Konfliktpotential bestehen. So ist die Begrenzung der Raumlufttemperatur auf maximal 19 °C eine Maßnahme, welche die thermische Behaglichkeit deutlich beeinträchtigt und damit weit über die in der Verordnung formulierte Motivation zur Vermeidung eines „unnötigen Energieverbrauches“ hinausgeht. Diesbezüglich erfolgt eine Bewertung der thermischen Behaglichkeit, bei der nicht nur die Kriterien der DIN EN ISO 7730, sondern weitere, für Büroarbeiten typische Einflussfaktoren herangezogen werden. Für das Monitoring wurden u.a. Räume ausgewählt, in denen sich die NutzerInnen in ihrem thermischen Behaglichkeitsempfinden besonders stark beeinträchtigt fühlen. Aus der wissenschaftlichen Perspektive heraus wurden dabei erweiterte Möglichkeiten betrachtet, welche die Einschränkungen des thermischen Behaglichkeitsempfindens durch eine örtlich begrenzte, direkt auf den Körper einwirkende Wärmezufuhr kompensieren. Diese Möglichkeiten werden hinsichtlich der thermischen Wirkung, des Energieverbrauches und der Benutzerfreundlichkeit bewertet.

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchungen ist die technische Umsetzung der EnSikuMaV in einem fernwärmeversorgten Institutsgebäude mit einem signifikanten Anteil an Versuchs- und Gemeinschaftsflächen. Da das gesamte Gebäude über Freie Heizflächen beheizt wird und deren Regelventile zentral angesteuert werden können, kann die Umsetzung als Benchmark für Vergleichsgebäude betrachtet werden, welche üblicherweise mit Thermostatregelventilen ausgestattet sind. Erfolgt die Umsetzung nach dem Wortlaut der EnSikuMaV (... Begrenzung der Raumluft-

temperatur auf max. 19°C ...) ist zu erwarten, dass Anlagen mit konventionellen Thermostatregelventilen ein höheres Einsparpotential bei deutlich vermindertem Komfort erreichen. Demgegenüber ist zu erwarten, dass es in der praktischen Umsetzung zu einer Tendenzumkehr kommt. In Anlagen mit Thermostatregelventilen führt die indirekte und von Störgrößen beeinflusste Limitierung der Wärmezufuhr über die Begrenzung der Vorlauftemperatur mit einer i.d.R. nicht gegebenen Möglichkeit zur Beobachtung der Raumtemperatur dazu, dass tendenziell Raumtemperaturen bereitgestellt werden, welche deutlich über dem Vorgabewert von 19 °C liegen, damit sich in den wenigen thermisch besonders benachteiligten Räumen keine zu hohen Behaglichkeitsdefizite einstellen. Dementsprechend kann als Fazit abgeleitet werden, dass die Zielstellung der EnSikuMaV mit ansteuerbaren Thermostaten wesentlich besser erreicht werden kann.

Insbesondere ermöglichte das Monitoring bei der Umsetzung der EnSikuMaV die Betrachtung eines Vergleichsfalles, welcher die grundsätzlichen und daher auch auf andere Temperaturbereiche übertragbaren Einsparpotentiale von smarten Heizkörperregelventilen aufzeigt, dabei aber auch auf die zu bewältigenden Herausforderungen hinweist. *spatially accurate tapping profiles*, CLIMA 2022 Conf. (2022). <https://doi.org/10.34641/clima.2022.229>.



Mani Zargari
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
SIZ energieplus an der TU
Braunschweig
Karsten Neumann
FH Westküste

Oliver Opel
FH Westküste
Marlies Wiegand
FH Westküste
Judith Scholz
synavision GmbH

Korrosionssichere Inbetriebnahme von Wasserkreisläufen zum Heizen und Kühlen - Ergebnisse des Forschungsprojektes KENBOP

Bei der Planung, Ausführung und Inbetriebnahme geschlossener Heiz- oder Kühlkreisläufe in Gebäuden werden die Weichen für einen korrosionssicheren Betrieb gestellt. Daher wurden im Rahmen des Forschungsprojekts KENBOP vier Gebäude (Humboldt Forum, Berlin; Holliday Inn und Super 8, Hamburg; Neubau Hauptverwaltungsgebäude WILO, Dortmund) während der Inbetriebnahme und der ersten Betriebsjahre wissenschaftlich begleitet, um korrosionstechnische Risiken zu identifizieren und Vermeidungsstrategien zu entwickeln. Hierbei wurden die Planung und Ausführung überprüft, sowie die Wasserkreisläufe mit elektrochemischen Sensoren einem technischen Monitoring unterzogen. Das als FeQuan bezeichnete Messsystem ermöglicht die lückenlose Überwachung der relevanten Wasser-Parameter über ein webbasiertes Dashboard und erlaubt die Berechnung des Gehaltes an gelöstem Eisen als Korrosionsindikator. Das Dashboard und die Entwicklung von einer automatischen Mustererkennung erfolgte durch den Verbundpartner synavision. Parallel wurden regelmäßige Proben zur chemischen Analyse des Umlaufwassers genommen.

Schon bei der Planung bestand Optimierungspotential. Folgende Korrosionsrisiken konnten identifiziert werden:

- Die Behandlung des Nachspeisewassers durch Enthärtungs- oder Entsalzungspatronen wird nicht vorgegeben
- Es ist keine Alarmfunktionen vorgesehen, die eine Erschöpfung der Patronen anzeigt; im besten Fall erfolgt die Prüfung nach zeitl. festgelegten Intervallen, die sich als ungeeignet erwiesen haben
- Parameter der automatischen Druckhaltung werden nicht vorgegeben
- Unzureichende Definition der Materialien, besonders kritisch hierbei: potentiell diffusionsoffene Anschlusschläuche von Konvektoren und Heiz- und Kühldekken und nicht entzinkungsbeständige Buntmetalle

Spülung, Befüllung und Inbetriebnahme unterliegen regelmäßig keiner Planung oder Kontrolle und erfolgen nach Gegebenheit mit der Gefahr von nassen, leerstehenden

Leitungen, unzureichenden Spülungen oder falschem Füllwasser. Es wurde seitens des Forschungskonsortiums vollentsalztes Füllwasser empfohlen. Im Ergebnis ergaben sich durch Reste von Spülwasser oder falschem Füllwasser Leitfähigkeiten, die in den meisten Fällen zwischen 50 und 80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lagen bei einer Gesamtspanne zwischen 15 und 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im Betrieb ist die Leitfähigkeit in fast allen Fällen angestiegen, weil Enthärtungs- anstatt Entsalzungskartuschen verwendet wurden, oder letztere erschöpft waren.

Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Anfangsleitfähigkeit des Umlaufwassers und dem späteren Auftreten von Korrosionserscheinungen beobachtet werden, die mit dem gestörten Aufbau von Schutzschichten erklärt werden, vgl. Abbildung 1. Von den acht überwachten Systemen weist zwei Jahre nach der Inbetriebnahme eines relevante Korrosionsprobleme durch Verstopfungen auf. Ursächlich waren unentdeckte sauerstoffdiffusionsoffene Anschlussschläuche von mehreren Hundert Konvektoren. Ein weiteres System weist hohe Eisengehalte auf, die bislang ohne Folge geblieben sind.

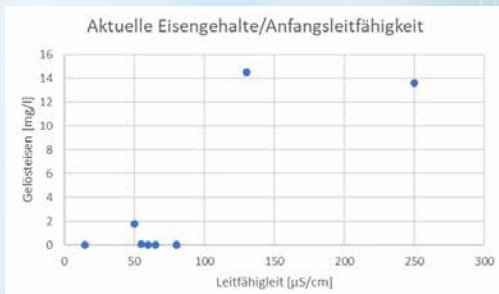


Abbildung 1: Leitfähigkeit des Umlaufwassers bei Inbetriebnahme und Eisengehalte ein Jahr später

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Inbetriebnahmeprozedur mit dichter und regelmäßiger Überwachung des Umlaufwassers entwickelt, die sich an den Richtlinien VDI 2035 und VDI 6044 orientiert, aber wesentlich strenger ausgelegt ist. Unter anderem werden eng getaktete Prüfungen der Umlaufwasserqualität vorgesehen. Es ist unumgänglich, dass die ausführenden Firmen in die Prüfungsprozedur über ein Freigabesystem verpflichtend eingebunden werden. Eine Überwachung durch unabhängige Dritte, ob mit oder ohne technisches Monitoring, ist empfehlenswert. Auch erscheint es notwendig, stärker Bauherrn und Entscheider für das Korrosionsrisiko in Wasserkreisläufen und die Schadensrisiken zu sensibilisieren.

Förderkennzeichen: 03ET1647; Verbundvorhaben: 01185091/1
– EnOB: KENBOP

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages





tga
KONGRESS
2023



Unter der Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Kontakt: Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Hoferstraße 5 · 71636 Ludwigsburg · Tel: +49 7141 25 881 0
Fax: +49 7141 25 881 19 · E-Mail: info@fgk.de · www.fgk.de · www.tga-kongress.de



Unter der Schirmherrschaft des



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz