



FGK

BTGA



TGA-KONGRESS 2025

Gebäudetechnik für Mensch und Umwelt

Bestell-Nr. 463 © panthermedia.net / gmn9037

21./22. Mai 2025 · WISTA conventions Berlin

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

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Fachhochschule Münster

Dipl.-Ing. (FH) Bernhard Dürheimer
Bundesindustrieverband Technische
Gebäudeausrüstung e. V.

Prof. Dr.-Ing. Uwe Franzke
Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden

Udo Jung
VDMA e. V. – Fachverband Allgemeine
Lufttechnik

Prof. Dr.-Ing. Christoph Kaup
Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Umwelt-Campus Birkenfeld, Hochschule
Trier

Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel
Hermann-Rietschel-Institut, Technische
Universität Berlin

Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller
E.ON ERC, Rheinisch-Westfälische
Technische Hochschule Aachen

Karl-Walter Schuster
Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Bundesindustrieverband Technische
Gebäudeausrüstung e. V.

Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Seifert
TU Dresden / TU Berlin

Prof. Dr.-Ing. Konstantinos Stergiaropoulos
Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik
und Energiespeicherung, Universität Stuttgart

Andreas von Thun
Herstellerverband Raumluftechnische
Geräte e. V.

Trägerverbände

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



**Bundesindustrie-
verband Technische
Gebäudeausrüstung
e. V.**
(BTGA)



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



**Fachverband All-
gemeine Lufttechnik
(VDMA ALT)**



12:00 Empfang im Zuse-Saal

Eröffnung · Bunsen-Saal

Moderation: Frank Ernst

- 13:00 [Eröffnung](#)
Frank Ernst, Fachverband Gebäude-Klima e. V.
- 13:05 [Grußwort](#)
Christoph Kaup, Fachverband Gebäude-Klima e. V.
- 13:20 [Grußwort](#)
Martin Kriegel, Hermann-Rietschel-Institut, Technische Universität Berlin
- 13:35 [Keynote](#)
Lamia Messari-Becker, Karlsruher Institut für Technologie
- 14:10 [Kaffeepause im Zuse-Saal](#)

Nachhaltigkeit in der TGA · Bunsen-Saal

Moderation: Andreas von Thun

- 14:40 [Kreislaufgerechte TGA- und Laborplanung im Technologiepark Adlershof](#)
Roman Fritsches-Baguhl, Averdung Ingenieure & Berater GmbH
- 15:05 [Lebenszyklusanalyse in der TGA: Methode einer Ökobilanzierung für die frühe Planungsphase mit Anlagentechnikatalogen](#)
Novak Kostic, Frankfurt University of Applied Sciences
- 15:30 [Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Smart Readiness Indicator und aus der offiziellen SRI-Testphase der BRD](#)
Tristan Emich, OnSite Solutions
- 15:55 [TGA auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäude](#)
Michael Schwarz, LTG AG
- 16:20 [GEnEff – Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz anhand der Innenraumqualität und des Energiebedarfs mit Hilfe von Daten aus der Nachhaltigkeitszertifizierung und Nutzerumfragen](#)
Lukas Schumann, TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut
- 16:45 [EFH-Bestand: monoenergetische und bivalente Wärmepumpenanlagen im Einsatz](#)
Jeannette Wapler, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
- 17:10 [KOKONI ONE: Vorreiter für fossilfreie Quartiersenergie aus Sonne und Erdwärme](#)
Joachim Walter, naturstrom AG

Smarte Gebäude – Digitalisierung, Netzdienlichkeit und Gebäudeautomation · Einstein-Kabinett

Moderation: Joachim Seifert

- 14:40 [Maschinelles Lernen in der TGA: Methoden, Anwendungen und Herausforderungen](#)
Thomas Oppelt, ILK Dresden
- 15:05 [Prädiktive Betriebsoptimierung von Gebäudeenergiesystemen durch Methoden des maschinellen Lernens am realen System](#)
Max Berkold, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

- 15:30 **Technisches Monitoring – Qualitätssicherung für einen effizienten Anlagenbetrieb: Aber wie?**
Franziska Bockelmann, Steinbeis-Innovationszentrum energieplus; Valeria Ehlers, Hochschule Biberach
- 15:55 **Open-Source Anwendungen für die benutzerfreundliche Integration von Gebäudetechnik in FIWARE-basierte Energiemanagementsysteme**
Rita Streblow, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
- 16:20 **Planung und Inbetriebnahme von IoT-Systemen zur energetischen Optimierung des Gebäudebestands**
Thomas Storek, Drees & Sommer SE
- 16:45 **Selbstlernende Adaption der Heizkurve für Heizanlagen**
Thomas Scheunemann, Berliner Hochschule für Technik
- 17:10 **Standardisierte Digitalisierung mit Hilfe des BACTwin 2025**
Jürgen Langstein, Delta Controls Germany / AMEV BACTwin

Wärmewende – Innovative Systemlösungen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Netze · Newton-Kabinett

Moderation: Uwe Franzke

- 14:40 **Scheitert die Wärmewende an der Gebäudeautomation?**
Eckehard Fiedler, I.F.I. Institut für Industrieaerodynamik
- 15:05 **Entwicklung eines vakuumsuperisolierten Hochtemperaturspeichers zur saisonalen Speicherung von Wärmeenergie aus nachhaltigem Überschussstrom**
Mani Zargari, Steinbeis-Innovationszentrum energieplus
- 15:30 **Wärmewende durch serielles Planen und Umsetzen beschleunigen**
Bernd Beierkuhnlein, SISTEMS GmbH
- 15:55 **Elektrifizierung in der TGA. Ja zu E-Durchlauferhitzern. Nein zur Überlastung von Hausanschlüssen. Wie die reale Gleichzeitigkeit wirklich aussieht?**
Lea Sophie Welzel, CLAGE GmbH
- 16:20 **Heizleistungsprognosen mit maschinellem Lernen: Praxisbeispiele aus Berliner Mehrfamilienhäusern**
Alexander Neubauer, TU Berlin
- 16:45 **Einfluss der Heizlast-Berechnungsmethodik auf die Dimensionierung und Effizienz von Luft/Wasser-Wärmepumpen**
Michael Schaub, Hochschule Coburg
- 17:10 **Alte Bausubstanz – neue Technik: Reallabor für messtechnische Analysen zur Prüfung von Lüftungskonzeptionen im musealen Raum**
Hannes Rosenbaum, ILK Dresden

TGA 2045 · Bunsen-Saal

Moderation: Claus Händel

- 9:00 **Variabel-Volumenstrom-Systeme für die Lüftung in Wohngebäuden**
Mostafa Barghash, Forschungsgesellschaft Heizung-Lüftung-Klimatechnik
Stuttgart mbH
- 9:25 **FlexEhome: Vollständige und flexible Energieversorgung eines EFH durch modell-
prädiktiven Einsatz von Kurz- und Langzeitspeichern**
Raik Fahrlich, TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut
- 9:50 **Validierung von CFD-Modellen zur Simulation von Raumluftströmungen**
Paul Hennies, HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst
Holzminden
- 10:15 **Push-Pull-XXL-Lüftung Dezentrale Lüftung für Klassen- und Seminarräume mit
akustischer Regelungsoption**
Karsten Hackeschmidt, ILK Dresden
- 10:35 **Kaffeepause im Zuse-Saal**

Smarte Gebäude – Digitalisierung, Netzdienlichkeit und Gebäudeautomation · Bunsen-Saal

Moderation: Frank Ernst

- 11:05 **Welchen Nutzen bringt Smart Readiness in deutschen Bürogebäuden?**
Verena Dannapfel, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
- 11:30 **Demand Side Management in Nichtwohngebäuden – ein technischer Erfahrungs-
bericht zwischen Forschung und Praxis**
Thomas Schreiber, aedifion GmbH
- 12:00 **Keynote und anschließende Diskussionsrunde mit Industrievertretern und
Hochschulen**
Christian Maaß, BMWK
- 13:00 **Mittagessen im Zuse-Saal**

TGA 2045 · Bunsen-Saal

Moderation: Udo Jung

- 14:00 **Abfall der Vorlauftemperatur in Wärmepumpen-Systemen**
Alexander Floß, Hochschule Biberach
- 14:25 **Adaptive Ventilatorschaufeln mit Formgedächtnislegierungen: Vergleich unter-
schiedlicher Geometrieconzepte zur Energieeinsparung**
Timo Eichenhardt, ILK Dresden
- 14:50 **Algorithmische Systemplanung von RLT-Anlagen: Effiziente Lösungen für
moderne Lüftungsanlagen**
Julius Breuer, TU Darmstadt, Institut für Fluidsystemtechnik
- 15:15 **Von der Potentialstudie zur experimentellen Untersuchung – Regelbare Dämm-
elemente für Fassadensysteme**
Michael Müller, IGTE Stuttgart
- 15:40 **Echtzeit-Diagnosetool für Hygiene und Energiekennwerte von RLT-Komponenten**
Christian Friebe, ILK Dresden
- 16:00 **Resümee des Wissenschaftlichen Beirates**
Moderation Claudia Kandzia

Wärmewende – Innovative Systemlösungen für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Netze · Einstein-Kabinett

Moderation: Christoph Kaup

- 9:00 Infrarotheizungen als Option zur Dekarbonisierung des Gebäudebestandes
Joachim Seifert, TU Dresden, TU Berlin
- 9:25 fronTherm – eine neuartige Fassadenheiz- und -kühleinheit zur seriellen Sanierung von Bestandsgebäuden
Andreas Wagner, Karlsruher Institut für Technologie
- 9:50 N5GEH: E³ - Ein multienergetischer Systemregler für die bidirektionale Anbindung an Wärmenetze der Zukunft
Paul Seidel, TU Dresden
- 10:15 Künstliche Intelligenz optimiert das Fernwärmenetz
Amin Fariad, Danfoss GmbH
- 10:35 Kaffeepause im Zuse-Saal

Nachhaltigkeit in der TGA · Einstein-Kabinett

Moderation: Karl-Walter Schuster

- 11:05 Anomalieerkennung im Gebäudebetrieb mit Hilfe multilinearer Parameteridentifikation
Leona Schnelle, Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG
- 11:30 Madaster – Die Plattform für nachhaltige Planung, zirkuläres Bauen und Industrial ReUse
Gerhard Feldmeyer, Madaster Foundation

Gesundheit – Behaglichkeit – Leistungsfähigkeit · Einstein-Kabinett

Moderation: Konstantinos Stergiaropoulos

- 14:00 Luftwechselratenmessung in Innenräumen – Entwicklung eines mobilen, optischen Messsystems mit Echtzeitanalyse
Rebekka Grüttner, ILK Dresden
- 14:25 Infection control and energy optimization in hospital settings
Katalin Fülep, TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut
- 14:50 Indoor Environmental Quality Assessment in a Virtual Reality Laboratory
Kushagra Mathur, TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut
- 15:15 Praktische Anwendung von Lüftungskonzepten nach DIN 1946-6 und deren Einfluss auf das Feuchteschaden- und Gesundheitsrisiko in Wohnungen
Doreen E. Kalz, Berliner Hochschule für Technik

Smarte Gebäude – Digitalisierung, Netzdienlichkeit und Gebäudeautomation

· Newton-Kabinett

Moderation: Martin Kriegel

- 9:00 Smart und nachhaltig: Heizen in der Ära von KI-, IoT und Cloud-Technologien
Payam Fatehi Karjou, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
- 9:25 Building Monitoring, Smart Readiness Indicator, Life Cycle Assessment unter Anwendung der BIM-Methode
Michael Müller, IGTE Stuttgart
- 9:50 Data driven Energy Management: A Hybrid Machine Learning and Reinforcement Learning Framework for Energy Scheduling
Amin Darbandi, TU Berlin, Hermann-Rietschel-Institut
- 10:15 Die Zukunft der Energiekonzeption: schnell, präzise & flexibel
Bernd Petraus, DBI AG / berta & rudi
- 10:35 Kaffeepause im Zuse-Saal

Abwärmenutzung · Newton-Kabinett

Moderation: Bernhard Dürheimer

- 11:05 Abwärmenutzung industrieller Prozesse – Innovatives Energiedesign des Versorgungssystems einer Produktionsstätte durch mathematische Optimierung und Anlagensimulation
Jan Richarz, MorgenGrün – Innovationen von ZWP
- 11:30 Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden: Ein neues Konzept für Enthalpieübertrager
Lisa Krüger, RWTH Aachen, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik

Wasserhygiene · Newton-Kabinett

Moderation: Stefan Tuschy

- 14:00 Ganzheitliche Lösungen für das Regenwassermanagement auf Dächern und Dachterrassen
Mathias Johr, ACO Passavant GmbH
- 14:25 Schutz gegen Rückstau: Smarte Hybridtechnik senkt Energiekosten und erhöht Betriebssicherheit
Roland Priller, KESSEL SE + Co. KG
- 14:50 N5GEH: TWE-Flex – Optimierung der Trinkwassererwärmung mittels virtueller Sensoren auf Basis eines Temperaturhaltebandes
Martin Altenburger, TU Dresden
- 15:15 Einflussfaktoren auf die Kaltwassertemperatur und wie halte ich kaltes Trinkwasser kalt?
Ingo Sanft, Gebr. Kemper GmbH + Co. KG
- 15:40 Einfluss der Betriebsführung auf die Trinkwasserqualität – Die Abgrenzung zwischen Planer- und Betreiberverantwortung
Carsten Bäcker, FH Münster

* Änderungen am Programm vorbehalten

[illegible]



Frank Ernst

Hauptgeschäftsführer Bundesindustrieverband Technische Gebäude-
ausrüstung e. V.
Geschäftsführer Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Geschäftsführer Herstellerverband Raumlufttechnische Geräte e. V.
Geschäftsführer TGA-Repräsentanz Berlin

Deutschland im Jahr 2045 – Ein Land erreicht das Klimaziel

Strom aus Wind und Sonne, umgesetzte Wärmepläne in jeder Kommune, klimaneutraler Alltag: Ein Blick in ein neues Kapitel deutscher Geschichte.

Berlin, 1. Januar 2045 – Deutschland hat es geschafft. Nach jahrzehntelanger Arbeit, unzähligen politischen Debatten, technischen Innovationen und gesellschaftlichem Wandel verkündet die Bundesregierung heute offiziell: „Deutschland ist klimaneutral.“ Ein historischer Meilenstein für ein Land, das einst zu den größten Emittenten von Treibhausgasen in Europa gehörte.

100 Prozent grüner Strom – das neue Normal

Mit dem heutigen Tag wird der gesamte Strombedarf Deutschlands vollständig aus Erneuerbaren Energien gedeckt. Was vor Jahren noch als ehrgeiziges Ziel erschien, ist nun Realität: Windkraftparks an Land und auf See, riesige Solarflächen auf Dächern und Feldern, moderne Speichertechnologien und ein intelligentes Stromnetz sichern die Versorgung – rund um die Uhr.

„Wir zeigen, dass eine Industrienation mit 83 Millionen Einwohnern ohne Kohle, Gas und Atom auskommen kann – und zwar sicher, bezahlbar und nachhaltig“, sagte die Bundeskanzlerin in ihrer Neujahrsansprache. „Das ist ein Erfolg der ganzen Gesellschaft.“

Wärme aus der Region – lokal, sauber, zukunftsfest

Ein weiterer Grund zum Feiern: Die kommunale Wärmeplanung wurde 2028 vollständig abgeschlossen – in allen 11.000 Städten und Gemeinden. Sie war eines der Fundamente, um das Ziel der Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen: Jede Kommune kannte seitdem ihren optimalen Weg zur klimaneutralen Wärmeversorgung. Ob Nahwärmenetze aus Bioenergie, Geothermie-Anlagen oder Gebäude mit Solar- und Wärmepumpentechnologie – die Zeiten der fossilen Heizungen sind vorbei.

Klimaneutralität – mehr als nur Technik

Doch Deutschland 2045 ist mehr als ein technisches Wunderwerk. Es ist auch ein gesellschaftlicher Wandel: Gebäude sind saniert, Mobilität ist emissionsfrei, Städte sind grün und lebenswert. Schulen, Unternehmen und Behörden haben Nachhaltigkeit in ihren Alltag integriert. Die Wirtschaft floriert, angetrieben durch intelligente Technologien, Recycling-Innovationen und eine starke Kreislaufwirtschaft.

Die CO₂-Bilanz des Landes ist nun ausgeglichen: Was noch emittiert wird – etwa aus der Landwirtschaft oder aus industriellen Prozessen – wird durch natürliche oder technische Senken ausgeglichen. Wälder, Moore und CO₂-Speicheranlagen übernehmen den Rest.

Nur eine Vision oder doch erreichbar?

Damit die geschilderte Vision Wirklichkeit wird, braucht es eine Kombination aus kluger Politik, technologischem Fortschritt und gesellschaftlichem Wandel. Aus heutiger Sicht kann das Ziel mit folgenden Bausteinen realistisch erreicht werden:

1. Stromversorgung komplett auf Erneuerbare Energien umstellen

- **Schneller Ausbau von Wind- und Solarenergie:** Vor allem Windkraft an Land und auf See sowie Photovoltaik müssen massiv ausgebaut werden – bis 2030 sollen bereits 80 Prozent des Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen.
- **Stromspeicher und Netze modernisieren:** Um schwankende Stromproduktion auszugleichen, sind leistungsfähige Speicher (Batterien, Wasserstoff, Pumpspeicher) und smarte Netze nötig.
- **Energieeffizienz steigern:** Der Verbrauch muss durch effizientere Geräte, Gebäudetechnik und Prozesse sinken, das reduziert die Gesamtlast.

2. Kommunale Wärmeplanung flächendeckend umsetzen

- **Verpflichtende Wärmepläne bis 2028:** Alle Kommunen sollen bis spätestens 2028 einen konkreten Plan vorlegen, wie sie die klimaneutrale Wärmeversorgung umsetzen wollen – mit Erneuerbarer Energie und Abwärmenutzung.
- **Wärmewende durch Wärmepumpen, Solarthermie, Geothermie, Biomasse und Nahwärme:** Je nach Region muss die passende Lösung entwickelt werden.
- **Förderprogramme und soziale Abfederung:** Sanierungen und neue Heizsysteme bleiben nur so für alle bezahlbar und werden nur so von einer Mehrheit der Bevölkerung unterstützt.

3. Gebäude sanieren und modernisieren

- **Sanierungsrate erhöhen:** Derzeit liegt die Sanierungsquote bei rund einem Prozent – nötig wären zwei bis drei Prozent pro Jahr, um alle Gebäude bis 2045 klimafit zu sanieren.
- **Individuelle Sanierungsfahrpläne (iSFP):** Sie unterstützen dabei, schrittweise und gezielt zu modernisieren – mit Dämmung, Fenster- und Heiztechnik-tausch.
- **Förderanreize:** Finanzielle Unterstützung sorgt dafür, dass die Sanierung attraktiver wird.

4. Verkehr dekarbonisieren

- **E-Mobilität weiter ausbauen:** E-Autos, Ladeinfrastruktur und günstiger grüner Strom gehören zusammen.
- **ÖPNV und Radverkehr stärken:** Mobilität muss komfortabel, günstig und emissionsfrei möglich sein – vor allem in Städten.
- **Güterverkehr auf Schiene und E-LKW umstellen:** Auch die Logistik muss klimaneutral werden.

5. Industrie klimaneutral umbauen

- **Grüner Wasserstoff:** Für Hochtemperatur-Prozesse (z. B. Stahl, Chemie) muss ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung stehen.
- **Kreislaufwirtschaft & Materialeffizienz:** Weniger Ressourcenverbrauch und mehr Recycling sind nötig.
- **Carbon Capture und Storage (CCS):** Nicht alle Emissionen werden zu vermeiden sein. Um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen, müssen auch in Deutschland CO₂-Abscheidung und -Speicherung möglich sein.

6. Natürliche CO₂-Senken stärken

- **Wälder** müssen aufgeforstet und nachhaltig bewirtschaftet werden.
- **Moor- und Feuchtgebiete** müssen renaturiert werden.

7. Bevölkerung mitnehmen

- **Transparente Kommunikation und Bildung:** Es muss transparent vermittelt werden, warum die Transformation hin zur Klimaneutralität nötig ist und welche Chancen sie bietet.
- **Faire Übergänge schaffen:** Keine Region und keine Bevölkerungsgruppe dürfen abgehängt werden – Stichwort „Just Transition“.
- **Bürgerbeteiligung:** Die Beteiligung der Bürgerinnen und Bürger durch Energiegenossenschaften, Wärmenetze im Besitz der Kommune usw. führt zu mehr Akzeptanz der Maßnahmen.

2045 – Deutschland ist klimaneutral: Das Ziel ist erreichbar, aber nur, wenn jetzt konsequent gehandelt wird. Die gute Nachricht ist, viele Lösungen existieren bereits. Und Veranstaltungen wie der TGA-Kongress tragen dazu bei, wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) schneller in die Praxis umzusetzen. Es muss deshalb nicht mehr darum gehen, ob wir das Ziel erreichen, sondern wie schnell wir es erreichen.



Für den Inhalt der einzelnen Beiträge
sind die Autoren verantwortlich

Roman Fritsches-Baguhl
Vorsitzender
tgabar e.V.
Leif Münch
Averdung Ingenieure & Berater GmbH

Kreislaufgerechte TGA- und Laborplanung im Technologiepark Adlershof

Grand Challenges im Technologiepark Adlershof

Der Technologiepark Adlershof ist ein führender Standort für Innovation und Nachhaltigkeit in Deutschland. Mit der Initiative „Grand Challenges“ setzt Adlershof auf die Bewältigung globaler Herausforderungen wie Klimaschutz, zirkuläre Materialwirtschaft und digitale Infrastruktur.

Averdung Ingenieure & Berater ist Gründungsmitglied von tgabar e.V. und ist eingeladen, durch interdisziplinäre Zusammenarbeit, innovative Technologien und nachhaltige Strategien einen Beitrag zur Lösung dieser Herausforderungen zu leisten. Das Konzept umfasst fünf zentrale Handlungsfelder (GC 1.0 bis GC 5.0), die im Folgenden erläutert werden.

GC 1.0: Kreislaufgerechte Bedarfsplanung

- 1.1 Lebenszykluskostenanalyse (LCA) für Studie „konventionell“
- 1.2 Budget für LCA (= max. Verschwendung) definieren
- 1.3 Maximale Flexibilität für WISTA Technologie- und Forschungszentren in Bedarfsplanung sicherstellen
- 1.4 Bedarfsplanung nach DIN 18205 um LCA-Budget erweitern

GC 2.0: BIM Anwendungsfall „Kreislaufgerecht“ in AIA und BAP

- 2.1 Ziel „Kreislaufgerecht“ für BIM definieren
- 2.2 Ziel und Anwendungsfall in AIA für GCZ beschreiben
- 2.3 BIM-Manager für GCZ finden (WISTA)
- 2.4 Muster AIA und Vorlage-BAP „Kreislaufgerecht“ veröffentlichen

GC 3.0: Re-Use und Refurbish WISTA Bestand für GCZ

- 3.1 Asset Management „Forschungslabor“ für GCZ schaffen
- 3.2 Pre-Demolition-Audit als Pilot für DIN SPEC 91484
- 3.3 Echte digitale Bestandsaufnahme „Gebäude A“ (BJ 1986)
- 3.4 Zertifizierte Bestandsbauteile werden in GCZ eingeplant und verbaut

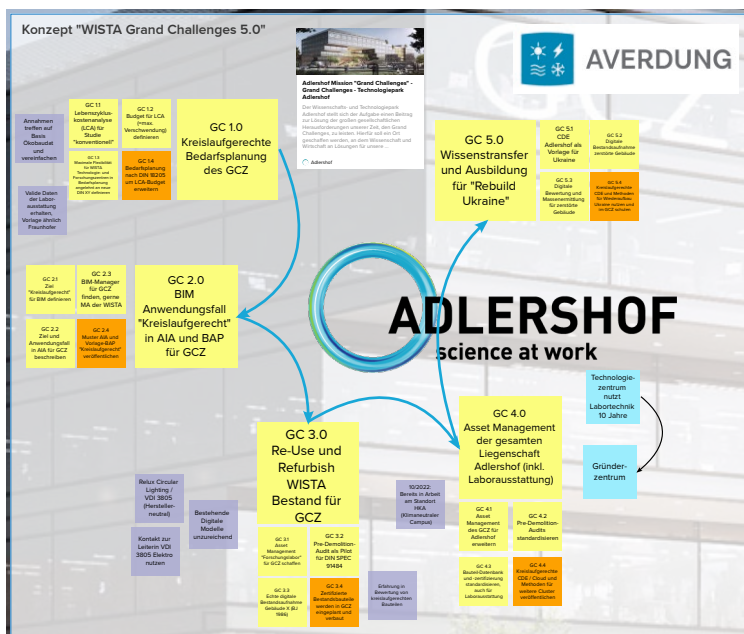
GC 4.0: Asset Management der gesamten Liegenschaft Adlershof (inkl. Laborausstattung)

- 4.1 Asset Management des GCZ für Adlershof erweitern
- 4.2 Pre-Demolition-Audits standardisieren
- 4.3 Bauteil-Datenbank und -zertifizierung standardisieren, auch für Laborausstattung
- 4.4 Kreislaufgerechte CDE / Cloud und Methoden für weitere Cluster veröffentlichen

GC 5.0: Wissenstransfer und Ausbildung für „Rebuild Ukraine“

- 5.1 CDE Adlershof als Vorlage für Wiederaufbau der Ukraine
- 5.2 Digitale Bestandsaufnahme zerstörte Gebäude
- 5.3 Digitale Bewertung und Massenermittlung für zerstörte Gebäude
- 5.4 Kreislaufgerechte CDE und Methoden für Wiederaufbau Ukraine nutzen und im GZ schulen

Das Konzept „Kreislaufgerechte TGA- und Laborplanung im Technologiepark Adlershof“ zeigt, wie Adlershof durch innovative Ansätze in Planung, Digitalisierung und Wissensmanagement globale Herausforderungen adressiert. Mit einem Fokus auf Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und internationalem Wissenstransfer wird der Technologiepark weiterhin eine Schlüsselrolle bei der Lösung dieser Herausforderungen spielen – sowohl national als auch international.



Tristan Emich
Gründer
OnSite Solutions

Wissenschaftliche Erkenntnisse zum Smart Readiness Indicator und aus der offiziellen SRI-Testphase der BRD

Neue Innovationen, die sich aus der Digitalisierung ganzer Prozessketten ergeben, verändern ganze Branchen. Jedoch sind sich die Fachpresse, die Baubranche und die Branche des Facility Management einig, dass die Branche den Einstieg in die Digitalisierung verschlafen hat. Die Bereitschaft, sich mit dem Thema auseinanderzusetzen, nimmt jedoch stetig zu.

Dieses Defizit hat auch die Europäische Kommission erkannt und fordert mit der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) das Potenzial von intelligenten Technologien im Gebäudesektor besser zu nutzen. Ausgehend von dieser Richtlinie wurde ein sogenannter Intelligenzfähigkeitsindikator (Smart Readiness Indicator - SRI) entwickelt. Die Einführung eines solchen einheitlichen EU-Bewertungssystems soll die technologische Reife von Gebäuden beurteilen, inwiefern eine Interaktion mit dem Nutzer sowie dem Energienetz möglich ist und ob dadurch eine effizientere Bewirtschaftung eines Gebäudes ermöglicht wird. Ziel des SRI ist es außerdem, das Bewusstsein für intelligentere Gebäudetechnologien zu schärfen und deren Mehrwert für Gebäudenutzer, Eigentümer, Mieter und Anbieter intelligenter Dienstleistungen greifbarer zu machen. Es soll die technologische Innovation der Immobilienbranche unterstützen und ein Anreizsystem für die Integration moderner, intelligenter und innovativer Technologie in Gebäuden fördern. Die Basis des SRI bildet die Gebäudeautomation aus der ISO EN 52120.

Die Europäische Union fordert die einzelnen Mitgliedstaaten sowie Unternehmen der Immobilienwirtschaft auf diese Bewertungsmethode zu prüfen, zu testen und ggf. auf den Standort Deutschland anzupassen. Während eines Promotionsvorhaben bei der Professur für Facility Management des Instituts für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) am Karlsruher Institut für Technologie wurde ein substanzieller Beitrag als neutrale Forschungseinrichtung geleistet und das EU-Bewertungssystem unabhängig untersucht und weiterentwickelt. Ausgehend von dieser Forschung wurde die offizielle SRI-Testphase Deutschlands initiiert, welche vom KIT betreut wird.

Dieses noch kaum in der Praxis angewandte SRI-Verfahren bietet ein enormes öffentlichkeitswirksames Potenzial, welches untersucht und an die deutsche Immobilienbranche angepasst wurde. Mithilfe dieser empirischen Forschung wurden unterschiedliche Gebäudebetriebsstrategien und Voraussetzung eines Gebäudes für einen digitalen Gebäudebetrieb aufgezeigt. Es hat sich gezeigt, dass die aktuelle Unterteilung in Wohngebäude und Nichtwohngebäude nicht präzise genug ist, da diese Einteilung eine große Bandbreite an Gebäudetypen umfassen. So weist ein kleines Einfamilienhaus mit nur wenigen Quadratmetern dieselben Domains, Impacts, Services und Gewichtungen auf wie ein großes Mehrfamilienhaus. Ebenso werden Bürogebäude nach den gleichen Kriterien bewertet wie beispielsweise Krankenhäuser, obwohl sie sich funktional stark unterscheiden. Um dem entgegenzuwirken, wurde ein Vorschlag erarbeitet, der sowohl eine detailliertere Differenzierung der Gebäudetypen als auch eine gewisse Flexibilität ermöglicht (Abbildung 1). Dabei wird für alle EU-Mitgliedstaaten ein einheitlicher Basis-SRI definiert, der identische Domains, Impacts und Services umfasst und weiterhin zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden unterscheidet. Zusätzlich kann jeder Mitgliedstaat einen national angepassten SRI entwickeln, der auf die spezifischen Anforderungen des Landes zugeschnitten ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden bereits zwei erste Domains für den individuellen SRI entwickelt, die jedoch in weiteren Untersuchungen validiert werden müssen:

- Facility Management
- IT-Infrastruktur

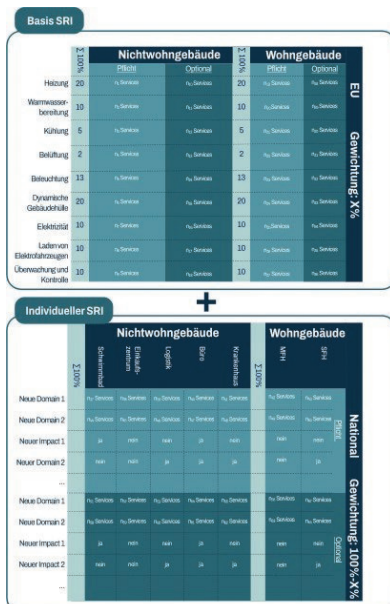


Abbildung 1: Vorschlag für eine optimierte SRI-Methodik



Michael Schwarz
 Stellvertretender Entwicklungsleiter Raumlufte
 LTG AG
 Ralf Wagner, Hans Werner Roth
 LTG AG

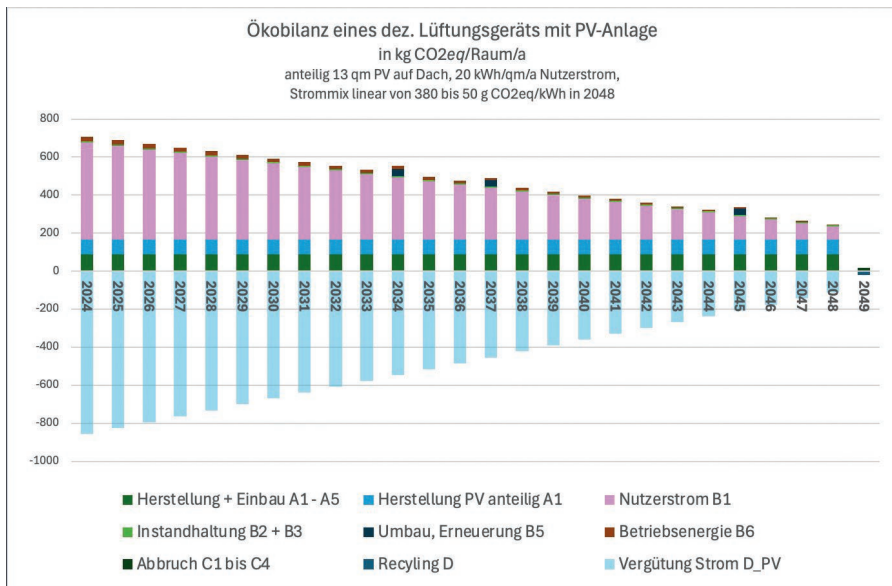
TGA auf dem Weg zum klimaneutralen Gebäude

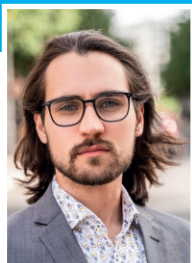
Bis zum Jahr 2045 soll der Gebäudebestand in Deutschland klimaneutral sein. Klimaneutral im Sinne der DGNB sind Gebäude, wenn die Treibhausgasemissionen ausgeglichen sind. Die Netto-Null-Bilanz eines Jahres berücksichtigt die Emissionen der Betriebsphase, wie auch die anteiligen grauen Emissionen der Herstellung. Nicht vermeidbare Emissionen müssen durch Export an erneuerbare Energie ausgeglichen werden. Mit einem umweltgerechten Einsatz von nachhaltiger Gebäudetechnik sind heute schon klimaneutrale Neubauten und Sanierungen im Bestand erreichbar. Ökobilanzen von TGA-Systemen über den Lebenszyklus ermöglichen die Berechnungen von Umweltwirkungen von Gebäuden und unterstützen die Planung bis zu einem kostenneutralen Netto-Null-Emissionsgebäude (EPBD der EU).

Der gesetzliche Rahmen durch das Gebäudeenergiegesetz GEG ist beim deutschen Niedrigstenergiegebäude nicht zielführend, da nur der Primärenergiebedarf der Betriebsphase erfasst und gedeckelt wird. Materialeinsatz und Gebrauchsdauer der TGA sind nicht berücksichtigt, um Komplexität und Umfang des ohnehin umstrittenen Gesetzes nicht noch zu „verschlimmbessern“. Eine Ökobilanz (LCA) von TGA-Systemen berechnet äquivalenten CO_{2eq}-Emissionen von der Herstellung bis zur Entsorgung. Sie berücksichtigt den Einsatz von Rohstoffen, Instandhaltung und Lebensdauer der Komponenten. Die grauen Emissionen (embodied carbon) von Herstellung und Einbau werden auf die gesamte Nutzungszeit aufgeteilt und jährlich zusammen mit den betrieblichen Emissionen dargestellt. Bei Klimaanlageanlagen sind alle Systeme zum Lüften sowie zum Heizen und Kühlen der Innenräume gemeinsam zu bewerten. Bei Sanierungen sind technischen Maßnahmen zur Bedarfsreduzierung einzubeziehen (z. B. Verbesserung Wärmeschutz). Die jährliche Aufteilung der Umbaumaßnahmen erleichtert einen abgestuften Finanzplan bis zur Klimaneutralität. Ein solcher Finanzplan kann zusammen mit der LCA als Lebenszykluskostenanalyse LCC erstellt werden.

Nachhaltige TGA-Systeme sind viel mehr als klimaneutral. Sie schützen Gebäude, fördern Gesundheit, sind flexibel auf zukünftige Nutzungen und Belastungen anpassbar und damit auch lange nutzbar. Ein Beispiel eines Schulraums zeigt eine nachhaltige und klimaneutrale maschinelle Lüftung. So reichen 13 m² PV-Fläche pro Schulraum auf dem Flachdach der Schule, um die Emissionen aus Strom und der eingebundenen TGA-Emissionen bis zum Jahr 2048 auszugleichen. Die grauen Emissionen des dezentralen Lüftungsgeräts sind in der Jahresbilanz heute schon höher als die Emissionen des Stroms für Ventilatoren und der elektrischen Nacherhitzung, aber noch kleiner als die Emissionen des Nutzerstroms.

Mit der Dekarbonisierung der Endenergie, vor allem beim Strom, nimmt die Möglichkeit graue Emissionen zu kompensieren stetig ab. Materialeffizienz, lange Nutzungszeiten und Kreislaufwirtschaft sind zukünftige Schwerpunkte einer nachhaltigen TGA für klimaneutrale Gebäude.





Lukas Schumann

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Raik Fahrlich, Lisa Kremser, Lukas Schmitt, Martin Kriegel

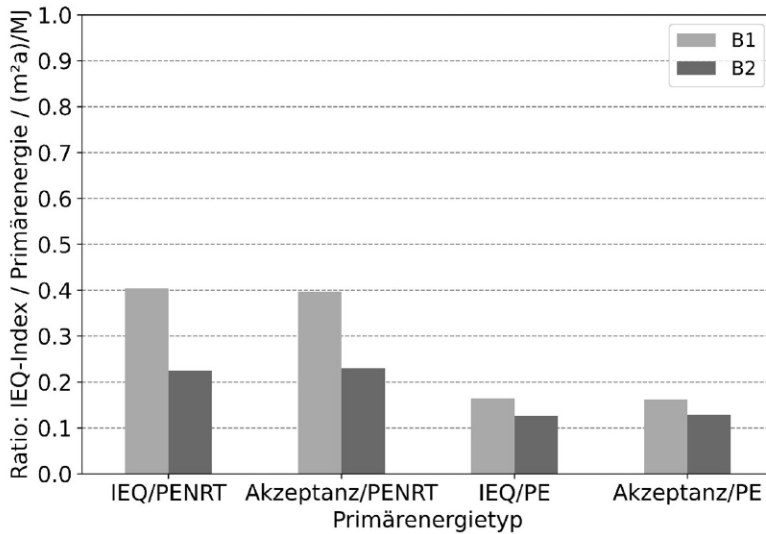
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

GEnEff – Bewertung der Gebäudeenergieeffizienz anhand der Innenraumqualität und des Energiebedarfs mit Hilfe von Daten aus der Nachhaltigkeitszertifizierung und Nutzerumfragen

Der Gebäudeenergiebedarf ist einer der größten Bereiche des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland. Die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden spielt daher eine entscheidende Rolle, um den zukünftigen Energiebedarf für Alt- und Neubauten mit Hilfe von Normen und Gesetzen zu lenken. Aktuell wird die Energieeffizienz von Gebäuden hauptsächlich anhand ihres Energiebedarfs bemessen. Ein niedriger Energiebedarf geht jedoch nicht immer direkt mit einem höheren Komfort der Nutzenden einher, welcher den eigentlichen Nutzen eines Gebäudes darstellt.

In dieser Studie wurden die Bewertungen der Innenraumqualität (Indoor Environmental Quality, IEQ) und der Energiebedarf eines Gebäudes gemeinsam betrachtet, um die Energieeffizienz von Gebäuden zu bewerten. Hierbei wurde die Innenraumqualität als Nutzen und der Energiebedarf als Aufwand betrachtet. Aus dem Verhältnis von Nutzen zu Aufwand bzw. Innenraumqualität zu Energiebedarf ergibt sich die Gebäudeenergieeffizienz. Es erfolgte eine beispielhafte Berechnung eines Indizes für die Gebäudeenergieeffizienz, basierend auf Zertifizierungsdaten von zwei Bürogebäuden, die zudem nach dem Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen (BNB) bewertet wurden. Die Daten umfassen die Bewertung verschiedener IEQ-Kategorien aus der Planungsphase, sowie Informationen zum Energiebedarf der Gebäude. Zusätzlich wurde eine Umfrage zu IEQ-Faktoren unter den Gebäudenutzenden durchgeführt, deren Ergebnisse, mit denen der Zertifizierung verglichen werden.

Auf Basis der Probandenbefragungen wurde herausgearbeitet, dass insbesondere die Möglichkeiten zur Nutzerinteraktion, also zum Beispiel verstellbare Heizkörper, Belüftung oder Beleuchtung, eine übergeordnete Rolle bei der subjektiven Bewertung der IEQ spielen. Im Kontrast dazu steht der geringe Gewichtsanteil bei der Zertifizierung im BNB im Vergleich zu den anderen Komfort-Kategorien.



Darstellung der Bewertung der IEQ bezogen auf die Primärenergie pro Quadratmeter und Jahr als Balkendiagramm. Dabei wird zwischen zwei Gebäuden und der Bewertung auf Basis des BNB-Scorings (IEQ) und der subjektiven Wahrnehmung der Gebäudenutzenden (Akzeptanz) unterschieden. Hierbei wurde die IEQ-Bewertung und Akzeptanz auf die nicht erneuerbare Primärenergie (PENRT) und auf die Gesamtprimärenergie (PE) bezogen.

Die Bewertung für thermische Behaglichkeit, visuellen Komfort sowie Innenraumluftqualität lag für beide Gebäude bei einer Akzeptanz von über 85 %. Gebäude 2 hatte mit 30 % eine deutlich schlechtere Bewertung des akustischen Komforts als aus der Zertifizierung erwartet. Auch die Einstellmöglichkeiten wurden in beiden Gebäuden durch die Nutzer deutlich anders bewertet als durch das BNB-Scoring angenommen. Die IEQ-Bewertung auf Basis der Zertifizierungsdaten, die auf Gebäudeplanung und Messdaten für einzelne Faktoren beruhte, wich in einzelnen Aspekten um bis zu 50 % von den Ergebnissen der Nutzerbefragung ab. Dennoch lag das Scoring der BNB-Zertifizierung für die Gesamtakzeptanz sehr nah an der Bewertung durch die Nutzenden. Insbesondere der Bewertungsansatz als Bewertung des IEQ-Indexes bezogen auf den Gebäudeenergiebedarf wird im Forschungsprojekt GEnEff mit Hilfe eines VR-Prüfstands und Simulationsmodellen tiefergehend untersucht und ausgearbeitet werden.

Jeannette Wapler

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

Danny Günther, Sebastian Helmling, Marek Miara

Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg

EFH-Bestand: monoenergetische und bivalente Wärmepumpenanlagen im Einsatz

Elektrisch angetriebene Kompressionswärmepumpen zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung erfuhren zuletzt einen rasanten Hochlauf. Während die jährlichen Absatzzahlen bis 2019 moderat auf 86.000 Stück anstiegen, hat sich der Jahresabsatz in 2022 auf 236.000 und in 2023 auf 356.000 erhöht. Seit 2020 wird der größere Teil der jährlich abgesetzten Wärmepumpen in der Modernisierung eingesetzt, im Jahr 2022 sind dies bereits dreiviertel aller neu installierten Anlagen. In dem damit an Relevanz gewinnenden Einsatzbereich des Gebäudebestandes sind die Akteure mit einer wesentlich komplexeren Ausgangssituation als im Neubau konfrontiert. Die Fragen reichen u.a. von der tatsächlichen Gebäudeheizlast über die erforderlichen Temperaturen zur Raumheizung bis hin zur Einbindung bestehender Wärmeerzeuger oder Hydraulikkomponenten. Diverse Aspekte, die unmittelbaren Einfluss auf die Effizienz der Wärmepumpen haben.

Im BMWK-geförderten Forschungsprojekt „WP-QS im Bestand“ (FKZ: 03EN2029A; <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/wp-qs-im-bestand.html>) liegt der Hauptfokus auf der Analyse von Effizienz und Betriebsverhalten von 76 Wärmepumpenanlagen auf Basis einer detaillierten messtechnischen Untersuchung. Die Außenluft- und Erdreich-Wärmepumpen werden zur Raumheizung und Trinkwassererwärmung eingesetzt und sind in Gebäuden der Baujahre 1826 bis 2002 installiert. Der Zustand der Gebäude reicht von unsaniert bis vollsaniert und als Wärmeübergabesysteme werden Heizkörper, Flächenheizungen oder Kombinationen aus beiden eingesetzt. Das Messkonzept umfasst die minutengenaue Aufzeichnung der Messdaten. Auf Seiten der elektrischen Verbraucher werden neben Verdichter, Steuerung und Elektroheizstab auch die Antriebe in der Wärmequelle (Solepumpe oder Ventilator) sowie die Umwälzpumpen in der Wärmenutzungsanlage (vor und nach etwaigen Speichern) erfasst. In den Hydraulikkreisläufen der Wärmequelle und der Wärmenutzungsanlage werden die Energien, Leistungen, Volumenströme und Temperaturen aufgezeichnet.

Das Forschungsprojekt und damit die Messung wird Ende 2024 abgeschlossen. Der Konferenzbeitrag umfasst damit die Effizienzanalyse der finalen einjährigen Auswerteperiode von Januar bis Dezember 2024. Dabei stehen die Jahresarbeitszahlen und die direkt quantifizierbaren Effizienzeinflüsse, wie die Systemtemperaturen oder der Einsatz von Elektroheizstäben, im Vordergrund. Die Ergebnisse werden unter Berücksichtigung der Baualter sowie der energetischen Qualität der Gebäude und den installierten Wärmeübergabesystemen präsentiert. Abschließend erfolgt eine ökologische Einordnung der Ergebnisse.



Joachim Walter
Technische Leitung Urbanes Wohnen und Gewerbe
naturstrom AG
Daniela Ives
naturstrom AG

KOKONI ONE: Vorreiter für fossilfreie Quartiersenergie aus Sonne und Erdwärme



© INCEPT GmbH, Teil der ZIEGERT Group

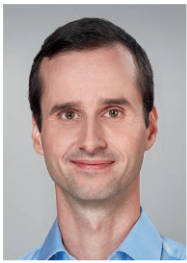
Das Quartier KOKONI ONE in Berlin-Pankow setzt auf 100 % erneuerbare Wärme aus Geothermie und Photovoltaik

Seit 2022 entsteht in Berlin das Quartier KOKONI ONE mit 84 Doppel- und Reihenhäusern. Die Energieversorgung ist vollständig fossilfrei aus Geothermie und Solarenergie. Seit Oktober 2023 sind die Energieerzeugungsanlagen im Betrieb und die ersten Bewohner:innen wohnen im Quartier. Initiator und Projektentwickler ist die INCEPT GmbH, welche Teil der ZIEGERT Group ist. Die naturstrom AG ist als Contractor für den energetischen Vorbildcharakter des Projekts verantwortlich. Sie übernimmt vor Ort neben der Planung und Errichtung auch den Betrieb des gesamten Energiesystems inklusive Wartung, Service und Monitoring.

Das Planungsteam von naturstrom hat in mehreren Planungsschritten mögliche Varianten für die Wärmeversorgung untersucht und die optimale Lösung für einen wirtschaftlichen und technisch zuverlässigen nachhaltigen Betrieb im Contracting erarbeitet. Die Erfahrungen in der technischen Umsetzung und im Betrieb ergänzen sich.

Unter der Erde entziehen 68 Erdwärmesonden in 100 Metern Tiefe der Umgebung Wärme auf etwa 11 Grad Celsius. Diese wird über Rohrleitungen zur Energiezentrale geleitet, wo zwei Sole-Wasser-Wärmepumpen einer elektrischen Eingangsleistung von zusammen 74 Kilowatt sowie einer thermischen Ausgangsleistung von je 360 Kilowatt die Temperatur des Wassers auf 40 Grad Celsius an. Das mehr als 1.200 Meter umfassende Niedertemperatur-Nahwärmenetz bringt die Heizenergie anschließend in die Gebäude. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt dezentral in separaten elektronischen Durchlauferhitzern. Die niedrige Netztemperatur von maximal 40 Grad Celsius steigert die Effizienz der Wärmepumpen und senkt die Investitionskosten. Im Sommer kehrt sich der Energiefluss um: Die Gebäude geben Wärme ab, die ins Erdreich geleitet und dort zur energetischen Regeneration gespeichert wird. Ein 200-Kilowatt-Rückkühler nutzt zudem Luftwärme zur Regeneration, reduziert den Sondenbedarf und senkt die Investitionskosten.

Die dachintegrierten Photovoltaikanlagen mit einer Gesamtleistung von 410 Kilowatt-Peak versorgen das Quartier mit Solarstrom, betreiben die Wärmepumpen und decken etwa ein Drittel des Strombedarfs. Fehlender Strom kommt als Ökostrom aus dem Netz. Die Wärmepumpenintegration verbessert die Primärenergiebewertung, da Solarstrom mit einem Faktor von 0,0 angerechnet wird. Die intelligente Vernetzung von Strom, Wärme und E-Mobilität steigert die Effizienz.



Thomas Oppelt
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
ILK Dresden

Maschinelles Lernen in der TGA: Methoden, Anwendungen und Herausforderungen

In den vergangenen Jahren entstand eine Vielzahl an Ideen für die Anwendung maschinellen Lernens (ML) in der Gebäudetechnik. Unter anderem zur Fehlererkennung und -diagnose sowie zur Betriebsoptimierung von RLT-Anlagen und Einzelkomponenten der TGA wurden zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt und veröffentlicht, die ein breites Spektrum an Maschinenlernverfahren umfassen – von einfachen Regressionsmodellen bis zu tiefen neuronalen Netzen. In Abbildung 1 sind die grundlegenden Methoden schematisch dargestellt.

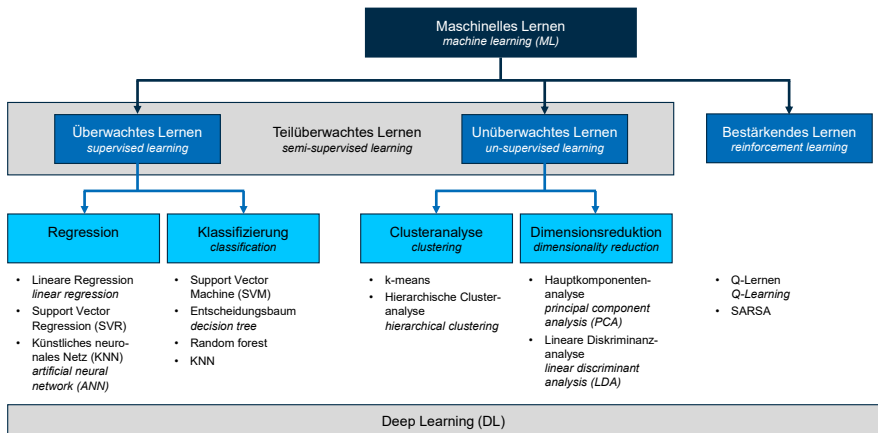


Abbildung 1: Einteilung der Maschinenlernverfahren mit Beispielen typischer Algorithmen

Aktuelle Trends umfassen beispielsweise:

- Hybride Ansätze aus wissens- und datenbasierten Verfahren: Im Idealfall lassen sich die jeweiligen Vorteile beider Methoden kombinieren und die Nachteile kompensieren.
- Erklärbare KI: Diese Ansätze fördern die Nachvollziehbarkeit der Blackbox-Modelle im ML-Bereich, sie reduzieren damit Vorbehalte und erleichtern sowohl die Bewertung der Ergebnisqualität als auch die Identifikation von Fehlern in ML-Entscheidungen.
- Transfer Learning: Die Übertragung vortrainierter Modelle auf andere Problemstellungen bietet das Potenzial, die Anwendung maschinellen Lernens in der Gebäudetechnik mit ihrer Vielfalt an Systemkonfigurationen, Produkten und Betriebsweisen zu erleichtern.

Bereits marktverfügbare Umsetzungen von Maschinenlern-Ansätzen existieren in Form von Software zur Anomalie-Erkennung und Betriebsoptimierung auf Gebäudeebene, zur Überwachung und vorausschauenden Wartung von Ventilatoren, Pumpen(-systemen), Luftfiltern und Wärmeübertragern sowie zur optimalen Regelung von Schwimmbad-Entfeuchtungsgeräten. Diese Beispiele zeigen, wie maschinelles Lernen die vorausschauende Wartung und den optimierten Betrieb von Komponenten und Systemen in der TGA unterstützen kann.

Mit einem immer größeren Datenumfang, der von Einzelkomponenten (Ventilatoren, Ventilen u. a.) bereitgestellt wird, einer einfacheren und kostengünstigen Erfassung (z. B. Internet of Things) sowie Speicherung und -verwaltung (z. B. Cloudsysteme) existiert zunehmend eine gute Grundlage hinsichtlich der Datenverfügbarkeit. Schwierigkeiten liegen jedoch u. a. im Implementierungsaufwand und in der Übertragbarkeit auf andere Gebäude und Anlagen; bezüglich der ML-Verfahren auch in einer unzureichenden Generalisierungsfähigkeit sowie mangelnder Transparenz. Aufgrund dieser und weiterer Herausforderungen sind ML-Ansätze in der Praxis bisher deutlich weniger verbreitet als in der Wissenschaft. Das Thema maschinelles Lernen ist jedoch generell und auch speziell im Anwendungsbereich TGA derzeit einer dynamischen Entwicklung unterworfen. Deshalb ist davon auszugehen, dass auch zukünftig einerseits neue Impulse aus der Wissenschaft kommen und andererseits immer mehr praktische Anwendungen die Marktreife erreichen, sei es auf Systemebene oder in Form „intelligenter“ Komponenten.



Max Berkold
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik
Phillip Stoffel

Prädiktive Betriebsoptimierung von Gebäudeenergiesystemen durch Methoden des maschinellen Lernens am realen System

Energie einzusparen und den Emissionsausstoß zu senken, ist eines der führenden Themen der Gegenwart. Die Dekarbonisierung des Gebäudesektors geht mit dem Einsatz moderner Technologien wie Wärmepumpen, Betonkernaktivierung sowie Solar- und Geothermie einher. Diese komplexen Verbundsysteme stellen eine Herausforderung für die konventionelle Regelungstechnik dar.

Eine vielversprechende Alternative ist die modellprädiktive Regelung, die ein Modell des zu regelnden Systems verwendet, um einen ökonomisch und ökologisch optimalen Betrieb zu ermöglichen. Die physikalische Modellierung ist allerdings zeit- und kostenintensiv, da jedes Gebäudeenergiesystem unterschiedlich ist. Deshalb fokussiert sich diese Arbeit auf die datengetriebene Modellierung mittels Methoden des maschinellen Lernens. Dieser Ansatz verspricht, eine weitgehend automatisierte Erstellung modellprädiktiver Regler zu ermöglichen.

Da fraglich ist, welche Methoden des maschinellen Lernens sich für diesen Zweck besonders gut eignen, verwendet diese Arbeit multiple lineare Regression (MLR), Gaußprozesse (GPR) und künstliche neuronale Netze (KNN) für die Modellierung und modellprädiktive Regelung von zwei realen Gebäudeenergiesystemen. Es handelt sich zum einen um mehrere Büroräume, die durch Heizkörper beheizt werden und zum anderen um eine Industriehalle, die über eine Lüftungsanlage und eine Betonkernaktivierung klimatisiert ist.

Für die Realisierung dieses Vergleiches verwendet diese Arbeit das eigens entwickelte DDMPC Framework. Es vereint verschiedene Methoden des maschinellen Lernens und übernimmt die automatische Generierung des Optimierungsproblems. Darüber hinaus ist die Kommunikation mit den Systemen mittels eines cloud-basierten Ansatzes gelöst, der Echtzeit Monitoring und eine zentrale Regelung möglich macht.

Es wird gezeigt, dass alle drei Verfahren des maschinellen Lernens in der Lage sind, eine modellprädiktive Regelung zu realisieren. Im direkten Vergleich benötigt die MLR allerdings den geringsten manuellen Aufwand und erzielt dafür zuverlässig gute Ergebnisse in der Regelung. Ein Vorteil der nicht-linearen Verfahren ist, dass die Regelung aufgrund der erhöhten Flexibilität zu effizienteren Betriebszuständen führen kann. KNN weisen aufgrund der Vielzahl an Hyperparametern ein weites Einsatzgebiet und Raum für Optimierung auf, was jedoch viel manuelle Arbeit mit sich bringt. Aufgrund der geringen Datengrundlage erzielen die GPR das qualitativ schlechteste Ergebnis. Bezüglich der Rechenzeiten überzeugt die MLR, denn die KNN benötigen ein zeitlich intensives Training und die GPR weisen eine rechenintensive Vorhersage auf.

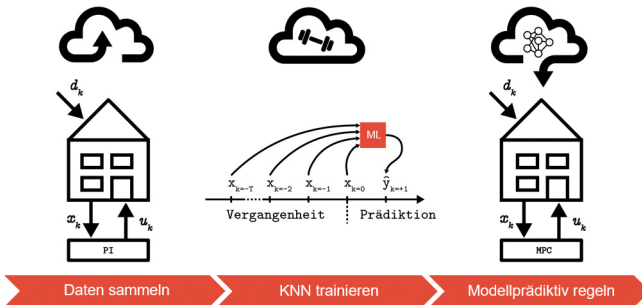


Abbildung 1: Illustration der datengetriebenen modellprädiktiven Regelung



Franziska Bockelmann
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
siz energieplus
Stefan Plesser
siz energieplus

Valeria Ehlers
Hochschule Biberach
Martin Becker
Hochschule Biberach

Technisches Monitoring – Qualitätssicherung für einen effizienten Anlagenbetrieb: Aber wie?

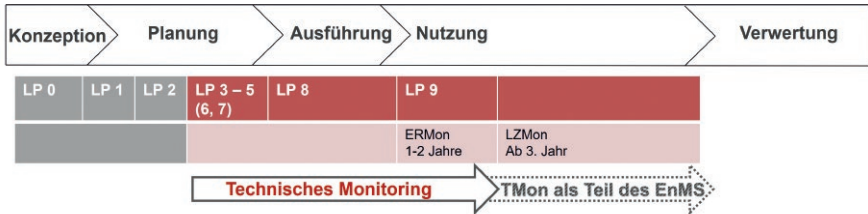
Energieeffizienz, Klimaneutralität und Ressourcenschonung sind bereits seit Jahren treue Begleiter der Baubranche. Gebäude und ihre technischen Anlagen werden immer komplexer und anspruchsvoller und das gesetzte Qualitätsniveau wird des öfteren nicht erreicht. Grund dafür ist meist ein lückenhafter Informations- und Datenaustausch, der an den üblichen Schnittstellen innerhalb der Herstellungskette stattfindet bzw. fehlt. Weitere Effizienzeinbußen resultieren aus fehlerhafter oder fehlender Überwachung des Anlagenbetriebs nach Fertigstellung der Gebäude. Durchgängiges Qualitätsmanagement (QM) von der Planung bis in den Langzeitbetrieb ist der zentrale Baustein für klimaneutrale Gebäude und ein effizientes Betreiben von Anlagen. Nur wenn integrale Gebäudekonzepte und innovative Technologien richtig funktionieren, werden wir effiziente und komfortgerechte Gebäude bauen, sanieren und betreiben können.

Als Qualitätssicherungswerkzeug kann ein fachgerecht eingesetztes Technisches Monitoring (TMon) einen fließenden Übergang vom Projektkonzept bis zum effizienten Gebäudebetrieb produktiv unterstützen. Aktuell liegen keine empirischen Erkenntnisse über Umfang und Effektivität dieser Leistungen in der Praxis vor. Im Rahmen des Forschungsprojektes zum TMon werden breitgefächerte Erfahrungen und das vielfältige anekdotische Wissen über Qualitätsdefizite am Bau erfasst und auf eine empirische Basis gestellt. Die Projektergebnisse sollen dazu beitragen, TMon als Dienstleistung transparenter zu gestalten, weiter zu optimieren und Weichen für eine weitgehende Standardisierung dieses Werkzeugs im Bauprozess zu stellen.

Erste Ergebnisse der Evaluation im Projekt zeigen, dass

- Standardisierung als Schlüssel zum Erfolg führt – TMon jedoch noch nicht standardisiert umgesetzt wird. Ein breites Spektrum an Umsetzungen und Anwendungsvarianten des TMon sind in der Praxis zu finden,

- keine einheitliche Struktur und Aufbau zum TMon zu finden ist. Die aktuellen Vorgaben aus den einschlägigen Normen, Richtlinien und Empfehlungen werden unterschiedlich interpretiert und umgesetzt. Die AMEV Empfehlung 158 zum TMon bietet eine solide Grundlage zur standardisierten Ausschreibung von TMon.
- TMon in der Baubranche weitestgehend bekannt ist. Überwiegend Neubauprojekte ab 2015 integrieren TMon in ihren Bauprozess und die Qualitätsüberwachung.
- die Hemmschwelle zur standardmäßigen Anwendung in der Baupraxis durch die verbreitete Meinung über eine kostenintensive und zeit- und ressourcenaufwändige Umsetzung bestärkt wird. Der Kostenansatz der AMEV zum TMon wird bestätigt: TMon-Kosten liegen i. d. R. unter 0,5 % der Gesamtbaukosten.



Ablauf und Einbindung des Technisches Monitoring in den Planungs- und Bauprozess nach AMEV-Empfehlung Nr. 158 (2020) (ERMon -Einregulierungsmonitoring, LZMon – Langzeitmonitoring, EnMS – Energiemanagementsystem)



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

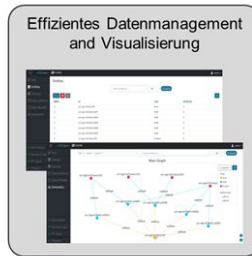
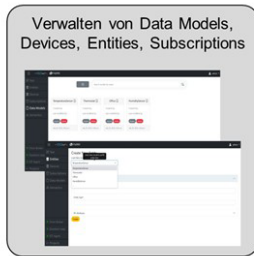
Sebastian Blechmann,
Junsong Du, Jonathan Kriwet,
Dirk Müller
Lehrstuhl für Gebäude- und
Raumklimatechnik,
RWTH Aachen

Open-Source Anwendungen für die benutzerfreundliche Integration von Gebäudetechnik in FIWARE-basierte Energiemanagementsysteme

Die Transformation von zentralen zu dezentralen Energiesystemen stellt eine der zentralen Herausforderungen der Energiewende dar. Diese Entwicklung erfordert insbesondere im Gebäudesektor innovative digitale Lösungen, die eine effiziente Integration und Steuerung verschiedener energietechnischer Komponenten ermöglichen. In diesem Kontext stellt der Beitrag den im Rahmen des National 5G Energy Hub N5GEH-Projekts entwickelten Webservice Entirety vor, der eine intuitive grafische Benutzeroberfläche für FIWARE-basierte Energiemanagementsysteme bietet.

Die Besonderheit des Services liegt in seinem Low-Code-Ansatz, der die Integration und Verwaltung von Sensorik und Aktorik ohne tiefgreifende Programmierkenntnisse oder spezifische Expertise in FIWARE-Datenmodellen ermöglicht. Zu den Kernfunktionen zählen die automatisierte Einbindung neuer Komponenten sowie die systematische Abbildung semantischer Beziehungen im Gebäudeenergiesystem, beispielsweise die räumliche Zuordnung von Sensoren zu spezifischen Gebäudebereichen und deren Abbildung als Wissensgraphen.

Die zugrundeliegende Softwarearchitektur basierend auf einem modularen „Baukastensystem“ aus Open Source Bausteinen deckt alle wesentlichen Aspekte moderner Energiemanagementsysteme ab: von der Datenerfassung und -übertragung über die Datenspeicherung bis zur Visualisierung. Standardisierte Schnittstellen zu gängigen Feldsystemen und Gateways sowie vorgefertigte Strukturen für energetische Services wie Monitoring, Steuerung und Sektorkopplung ermöglichen eine flexible Anpassung an verschiedene Anwendungsszenarien. Der Beitrag demonstriert anhand praktischer Beispiele, wie Entirety¹⁾ durch seinen benutzerorientierten Ansatz die Implementierung von Sensorik und Aktorik auch für Anwender ohne tiefgehende Plattformkenntnisse zugänglich macht.



Struktur von Entirety

Anhand der weiteren Open Source Frameworkentwicklung PHOENAIX wird zudem die Nutzung der FIWARE-Plattformtechnologie gezeigt, um eine umfassende Energieoptimierung in städtischen Gebieten zu ermöglichen. Im Kern ermöglicht das Framework die nahtlose Integration von Simulationsmodellen, Vorhersagealgorithmen und Optimierungsroutinen durch die standardisierten Datenkommunikationsprotokolle. Dieser plattformzentrierte Ansatz ermöglicht den modularen Einsatz verschiedener Komponenten, von Gebäudeenergiemodellen bis hin zu Fernwärmenetzen, bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der systemweiten Interoperabilität. Die flexible Architektur des Frameworks unterstützt nicht nur die Integration verschiedener Simulationswerkzeuge, sondern ermöglicht auch den schrittweisen Übergang von simulierten zu realen Komponenten, was es besonders wertvoll für die Planungs- und Betriebsphase von urbanen Energiesystemen macht.

Wir bedanken uns für die finanzielle Unterstützung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) (Förderkennzeichen 03EN1030B).

¹⁾ <https://github.com/N5GEH>



Thomas Storek
Berater
Drees & Sommer SE
Marc Mühlen, Thomas Schild
Drees & Sommer SE

Planung und Inbetriebnahme von IoT-Systemen zur energetischen Optimierung des Gebäudebestands

Gebäudeenergiesysteme (GES) haben hohes Einsparungspotenzial hinsichtlich ihres Primärenergiebedarfs und ihrer CO₂-Emissionen. Neben der klassischen Sanierung der Gebäudehülle, der Integration effizienterer Anlagentechnik zur Nutzung erneuerbarer Energien, bietet die Optimierung des Gebäudebetriebs signifikante Energie bzw. CO₂-Einsparpotentiale.

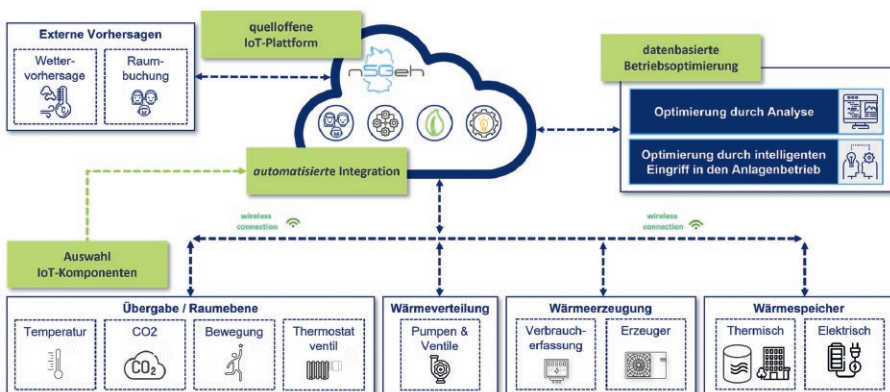
Voraussetzung für eine flächendeckende Betriebsoptimierung ist eine leistungsfähige digitale Infrastruktur, die es ermöglicht Daten aus dem Gebäudebetrieb zu erfassen, zu speichern und effizient mittels intelligenter Algorithmen automatisiert Einsparpotentiale zu erkennen und zu heben.

Funkbasierte IoT-Systeme bieten die Möglichkeit gezielt und funktionsorientiert eine digitale Infrastruktur in Gebäuden mit niedrigem Automationsgrad nachzurüsten. Die Herausforderung in der Planung und Umsetzung von IoT-Systemen besteht dabei in der Diversität des Marktes, was sich durch herstellerspezifische, häufig inkompatible, Insellösungen äußert. Eine herstellerübergreifende Integration zur Vermeidung von Parallelsystemen wird hierdurch kostenintensiv und fehleranfällig. Im Forschungsprojekt N5GEH-Booster wurde daher ein Prozess entwickelt, der es ermöglicht IoT-Systeme effizient zu planen und weitgehend automatisiert in Betrieb zunehmen. Die erfassten Daten werden anschließend strukturiert in der quelloffenen herstellernerutralen N5GEH-Cloudplattform für automatisierte Analyse und die Anbindung von Betriebsoptimierungsalgorithmen verfügbar gemacht.

Anhand zweier realer Bestandsgebäude stellt dieser Beitrag den Prozess zur Planung und Inbetriebnahme eines LoRaWAN basierten IoT-Systems für die Nachrüstung eines Raumautomationssystems vor. Neben der Ankopplung an die Cloud-Plattform wird das IoT-System auch direkt auf der Feldebene in ein bestehendes Gebäudeautomation integriert. Durch die frühzeitige Einbindung relevanter Metainformationen in den Planungs- und Inbetriebnahmeprozess können die einzelnen IoT-Geräte und erfasste Datenströme systematisch in der Cloud mit

Ihrem Kontext z. B. Räumen oder Heizkreisen in Beziehung gesetzt werden. Die vernetzte Datenstruktur ermöglicht schließlich die automatisierte Visualisierung und Analyse der Demonstrationssysteme. Darüber hinaus ermöglicht die Plattform die Ankopplung und Inbetriebnahme von intelligenten Steuerungs- und Regelalgorithmen. Beide Dienste wurden im Projekt als Beispielanwendung umgesetzt. Durch die Übertragbarkeit des Prozesses auf unterschiedliche Systeme kann der Aufwand und die Fehleranfälligkeit von der Planung bis zur Inbetriebnahme signifikant reduziert werden. Gleichzeitig wird gewährleistet, dass alle Datenströme unterschiedlicher Hersteller harmonisiert und strukturiert für die intelligente Betriebsoptimierung bereitgestellt werden. Die nahtlose Integrationsmöglichkeit in eine Bestandsautomation stellt zudem eine gute Wartbarkeit auf Feldebene sicher.

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





Thomas Scheunemann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Berliner Hochschule für Technik
Huu Thoi Le
Berliner Hochschule für Technik

Selbstlernende Adaption der Heizkurven für Heizanlagen

Im Forschungsvorhaben 03EN1073A wird eine selbstlernende Optimierungsmethode für Wärmeerzeuger entwickelt, die deren Leistung kontinuierlich an den tatsächlichen Bedarf anpasst. In vielen Gebäuden erfolgt die Steuerung über eine witterungsgeführte Heizkurve, die jede Außentemperatur eine Soll-Vorlauftemperatur zugeordnet. Ein PI-Regler gleicht die Differenz zwischen Soll- und Ist-Temperatur aus (siehe Abb. 1, links und rechts). Diese statische Steuerung berücksichtigt weder bauliche Veränderungen noch veränderte Nutzungsbedingungen oder Wärmegewinne, die den Heizleistungsbedarf reduzieren. Zur Lösung dieses Problems analysiert die entwickelte Methode zentrale Kenngrößen wie Vor- und Rücklauftemperatur (ϑ), Volumenstrom ($\dot{V}$) und Brennerleistung (cs) und passt die Führungsgröße fortlaufend an (siehe Abb. 1, Mitte).

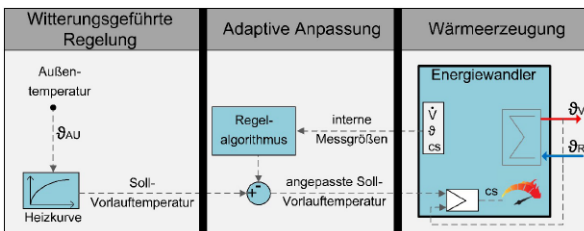


Abb. 1: Vorgehensweise zur Adaptation der Soll-Vorlauftemperatur

Das Verfahren kombiniert ein Expertensystem mit maschinellem Lernen. Während das Expertensystem dynamische Zielbereiche für die Eingangsgrößen definiert, analysiert das maschinelle Lernen deren Verlauf, speichert Änderungen der Soll-Vorlauftemperatur und deren Auswirkungen und ermittelt so das optimale Anpassungsverhalten für zukünftige Betriebszustände. Diese Kombination ermöglicht eine effiziente Heizungsregelung, die den Energieverbrauch senkt und den thermischen Komfort sichert – ohne zusätzliche Rauminformationen oder manuelle Eingriffe. Simulationsuntersuchungen belegen eine Energieeinsparung von ca. 10 % sowie eine Reduktion der Brennerstarts um ca. 30 % im Jahresvergleich. Abb. 2 vergleicht die konventionelle Regelung (blau) mit der adaptiven (rot) über ein Simulationsjahr

im Tagbetrieb – ohne Nachtabsenkung – und zeigt eine durchschnittliche Vorlauf-temperaturabsenkung von ca. 10 K, die bei höheren Außentemperaturen ausgeprägter ist, was auf erhöhte solare Wärmeeinträge in Übergangszeiten zurückzuführen ist.

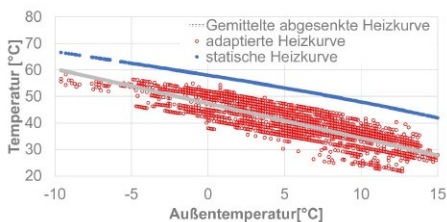


Abb.2: Vergleich der statischen und der adaptierten Soll-Vorlauftemperatur

Nach den Simulationsuntersuchungen wurde das Verfahren in einem Einfamilienhaus erprobt, um die praktische Umsetzung zu bewerten und weiteres Optimierungspotenzial zu identifizieren. Die Feldversuchsanlage – eine Doppelhaushälfte mit vier Geschossen, Bj. 1995 – nutzt einen Raspberry Pi, der ein 0-10-V-Signal zur Übertragung der Solltemperatur an den Wärmeerzeuger generiert. Bereits im Wärmeerzeuger erfasste Sensordaten werden direkt in den Algorithmus eingespeist. Eine 80-tägige Messreihe zeigt, dass der Algorithmus die Soll-Vorlauftemperatur im Durchschnitt um 7 K senkt. Abb. 3 zeigt einen typischen Messtag: Tagsüber erfolgt eine Absenkung um bis zu 6 K, nachts (22:00–06:00) um bis zu 8 K, ohne den thermischen Komfort zu beeinträchtigen, da der Volumenstrom (magenta) nahezu konstant bleibt. Temperaturspitzen in der Ist-Vorlauftemperatur (rot) von bis zu 75 °C resultieren aus der Warmwasserbereitung.

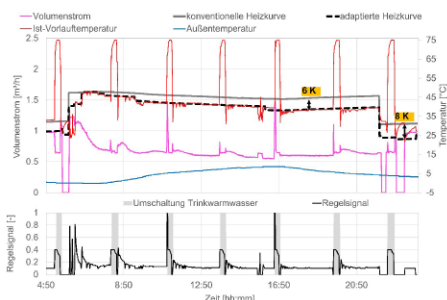


Abb.3: Kennwerte der Feldversuchsanlage mit dem Optimierungsverfahren

Die Implementierung erfolgt per „Plug-and-Play“ direkt am Wärmeerzeuger, da die erforderlichen Messgrößen meist bereits über vorhandene Schnittstellen verfügbar sind – zusätzliche Sensoren sind nicht nötig. Erste Feldversuche im Einfamilienhaus mit einem Brennwertkessel bestätigen die Wirksamkeit des Verfahrens. Zukünftig soll das Verfahren auch an anderen Wärmeerzeugern wie Luft-Wasser-Wärmepumpen getestet und in Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden.



Jürgen Langstein
Consultant Gebäudeautomation
Delta Controls Germany i.A AMEV BACTwin

Standardisierte Digitalisierung mit Hilfe des BACTwin 2025

Mit dem „BACTwin“ hat der AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik der staatlichen und kommunalen Verwaltungen) im April 2024 ein umfassendes Datenmodell für die herstellernerneutrale Verwendung des BACnet-Protokolls veröffentlicht. Bei der Integration des BACTwin-Datenmodells in GA-Planungstools wurden mögliche Ergänzungen und Verbesserungen festgestellt, die beim 1. Update im Februar 2025 als „BACTwin 2025“ berücksichtigt wurden und derzeit in die GA-Planungstools integriert werden.

Herzstück des BACTwin sind die Tabellen der BACTwin-Bibliothek, deren Vorlagen als Baukastensystem in prüffähiger, maschineninterpretierbarer Form erstellt wurden. Ein Objekt-Template definiert eine Standard-GA-Funktion (z. B. Schaltbefehl, Messwert) mit Hilfe eines BACnet-Objektes, dessen Properties und der dafür empfohlenen Parameter. Mit Hilfe passender Objekt-Templates wurden zahlreiche standardisierte Aggregate- (z. B. Pumpen, Ventilatoren) und Baugruppen-Templates (z. B. Vorerhitzer, WRG) sowie einige TGA-Anlagen (z. B. Wetterstation) vordefiniert.

Eine Schlüsselrolle beim BACTwin spielt der Benutzeradressierungsschlüssel (BAS). Der BACTwin-BAS verwendet und ergänzt die Begriffe und Kürzel der VDI 3814 Blatt 4.1. Die Struktur des BACTwin-BAS enthält eine neue BAS-Ebene „Medium, Position“ und erlaubt die eindeutige Zuordnung u.a. von Fühlern (z. B. HZV = Heizungsvorlauf). Dank der strukturellen Weiterentwicklung ist der BACTwin-BAS automatisiert prüfbar.

Wichtige Arbeitshilfen für die BACTwin-Anwender sind BACTwin-fähige Software-Tools. Damit können Planer und ausführende Firmen auf neutral vordefinierte Standard-Aggregate, -Baugruppen und -Anlagen zurückgreifen. Der neutrale BACTwin-BAS unterstützt IT-gestützte GA-Anwendungen und verlustfreien Datenaustausch.

Der Abstimmungsaufwand bei der Planung, Umsetzung und Sanierung von GA-Systemen wird erheblich reduziert. Doppelarbeit und Fehler durch Medienbrüche werden vermieden.

BACtwin 2025 schafft die datentechnische Basis zur Umsetzung der GEG-Vorschriften in GA- Systemen, u.a. für herstellernerneutrale Datenkommunikation. Da beim BACtwin alle energetisch relevanten Informationen aufgezeichnet, überwacht und gemeldet werden, ermöglicht er beim Anlagenbetrieb die Diagnose und Analyse gemäß DIN EN ISO 52120 (Energieeffizienz von Gebäuden).

Die umfassende Standardisierung des BACtwin-Datenmodells ist ein bedeutender Fortschritt, denn sie unterstützt effiziente, neutrale BACnet-Anwendungen. Sie erleichtert die gewerkeübergreifende Systemintegration und die Realisierung energieeffizienter Gebäude gemäß Gebäudeenergiegesetz § 71a erheblich.

Link: https://www.amev-online.de/AMEVInhalt/Planen/Gebaeudeautomation/BACtwin/2025-02-14_BACtwin_2025_de.pdf

Mani Zargari
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Steinbeis Innovationszentrum energieplus
David Sauss, M.N. Fisch
Steinbeis Innovationszentrum energieplus

Entwicklung eines vakuumsuperisolierten Hochtemperaturspeichers zur saisonalen Speicherung von Wärmeenergie aus nachhaltigem Überschussstrom

Der zunehmende Anteil erneuerbarer Energiequellen an der Stromerzeugung führt zu Engpässen im Stromnetz, die zu einer Abschaltung von nachhaltigen Stromquellen führen. Daher wurden allein im Jahr 2022 Ausfallvergütungen in Höhe von rund 800 Mrd. € an die Stromerzeuger gezahlt, die über die Netzentgelte von den Verbrauchern aufgebracht werden müssen. Auch unter Berücksichtigung des voranschreitenden Netzausbaus sind Überangebote an nachhaltig erzeugtem Strom nicht vermeidbar, wenn die Grundlast ohne konventionelle Kraftwerke sicher abgedeckt werden soll. Insbesondere in der Sommerperiode ist durch die Einspeisung von PV-Strom mit einem Überangebot und günstigen Strompreisen zu rechnen. Dies erhöht den Bedarf an Technologien, die nachhaltig erzeugten Strom umwandeln und saisonal speichern können. Am SIZenergieplus wird im Rahmen eines Forschungsprojektes ein vakuumsuperisolierter Hochtemperaturfeststoffspeichers (HTFS) entwickelt, der in der Lage ist lokal erzeugten PV-Strom oder überschüssigen Netzstrom über mehrere Monate in Form von Wärme zu speichern (Förderkennzeichen 03SF0748, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Laufzeit bis 10/2026). Mit Systemsimulationen wurden die Funktionalität und Wirtschaftlichkeit eines solchen Speichersystems für die Wärmeversorgung eines Einfamilienhauses belegt. Im Zusammenspiel eines 24 t-Speicherkerns mit einer 10 kWp-PV-Anlage bei einer solaren Deckungsrate von 90 % wird ein Wärmegestehungspreis von 0,15 €/kWh erzielt.

Die Technologie des HTFS basiert auf der der Nachtspeicheröfen in Verbindung mit einer Vakuumsuperisolation wie sie bereits für Warmwasserspeicher marktreif umgesetzt wurde, vgl. Bild1. In dem HTFS werden mit Widerstandsheizungen Speichersteine auf bis zu 750 °C aufgeheizt. Die Wärmeisolation erfolgt durch einen mit expandierten Perlit gefüllten und auf 0,1 mbar vakuumierten Raum. Die Wärmeabnahme erfolgt auf der Außenseite der Vakuum-Wärmedämmung indem die verbleibenden Wärmeverluste durch einen Wasserkreislauf abgefangen und nutzbar gemacht werden. Bei fallender Speicherkerntemperatur wird der vakuum-

ierte Zwischenraum kontrolliert belüftet um den Wärmestrom für die Wärmeabnahme auf der Außenseite auf das erforderliche Niveau zu heben.

Im Forschungsprojekt soll ein Prototyp realisiert werden. Derzeitig (12/2024) erfolgt ein Vorversuch, vgl. Bild 2. Der Vorversuch stellt ein Drei-Kammer-System dar, bestehend aus dem Speicherkern, der Vakuumkammer sowie der Wärmeabnahmeseite. Hiermit soll die technologische Machbarkeit unter Beweis gestellt und Erkenntnisse für die Konstruktion des Prototyps abgeleitet werden.

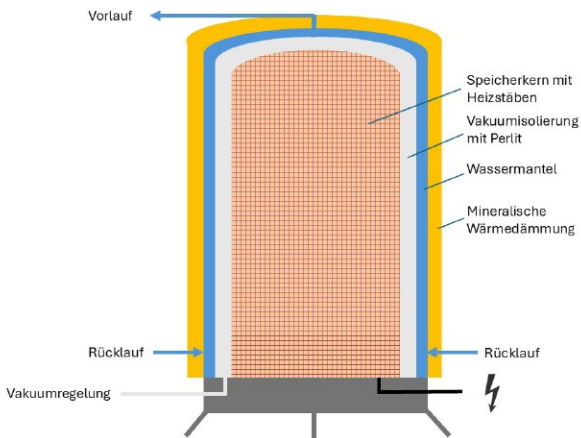


Bild 1: Funktionsprinzip des geplanten Prototyps des Hochtemperaturfeststoffspeichers

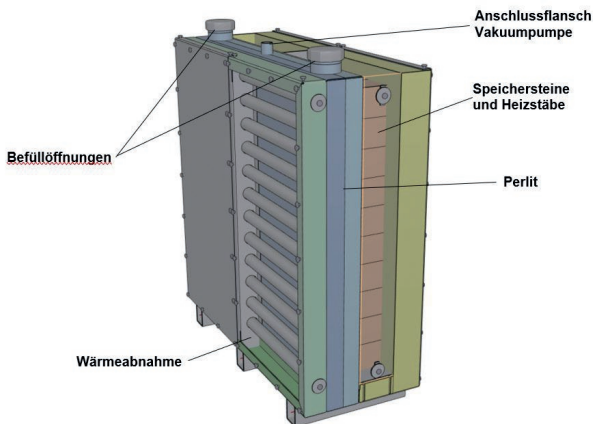


Bild 2: Funktionsprinzip des Vorversuches



Bernd Beierkuhnlein

Head of Operations

SYSTEMS GmbH

Martin Etzold

SYSTEMS GmbH

Matthias Ries

NFG Deutschland GmbH – Netzwerk für Gebäudetechnik

Wärmewende durch serielles Planen und Umsetzen beschleunigen

Ein Paradigmenwechsel für nachhaltige Gebäude- und Quartierslösungen

Die Wärmewende ist kein Zukunftsthema – sie ist längst Gegenwart. Um die ehrgeizigen Klimaziele zu erreichen, sind innovative und sektorübergreifende Ansätze gefragt, die technische Lösungen mit wirtschaftlicher Effizienz verbinden. Serielles Planen und Umsetzen, das Synergien schafft und Prozesse beschleunigt, stehen im Mittelpunkt. Mit intelligenten Softwaretools wie dem Carbon Dashboard und vorgefertigten Systemlösungen Gebäudeportfolios ganzheitlich und wirtschaftlich transformiert werden.

Intransparenz und Komplexität: Die Herausforderungen der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft

Auf dem Weg in eine nachhaltige und effiziente Energiezukunft steht die Wohnungs- und Immobilienwirtschaft vor einer Vielzahl von Herausforderungen. Häufig werden Energiedaten manuell ermittelt und konsolidiert, um Entscheidungen treffen zu können. Dieser Prozess ist zeitaufwändig und kann fehleranfällig sein. Er führt nicht nur zu erheblichen Verzögerungen, sondern bindet auch wertvolle personelle Ressourcen. Viele Akteure haben keinen klaren Überblick über die CO₂-Emissionen ihrer Gebäudeportfolios. Diese Wissenslücken erschweren gezielte, wirtschaftliche Maßnahmen und priorisierte Investitionen. Darüber hinaus erfordert die Interpretation vorhandener Energiedaten sowie die Strategieableitung Expertenwissen, um den immer komplexeren regulatorischen Anforderungen und technischen Möglichkeiten gerecht zu werden.

Serielle Planung: Ein effizienter erster Schritt zur Wärmewende

Für die erfolgreiche Transformation der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft in Richtung nachhaltiger und klimaneutraler Strukturen sind durchdachte Lösungen im Sinne von Transparenz, Effizienz und Skalierbarkeit erforderlich. Zwei wesentliche Ansätze sind dabei von zentraler Bedeutung: eine digitale und datenbasierte Planungsgrundlage sowie die serielle Planungsumsetzung mit Hilfe von modularen Baukastensystemen. Das Carbon Dashboard bietet erstmals die Möglichkeit, Gebäudeportfolios strategisch zu analysieren und gezielt zu optimieren. Es sorgt für eine umfassende Transparenz und stellt wertvolle Informationen für die strategische Planung zur Verfügung, wobei jegliche Anpassungen iterativ einfließen.

Serielle Umsetzung mit SYSTEMS: Effizienz durch modulare Systemlösungen

Einer konkreten Planung folgen die Herausforderungen der effizienten Umsetzung. Hier kommen modulare Systemlösungen ins Spiel. Ob die vorkonfektionierte Technikzentrale SYSTEMS GROUND CUBE, die anschlussfertig gelieferte Heizzentrale SYSTEMS GROUND CUBE reNOW, die Plug-and-Play-Wärme-pumpenlösung für Ein- und Zweifamilienhäuser SYSTEMS HOME CUBE oder die beschleunigte Stranganrierung mit dem SYSTEMS BACKPACKER. Sie ermöglichen eine serielle Umsetzung, die Synergien und Skaleneffekte optimal nutzt: Die Bündelung von Maßnahmen in definierten Clustern ermöglicht ökonomisch optimierte Lösungen. Gleichzeitig werden ökologische Vorteile durch gezielte Maßnahmen auf Quartiers- und Gebäudeebene gefördert. Durch den Einsatz von standardisierten Bausteinen werden Skaleneffekte erzielt, die Stückkosten sinken und die Projektumsetzung wird durch erprobte Prozesse beschleunigt. Darüber hinaus bieten die modularen Ansätze ein hohes Maß an Flexibilität und können universell sowohl für Wohn- und Nichtwohngebäude als auch für Quartierslösungen und industrielle Anwendungen eingesetzt werden. Eine klare Planung ist aber nur der erste Schritt. Die Herausforderung liegt in der effizienten Umsetzung und hier kommen modulare Systemlösungen wie die von SYSTEMS ins Spiel. Sie ermöglichen eine serielle Umsetzung und damit die optimale Nutzung von Synergien und Skaleneffekten.





Lea Sophie Welzel
Referentin für Energie und Politik
CLAGE GmbH

Elektrifizierung in der TGA: Ja zu E-Durchlauferhitzern – Nein zur Überlastung von Hausanschlüssen

Wie sieht die reale Gleichzeitigkeit wirklich aus?

Die Elektrifizierung von Gebäuden schreitet voran. Innerhalb des Neubaus und der Sanierung von Gebäuden spielt elektrische Hauswärmetechnik sowie die Energieerzeugung am Gebäude und die Ladeinfrastruktur eine immer größere Rolle. Viele Bauherren entscheiden sich aufgrund der bekannten Energieverluste von 40–80 % in zentralen Warmwassersystemen für die Trennung von Heizung und Warmwasser mit einer elektrischen Warmwasserversorgung über E-Durchlauferhitzer. Hier wird das Wasser direkt an der Entnahmestelle erwärmt, was erhebliche Vorteile hinsichtlich der Effizienz und der Trinkwasserhygiene mit sich bringt. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach den Auswirkungen auf die Hausanschlussplanung.

Für die erste Orientierung wird bei Wohngebäuden die DIN 18015-1 zum Thema Hausanschlussplanung und Gleichzeitigkeit herangezogen. Die Erfahrung zeigt, dass die reale elektrische Belastung immer deutlich geringer ist als in der Vorplanung angenommen. Dies bestätigen Lastmessungen durch die örtlichen Energieversorger in verschiedenen Objekten.

In Mehrfamilienhäusern in Zwickau mit 85 Wohneinheiten wird mit elektrischer Warmwasserversorgung von der DIN 18015-1 eine Gleichzeitigkeit von 5 % angesetzt. Die Lastmessungen ergeben jedoch nur zur Spitzenlast im Winter diesen Wert, während alle anderen Messwerte deutlich darunterliegen. Auch bei einem Schülerwohnhaus in Österreich mit 37 Wohneinheiten zeigt der Vergleich zwischen der DIN 18015-1 und den Lastmessungen, dass die realen Werte deutlich unter den Planungswerten liegen.

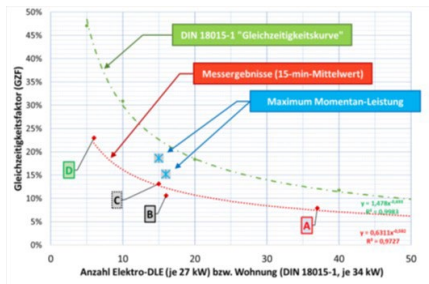


Abbildung 1: Gleichzeitigkeitsfaktoren von 15-Minuten-Mittelwerten und Maxima von Momentan-Leistungen bei einer Lastmessung im Schülerwohnhaus in Österreich

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei einem Hotel in Frankfurt mit 163 Zimmern. Zwar betrachtet die DIN 18015-1 primär Wohneinheiten, dennoch lassen sich Erkenntnisse zur Hausanschlussplanung hinsichtlich der Warmwasserversorgung aufgrund der vergleichbaren Nutzung auch auf ein Hotel mit elektrischer Warmwasserversorgung übertragen.

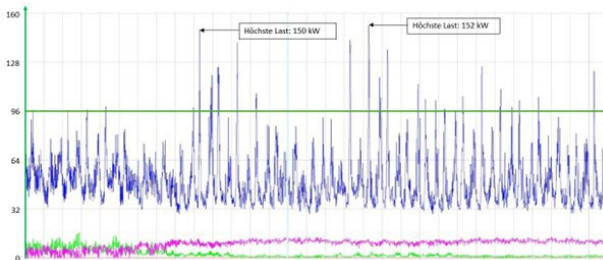


Abbildung 2: Lastverlauf einer vierwöchigen Messung im Hotelbereich

Die Lastmessungen belegen, dass die Annahmen der DIN 18015-1 häufig zu hoch angesetzt sind und es daher möglicherweise einer Überarbeitung bedarf. Eine detaillierte Elektroplanung kann helfen, Material- und Investitionskosten einzusparen. Gleichzeitig besteht weiterhin Aufklärungsbedarf im Bereich der Hausanschlussplanung.



Alexander Neubauer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
TU Berlin

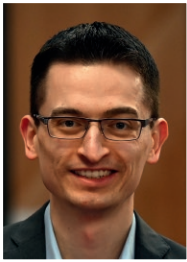
Mengbo Yu, Pedram Babakhani, Stefan Brandt, Martin Kriegel
TU Berlin

Heizleistungsprognosen mit maschinellem Lernen: Praxisbeispiele aus Berliner Mehrfamilienhäusern

Wärmelastprognosen ermöglichen eine gezielte Lastverschiebung und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung des Wärmesektors. Die zunehmende Elektrifizierung der Wärmeerzeugung eröffnet dabei neue Flexibilitätspotenziale. In Anbetracht der in Zukunft zunehmend fluktuierenden Stromerzeugung kann die Wärmeerzeugung in Stunden mit Stromüberschuss zur Netzentlastung beitragen. Für Endkunden können wirtschaftliche Vorteile durch solche Lastverschiebungen entstehen. Durch den Einsatz von maschinellem Lernen können Wärmelastprognosen rein datengetrieben durchgeführt werden, wodurch der Modellierungsaufwand reduziert und gleichzeitig eine gute Prognosegüte erreicht werden kann.

Im Rahmen des Forschungsprojektes EnOB: ML-EBESR – Entwicklung einer selbstoptimierenden Regelung für den effizienten und netzdienlichen Betrieb von (regenerativen) Energiesystemen unter Verwendung von maschinellem Lernen werden mit Methoden des maschinellen Lernens Wärmelastprognosen für mehrere Mehrfamilienhäuser in Berlin erstellt. Basierend auf diesen Prognosen wird anschließend eine optimierte Regelung der Wärmeerzeuger implementiert. Es werden stündliche Wärmelastprognosen mit einem Zeithorizont von 24 bis 48 Stunden durchgeführt. Die Prognosen basieren auf einer Vielzahl unterschiedlicher Eingangsgrößen wie Außentemperatur, Globalstrahlung und Belegungsinformationen. Als Prognosemodell wird ein Encoder-Decoder-Modell verwendet, das aus einzelnen LSTMs besteht und auch vergangene Zeitschritte berücksichtigt – eine Struktur, die sich besonders für Zeitreihenprognosen eignet.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, inwieweit sich reale Gebäudeeigenschaften in der Bedeutung der Eingangsgrößen auf die prognostizierte Heizleistung widerspiegeln. Durch die Betrachtung mehrerer Gebäude konnte die unterschiedliche Relevanz einzelner Eingangsgrößen mit dem spezifischen Heizenergiebedarf der Gebäude in Beziehung gesetzt werden. Für die meisten Gebäude hat die Außentemperatur den größten Einfluss auf die Prognose der Heizleistung. Durch die Einbeziehung von Belegungsinformationen wie Wochentag und Tageszeit konnten datengetriebenen Muster wie z. B. Nachtabenkungen erkannt werden. Weiterhin wurde untersucht, welchen Einfluss zukünftige Wetterprognosen und vergangene Heizleistungswerte auf die Prognose der zukünftigen Heizleistung haben. Anhand der Untersuchungen konnte für mehrere Mehrfamilienhäuser in Berlin gezeigt werden, welche Eingangsgrößen besonders relevant für die Prognose sind und welche Bedingungen für eine gute Heizleistungsprognose erfüllt sein müssen.



Michael Schaub
Hochschule Coburg
Alexander Floß
Hochschule Biberach

Einfluss der Heizlast-Berechnungsmethodik auf die Dimensionierung und Effizienz von Luft/Wasser-Wärmepumpen

Für die Ermittlung der Heizlast (HL) zur Dimensionierung von Wärmeerzeugern existieren unterschiedliche normative Vorgehensweisen. So bilanziert die statische HL gemäß DIN EN/TS 12831-1 die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste für die Auslegungsaußentemperatur unter Vernachlässigung jeglicher Gewinne (Worst Case). Demgegenüber sieht die VDI 6020 eine dynamische Gebäudesimulation für eine 19-tägige Heating Design Period in Analogie zur Cooling Design Period der VDI 2078 vor. Darin werden kurzzeitig deutlich kältere Tiefsttemperaturen zugrunde gelegt, es können jedoch auch interne und solare Gewinne berücksichtigt werden. Darüber hinaus beschreibt die DIN TS 12831-1 in Kapitel 7 u.a. ein Verfahren zur Schätzung der HL auf der Basis von Verbrauchsdaten und Vollbenutzungsstunden. Die unterschiedlichen HL-Berechnungsmethoden werden am Beispiel eines Mehrfamilienhauses mit vier Wohneinheiten (325 m²) des Baujahrs 1960 verglichen (Abbildung 1).

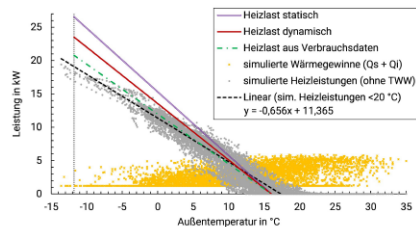


Abbildung 1: li.: Beispielgebäude, re.: Vergleich der HL-Methoden und Simulationsergebnisse

Dabei resultiert für die dynamische HL ein rund 12 % geringer Wert im Vergleich zur statischen HL. Die HL-Abschätzung auf der Basis von Verbrauchsdaten fällt etwa 22 % geringer aus als die statische HL und die maximal auftretende Heizleistung in einer Ganzjahressimulation liegt ca. 27 % unterhalb des Werts der statischen HL. In einer sanierten Variante des Gebäudes fallen die relativen Unterschiede noch etwas größer aus. Die Dimensionierung von Wärmepumpen (WP) erfolgt häufig mit

Fokus auf den Bivalenzpunkt (BVP), da dieser maßgeblich für den Arbeitsanteil des Heizstabs ist. Im Falle von leistungsmodulierenden WP ist jedoch auch der Modulationsgrenzpunkt (MGP) zu berücksichtigen, da dieser den Arbeitsanteil der WP im Taktbetrieb bestimmt. Der Worst Case Ansatz der statischen HL kann hierbei zu groß dimensionierte WP und somit einen hohen Taktbetriebs-Anteil begünstigen (Abbildung 2).

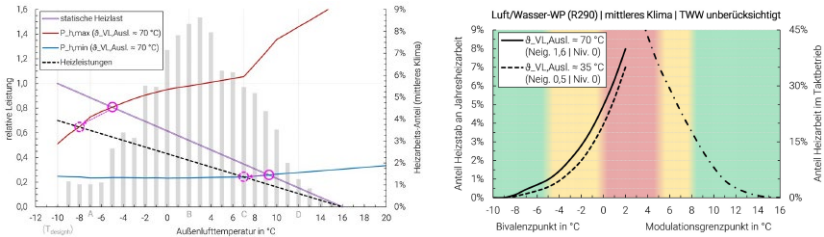


Abbildung 2: li.: WP-Dimensionierung statische HL vs. simulierte Heizleistungen, re.: Einfluss BVP und MGP

So lässt eine Dimensionierung auf einen BVP von -5 °C anhand der statischen HL im betrachteten Beispiel einen MGP von ca. 9,3 °C und somit einen Heizarbeitsanteil von ca. 11,2 % im Taktbetrieb erwarten. Aus einer Ganzjahressimulation resultieren für diese Dimensionierung hingegen ein MGP von rund 7 °C und somit ein Heizarbeitsanteil von ca. 23,2 % im Taktbetrieb. Eine systematische Analyse der Auswirkungen des Taktbetriebsanteils (z. B. Anlaufströme, Verschleiß sowie hydraulische Durchmischungen) ist bislang jedoch nicht bekannt. Darüber hinaus variiert die Effizienz von WP neben der Quellen- und Senktemperatur auch mit dem Lastzustand bzw. der Verdichter-Drehzahl (Abbildung 3).

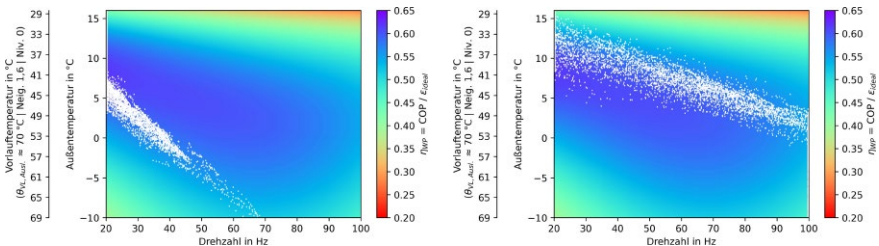


Abbildung 3: Bsp. Effizienz-Kennfeld Luft/Wasser-WP und Betriebspunkte; li.: WP zu groß, re.: WP zu klein

Die Lage des maximalen Effizienzbereichs hängt dabei u.a. von der Heizkurve, der Wärmequellenart und vom Verdichtertyp ab. Für eine energetisch optimierte WP-Dimensionierung erscheint daher eine Berücksichtigung der zu erwartenden Betriebspunkte für die konkrete Kombination aus Gebäude, WP und Heizkurve erforderlich. Ferner stellt die Belastung des elektrischen Verteilnetzes ein wichtiges Dimensionierungs-Kriterium dar.



Hannes Rosenbaum
Thermodynamik, Dynamische Gebäudesimulation
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Alte Bausubstanz – neue Technik: Reallabor für messtechnische Analysen zur Prüfung von Lüftungskonzeptionen im musealen Raum

Die Klimatisierung musealer Räume ist häufig von einem sehr komplexen Anforderungsprofil geprägt. Das gilt besonders, wenn Exponate durch die präzise Einhaltung von Raumklimaparametern geschützt werden sollen und gleichzeitig gestalterische oder denkmalpflegerische Vorgaben zu erfüllen sind. Gerade dann ist es wünschenswert, wenn im Zuge der Planung TGA-Planer, Architekten, Bauherren und Behörden kooperativ und lösungsorientiert zusammenarbeiten und bereit sind, erfolgversprechende Lüftungs- und Klimatisierungskonzepte vor Bauausführung hinsichtlich ihrer Funktionalität zu testen – wie es folgendes Beispiel zeigt: Für die Restaurierung zweier etwa sieben Meter hoher historischer Säle eines repräsentativen historischen Gebäudes in Dresden wurde von den planenden Architekturbüros und einem Dresdner Ingenieurbüro ein neues Klimatisierungskonzept erarbeitet. Als Herausforderung galten,

- Einhaltung Raumklimaparameter als konservatorische Anforderungen zum Schutz der Exponate
- gestalterischen Ansprüchen: keine sichtbaren Lüftungskomponenten; keine Verschattung
- Holz- und Stuckdecken nach historischen Vorbildern, Zu-/Abluft über Decke und neu konstruierte Bauteile
- Luftwechsel und thermische Behaglichkeit für Besucher

Das ILK Dresden wurde aufgrund seiner Erfahrungen bei der TGA-Planung für Museen beauftragt, die nicht ohne weiteres mit numerischen Simulationen und planerisch aufzuklärenden Betriebssituationen mithilfe messtechnischer Analysen in einer Probeachse unter realen Raumbedingungen an Ort und Stelle nachzubilden und die Funktionalität des Lüftungskonzeptes zu prüfen und einzuordnen. Die jeweilige Probeachse wurde sowohl hinsichtlich der Raumlufttechnik als auch der thermischen Lasten entsprechend den planerischen Vorgaben ausgestattet und die zugehörigen Luftvolumenströme und -temperaturen über eine mobile Lüftungsanlage realisiert. Ein besonderes Augenmerk lag auch auf der Nachbildung jeweils strömungsrelevanter Decken- und Stuckelemente, der Art und Positionierung der Zuluftauslässe und Abluftöffnungen sowie sonstiger potentieller Strömungshindernisse.

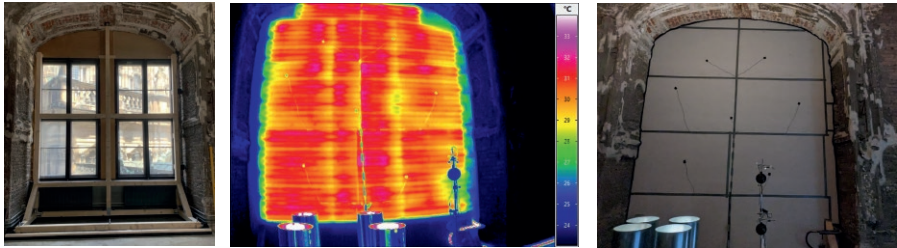


Bild 1: Wandtemperierung zur Simulation der von der Jahreszeit abhängigen Oberflächentemperatur der Verglasung

Für die thermisch stationären Zustände Sommer, Winter und Übergangszeit wurden jeweils folgende Größen messtechnisch erfasst und ausgewertet:

- Temperaturverteilung im Raum sowie Zu- und Abluftparameter
- Luftverteilung über die Raumhöhe (Strömungsvisualisierung) und Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich
- Partikuläres Behaglichkeitskriterium Zugluftrisiko
- Lüftungseffektivität/Luftwechsel im Aufenthaltsbereich,



Bild 2: Messaufbau im Reallabor: I/O-Scan (Luftwechsel in Aufenthaltszone), Behaglichkeitsmessplatz, vertikale Temperaturverteilung, mobile Lüftungsanlage, mobile Fußbodenheizung, Strömungsvisualisierung

Die Ergebnisse der Erprobung des Lüftungskonzepts im Reallabor zeigen eindrücklich das Zusammenspiel von Kühllasten, Wärmesenken und -quellen sowie deren Einfluss auf die Raumströmung, den daraus resultierenden Luftwechsel in der Aufenthaltszone, die Temperaturverteilung im Raum und die thermische Behaglichkeit. Wenngleich gestalterische Anforderungen der Funktionalität eines Lüftungskonzeptes Grenzen setzen, zeigen die Ergebnisse, dass sich die Herausforderungen zwischen historisch begründetem Design und Funktionalität lösen lassen. Mitunter bedarf es der Kompromissfindung. Hierbei können die Ergebnisse den beteiligten Planern als Entscheidungsgrundlage dienen.



Mostafa Barghash

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

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

Tim Jourdan, Lukas Siebler, Tobias Henzler

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE),
Uni-Stuttgart

Variabel-Volumenstrom-Systeme für die Lüftung in Wohngebäuden

Ein zentraler Ansatz zur Effizienzsteigerung von zentralen Wohnungslüftungsgeräten (WLG) in Wohngebäuden ist die bedarfsgeführte, zonenweise Luftverteilung, die sowohl Energieeinsparpotential eröffnet als auch eine Verbesserung der Behaglichkeit ermöglicht. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchungen werden zwei unterschiedliche Prüfstandkonzepte genutzt, um einerseits das Potenzial von Variabel-Volumenstrom-Systemen (VVS) und andererseits die Auswirkungen von Strömungsverhältnissen an Innentüren auf die Luftverteilung zu analysieren. Ziel ist es, Optimierungsmöglichkeiten für Lüftungssysteme hinsichtlich der Zielgrößen Energie und Innenraumqualität aufzuzeigen.

Ein Variabel-Volumenstrom-System (VVS) für zentrale WLG kann entweder durch zentral angeordnete Ventilatoren und Volumenstromregelklappen in den einzelnen Strängen (zentrale Ventilation) oder durch dezentral angeordnete Ventilatoren (dezentrale Ventilation) realisiert werden. Bei der dezentralen Ventilation verbleiben Komponenten wie das Wärmerückgewinnungssystem (WRG) und Filter an zentraler Stelle angeordnet, wohingegen zentrale Ventilatoren entfallen. Im Rahmen der Untersuchungen an einem Hardware-in-the-Loop (HiL)-Prüfstand wird das Energieeinsparpotenzial zentraler und dezentraler Ventilation ermittelt. Als Anwendungsbeispiel werden in einem Experiment die Betriebssituation einer Wohnung im Mehrfamilienhaus emuliert. Dabei sind drei Zu- und zwei Ablufträume angenommen. Die bedarfsgeführte Regelung der Luftströme erfolgt über ein VVS, wobei verschiedene Regelstrategien angewendet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die dezentrale Ventilation energetische Einsparungen ermöglicht, weil die Dissipationsverluste im Luftverteilungssystem minimiert werden. Diese Einsparungen werden in Abhängigkeit von verschiedenen typischen Nutzungsrandbedingungen quantifiziert.

Parallel dazu werden in einem Raumluftrömungslabor (RLS) Untersuchungen zu Türen als Überströmelemente durchgeführt, um deren Einfluss auf Lüftungskonzepte zu bewerten. Der Hauptlüftungsstrom eines zentralen Lüftungskonzepts mit Zuluft- und Ablufträumen kann an den Überströmelementen von Ausgleichsströmungen überlagert werden. Diese Ausgleichsströme beeinflussen eine zonenweise Regelung des Heizens, insbesondere wenn benachbarte Räume unterschiedliche Soll-Temperaturen aufweisen. Die Analysen im RLS erfassen und bewerten diese Ausgleichsströme unter variierenden Randbedingungen, wie beispielweise verschiedene Temperaturdifferenzen zwischen benachbarten Räumen und unterschiedlichen Nutzenübergabesystemen für das Heizen.

Die gewonnenen Erkenntnisse liefern grundlegende Ansätze zur Weiterentwicklung energieeffizienter und bedarfsgerechter Wohnungslüftungssysteme mit variabler Volumenstromregelung.



Raik Fahrlich

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Niklas Kießling

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Energietechnik und Klimaschutz, TU Berlin

Daniel Wolf

FlexEhome: Vollständige und flexible Energieversorgung eines EFH durch modellprädiktiven Einsatz von Kurz- und Langzeitspeichern

Im Forschungsprojekt FlexEhome wurde ein Einfamilienhaus entworfen, geplant und gebaut, welches sich ganzjährig mit Hilfe von eigens produzierter Photovoltaikenergie mit Strom und Wärme versorgen soll. Um dieses Ziel zu erreichen, wird die Photovoltaikenergie durch Kurz- und Langzeitspeicher aufgenommen und bedarfsgerecht und netzdienlich wieder abgegeben. Hierfür werden für die Kurzzeitspeicherung eine Batterie und ein Schichtenwärmespeicher eingesetzt, welcher über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Wärme für Beheizung und Trinkwarmwasser versorgt wird. Für die Langzeitspeicherung wird eine Wasserstoffstrecke mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle eingesetzt. Im Sommer wird überschüssige Photovoltaikenergie in Wasserstoff umgewandelt und in einem Hochdruckspeicher für den Winter speichert. Im Winter, wenn der Photovoltaikertrag als auch die direkten solaren Gewinne nicht mehr ganztägig zur Versorgung des Gebäudes ausreichen, wird mit Hilfe der Brennstoffzelle aus dem gespeicherten Wasserstoff Strom produziert. Sowohl bei der Elektrolyse als auch beim Brennstoffzellenprozess wird die Abwärme der elektrochemischen Prozesse genutzt. Die Abwärme der Elektrolyse wird im Sommer zur Erwärmung des Wärmespeichers für Trinkwarmwasser genutzt. Die Abwärme der luftgekühlten Brennstoffzelle wird über die Wärmerückgewinnung der Wohnraumlüftung zugeführt. Auf diese Weise erreicht die Wasserstoffstrecke einen Nutzungsgrad von um die 80 %, was angesichts des rein elektrischen Wirkungsgrades von 30–35 % einen hervorragenden Wert darstellt.

Das in Holzbauweise errichtete Gebäude wurde im Sommer 2023 fertiggestellt und ist mit einer 29,8 kWp PV-Anlage und 20 kWh Batteriespeicher ausgestattet. Der Großteil sind 45° Ost-West ausgerichtete Module (27,4 kWp) und eine Balkonanlage in 90° Süd-Ausrichtung (2,4 kWp). Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit bis zu 5 kW Leistung, die einen 1000 l Schichtenladespeicher versorgt. Die Trinkwasserversorgung erfolgt über eine Frischwasserstation und die Wärmeversorgung über eine Fußbodenheizung. Für die Wasserstoffstrecke kommen ein Elektrolyseur (max. 2,3 kW el.) und eine Brennstoffzelle

(max. 1,5 kW el.) zum Einsatz, die einen Wasserstoffspeicher mit bis zu 3000 kWh (ch.) Kapazität nutzen. Mit einem berechneten jährlichen Bedarf von ca. 5000 kWh Heizwärmebedarf ist das Gebäude mit einem gehobenen Dämmstandard, aber nicht auf Passivhausniveau ausgelegt und wird im Versuchszeitraum von einer vierköpfigen Familie bewohnt. Der erwartete Trinkwarmwasserbedarf beträgt 2000 kWh, der Strombedarf für den Haushalt 4000 kWh.



Abbildung 1: FlexEhome: Ansicht des fertiggestellten Gebäudes (Foto: Anja Bäcker)

Durch die im Projekt eigens entwickelte, modellprädiktive Regelung ist es möglich die Photovoltaikenergie bedarfsgerecht umzuwandeln und zu so zeitlich zu flexibilisieren. Durch die Nutzung der verschiedenen Speicherkapazitäten ist es so möglich den gesamten Energiebedarf des Gebäudes täglich über das gesamte Jahr zu decken. Für die vollständige ganzjährige Versorgung des Gebäudes ist hauptsächlich die Winterzeit die kritische Phase, da das Solarangebot in dieser Zeit stark zurückgeht. In der Wintersaison 2024/25 konnte mit Hilfe der Brennstoffzellenversorgung, des flexiblen Einsatzes der Wärmepumpe und den Speichermöglichkeiten des Gebäudes gezeigt werden, dass auch diese kritische Phase mit der vom Gebäude erzeugten Energie vollständig versorgt werden konnte.



Paul Hennies
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fakultät Management, Soziale Arbeit und Bauen, HAWK Holzminden
Erik Bertram, Konstantinos Stergiaropoulos
Fakultät Management, Soziale Arbeit und Bauen, HAWK Holzminden

Validierung von CFD-Modellen zur Simulation von Raumluftrömungen

Die Dimensionierung raumluftechnischer Anlagen basiert häufig auf etablierten Standardverfahren wie der DIN EN 16798-3. Diese Verfahren sind robust und praktikabel, lassen jedoch Optimierungspotenziale ungenutzt. Ein wesentlicher Ansatzpunkt liegt in der Raumlufverteilung, die in der DIN EN 16798-1 durch die Lüftungseffektivität berücksichtigt wird. Mit Hilfe von CFD-Simulationen kann eine orts aufgelöste Raumluftrömung modelliert werden, die gezielte Optimierungen der Lüftungseffektivität unter Einhaltung von Behaglichkeitsstandards ermöglicht. Vor diesem Hintergrund stellt dieser Beitrag ein Validierungsverfahren vor, das auf veröffentlichten experimentellen Datensätzen basiert. Ziel ist die Entwicklung eines CFD-Modells, das die Raumluftrömung orts aufgelöst in mittelgroßen Räumen wie Büros oder Klassenzimmern realitätsnah abbildet. Die Validierung solcher Modelle erfolgt häufig auf der Grundlage von Größen wie mittleren Temperaturen oder mittleren CO_2 -Konzentrationen. Jedoch ist für die ganzheitliche Optimierung der Raumluftrömung die Berechnung orts aufgelöster Daten entscheidend. Insbesondere die Strömungsgeschwindigkeit ist hierbei eine entscheidende und sensitive Größe, die in der Messung und Simulation größere Unsicherheiten aufweist.

Das Validierungsverfahren beruht auf drei publizierten wissenschaftlichen Datensätzen, die aus experimentellen Studien stammen. Die drei Szenarien umfassen einen Modellraum mit 432 Messpunkten, ein Zwei-Personen-Büro mit 50 Messpunkten und ein Klassenzimmer mit 120 Messpunkten. Das Simulationsmodell wurde hauptsächlich anhand des Modellraumes entwickelt, während es im Zwei-Personen-Büro und Klassenzimmer getestet wurde. Ein zusätzlicher vierter Datensatz von einem Einzelbüro mit 75 Messpunkten wurde hinzugezogen, um die Validierung der CO_2 -Konzentrationen zu ermöglichen.

In den Szenarien wurden Strömungsgeschwindigkeiten, Temperaturen und CO_2 -Konzentrationen orts aufgelöst gemessen und mit den Simulationsergebnissen verglichen. Die Ergebnisse zeigen mittlere Temperaturabweichungen von unter 2 % und eine mittlere CO_2 -Konzentrationsabweichung von unter 4 %. Bei den Strömungsgeschwindigkeiten liegen die mittleren Abweichungen deutlich höher. Vor allem in lokalen Bereichen mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten von weniger als 0,1 m/s treten hohe Abweichungen auf.

Im Rahmen einer umfassenden Vergleichsanalyse wurden die Abweichungen der aktuellen Validierungsstudie mit Ergebnissen aus anderen veröffentlichten Studien verglichen. Dabei zeigt sich, dass in anderen Untersuchungen ebenfalls hohe relative Abweichungen bei Strömungsgeschwindigkeiten auftreten, wobei lokale Abweichungen teilweise weit über 100 % hinausgehen. Im Gegensatz dazu werden sowohl in dieser als auch in anderen Validierungsstudien für Temperaturen und CO_2 -Konzentrationen insgesamt deutlich geringere relative Abweichungen festgestellt.

Die unterschiedlichen Abweichungsprofile unterstreichen die Notwendigkeit, alle relevanten Messgrößen sowohl integral als auch orts aufgelöst sorgfältig zu bewerten. Dieser Ansatz ist entscheidend, um Simulationsmodelle der Raumluftströmung effektiv zu validieren und zu optimieren. Der Beitrag demonstriert, wie öffentliche Datensätze genutzt werden können, um Strömungssimulationsmodelle ortsauflösend zu validieren. Dadurch wird die Grundlage für gezielte Strömungsoptimierungen geschaffen, die eine Steigerung der Lüftungseffektivität bei Einhaltung der Behaglichkeitsstandards ermöglichen.

Karsten Hackeschmidt
 Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden
 Ralph Krause, Timo Eichenhardt

Push-Pull-XXL-Lüftung – Dezentrale Lüftung für Klassen- und Seminarräume mit akustischer Regelungsoption

Die Methode des manuellen periodischen Öffnens der Fenster in Klassen- und Seminarräumen während des Unterrichts bzw. in den Pausen wird heute am häufigsten angewendet, um den CO_2 -Grenzwert einzuhalten. Zum einen ist in zahlreichen Studien bewiesen, dass diese Methode nicht zuverlässig den gewünschten Erfolg erzielt und zum anderen eine praktikable Anwendung dieser Lüftungsmethode kaum umsetzbar ist. Des Weiteren bleiben Anforderungen an ein energieeffizientes Lüftungssystem unberücksichtigt.

Am ILK Dresden ist deshalb ein neuartiges dezentrales Lüftungssystem entwickelt worden. Das funktionale Grundprinzip basiert auf der Push-Pull-Lüftung (Pendellüfter). Werden zwei dieser Geräte in einem Klassenraum betrieben, erzeugen diese nach einer definierten Zeitdauer periodisch eine Änderung der Strömungsrichtung in einer Raumhälfte. Dieses Prinzip eines atmenden Raumes sorgt so für seine ausreichende Durchströmung und einem Austausch der verbrauchten keimbelasteten Luft durch frische Zuluft. Im Winterbetrieb ist eine effiziente Wärmerückgewinnung automatisch aktiv. Akustisch wirksame Komponenten im und an dem Gerät verbessern die akustischen Geräteeigenschaften. Die entwickelten funktionalen Einzelmodule werden Vorort zu einem Gerät montiert.

Die Geräte sind für die Ausstattung mit einer neuartigen patentierten akustischen Regelungsoption konzeptioniert. Dadurch wird mit diesem System der Anstieg der CO_2 -Konzentration wirkungsvoll während der Raumnutzung unter Berücksichtigung der akustischen Anforderungen gebremst. Die leistungsbasierte Regelung korrespondiert dabei mit typischen akustischen Nutzungsprofilen im Raum.

Für die Sicherstellung des erforderlichen Luftvolumenstroms (max. ca. $750 \text{ m}^3/\text{h}$) und der periodischen Änderung der Luftförderrichtung ist ein neuartiges schwenkbares Antriebssystem mit einem druckstabilen Radialventilator entwickelt worden. Für das effiziente Wärmespeichersystem können die sich bereits in den kleinen Push-Pull-Geräten in der Wohnungslüftung bewährten Keramikmodule genutzt

werden. Eine Neuentwicklung sind sogenannte Lamellenfilter, die sich nur in Abhängigkeit der Luftförderrichtung geräuschlos automatisch aktivieren. Letztlich verfügt dieses Lüftungssystem über akustisch wirksame raumseitige Luftströmungsgitter und Gehäusekomponenten.

Das entwickelte Gerätekonzept kann auch als Bestandteil eines Kanalsystems im Deckenbereich des Raumes oder auf dem Gebäudedach installiert werden. Über Revisionsöffnungen mit Schiebesystem werden die Komponenten zum Zwecke der Wartung aus dem Gehäuse gezogen. Dadurch ist eine gute Zugangsmöglichkeit unabhängig vom Installationsort gegeben.

Der Entwicklungsstand für dieses neuartige Lüftungsgerät ist ein Demonstrator. Er ist einfach im Aufbau und erreicht gute bis sehr gute Leistungsdaten. Er bietet auch Optimierungspotential hinsichtlich der akustischen Eigenschaften. Abbildung 1 veranschaulicht den Geräteaufbau und die Funktionsweise vom XXL-Push-Pull-Lüftungsgerät.

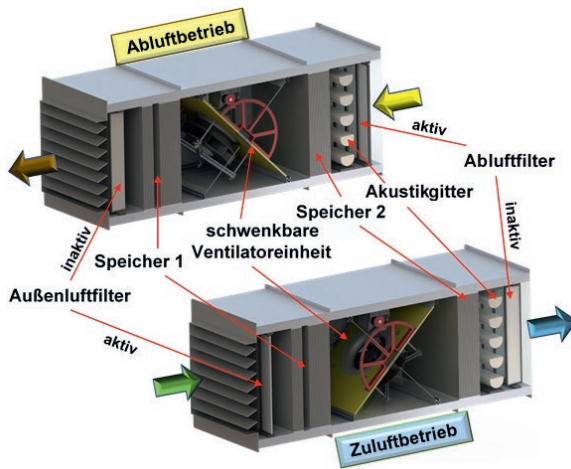


Abbildung 1: Entwickeltes XXL-Push-Pull-Lüftungsgerät - Aufbau und Funktionsprinzip



Verena Dannapfel

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

Rita Streblow, Dirk Müller

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

Welchen Nutzen bringt Smart Readiness in deutschen Bürogebäuden?

Der Intelligenzfähigkeit von Gebäuden und der Verbreitung smarter Technologien wird bei der Erreichung der Klimaschutzziele im Gebäudesektor ein relevanter Beitrag beigemessen. Um den Ausbau intelligenter Technologien in der Europäischen Union zu stärken, soll bis Mitte 2027 die Bewertung des Smart Readiness Indicator (SRI) zunächst für Nichtwohngebäude mit einer Heizungs- oder einer kombinierten Heizungs- und Lüftungsanlage mit mindestens 290 kW Nennleistung verbindlich werden.¹⁾

Der SRI umfasst 54 Dienste in 9 technischen Bereichen. Durch die Erreichung höherer Funktionalitätsniveaus innerhalb der Dienste können höhere Punktzahlen in sieben Wirkungskriterien, unter anderem Energieeffizienz und (thermischer) Komfort erzielt werden. Die Funktionalitätsniveaus beschreiben dabei Infrastruktur- oder Regelungsoptionen und unterscheiden sich inhaltlich erkennbar von marktetablierten Nachhaltigkeitszertifikaten wie DGNB, LEED, BREEAM, WELL oder SmartScore. Zugleich bezieht sich die SRI-Bewertung auf eine Fähigkeit zur Intelligenz, während mögliche resultierende Effizienz- und Komfortverbesserung außerhalb des Betrachtungsrahmens liegen. Die daraus erwachsene Unsicherheit bezüglich der Rentabilität von einzelnen Maßnahmen und die Vielzahl der Dienste und Funktionalitätsniveaus bergen jedoch die Gefahr umsetzungshemmend zu wirken.



Abbildung 1: Klassiqua-Projektlogo

Im Forschungsprojekt Klassiqua²⁾ möchten wir gemeinsam mit Baupraxispartnern aus den Bereichen Planung, Ausführung und Monitoring die Frage beantworten, wie groß der Effekt sein kann, wenn in höhere Funktionalitätsniveaus investiert

wird (Projektlogo in Abb.1). Im ersten Projektteil liegt dabei der Fokus auf Kosten-Nutzen-Analysen im Bereich der Raumtemperierung in deutschen Büros, bei denen auch Komfortnutzen mitbetrachtet werden sollen.

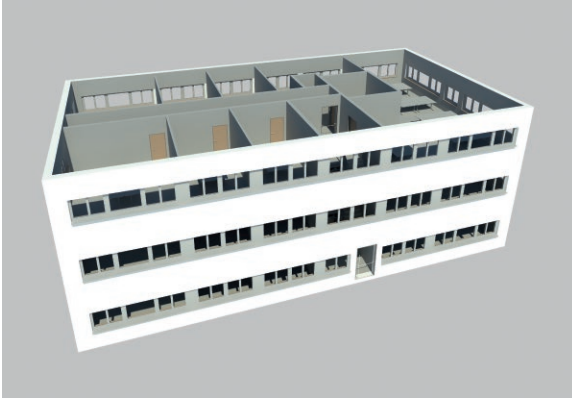


Abbildung 2: Bürogebäude-Archetyp als BIM-Modell

Auf Grundlage verfügbarer statistischer Erhebungen wurden im Projekt Büro-Archetypen für die Baualtersklassen um 1970, um 2000 und um 2023 definiert und mit Building Information Modeling (BIM) im IFC-Format dargestellt (siehe Abb. 2). In den anschließenden Jahressimulationen in EnergyPlus wird die Wirkweise von in SRI-Diensten vorgeschlagenen Umsetzungsoptionen abhängig von den Randbedingungen quantitativ aufgezeigt. Die Ergebnisse dienen der kritischen Diskussion des aktuellen SRI-Punktesystem-Entwurfs und der für Deutschland geplanten Gewichtungen der Wirkungskriterien. In Meta-Analysen soll dann die Wirtschaftlichkeit von Funktionalitätsniveaus für verschiedene Anwendungsfälle abgeschätzt werden. Unser Projektumfang umfasst ebenso die Anwendung in Mehrfamilienhäuser. Standardisierte Maßnahmen im Kontext des SRI können insbesondere im deutschen Bürobestand eine attraktive Alternative zur konventionellen Sanierung bieten. Unsere Forschung soll die Einführung des SRI in Deutschland durch Anpassungsempfehlungen und Handreichungen für die Praxis unterstützen.

Wir danken für die finanzielle Unterstützung des Projektes Klassiqua durch das BMWK (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz) unter Förderkennzeichen 03EN1099A.

- ¹⁾ Europäische Union (Hg.) (2024): Richtlinie (EU) 2024/1275 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. April 2024 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).
- ²⁾ Klassifizierung und quantitative Bewertung von Dateninfrastruktur und Regelungsoptionen in typisierten Simulationen zur möglichen Anpassung des Smart Readiness Indicators.



Thomas Schreiber
Senior Engineer Demand Side Management
aedifion GmbH

Demand Side Management in Nichtwohngebäuden – ein technischer Erfahrungsbericht zwischen Forschung und Praxis

Die Integration erneuerbarer Energien in das Stromnetz bringt neue Herausforderungen für dessen Stabilität mit sich. Da das Angebot aus erneuerbaren Quellen über Tage und Wochen erheblich schwankt, muss zukünftig auch die Flexibilität auf der Nachfrageseite gesteigert werden. Eine zentrale Rolle spielen hierbei das sogenannte „Demand Side Management“ (DSM), welches das aktive Managen der Bedarfsseite umfasst, sowie „Demand Response“ (DR), welches den reaktiven Energiesystembetrieb auf externe Signale, wie etwa Strompreise, beschreibt.

Gerade durch diese Konzepte für den intelligenten Betrieb von Gebäudeenergiesystemen lassen sich in den kommenden Jahren erhebliche Potenziale erschließen, um die Stromnetze zu stabilisieren. Mit der fortschreitenden Elektrifizierung der Wärme- und Kälteversorgung und der im nächsten Jahr bevorstehenden Novelle des EnWG, die Stromversorger zur Bereitstellung dynamischer Stromtarife verpflichtet, ergibt sich eine große Chance für Betreiber. Nachhaltigkeit und Kostenreduktion können durch die Optimierung von Gebäuden auf dynamische Stromtarife miteinander verbunden werden.

Dieser Beitrag zeigt anhand von realen Fallbeispielen, wie bewährte Methoden aus der Forschung praxisnah in realen Umgebungen angewendet werden können. Es werden sowohl Verfahren zur Abschätzung des Flexibilitätspotentials und der Kosteneinsparungen durch DSM als auch Algorithmen zur Berechnung von Sollwerten für die Gebäudeautomation vorgestellt, die eine dynamische Reduktion der Stromkosten ermöglichen. Für jedes Fallbeispiel werden zudem die Herausforderungen bei der Umsetzung sowie die Ergebnisse aus dem realen Betrieb analysiert.

Abschließend werden auf Basis der Erkenntnisse konkrete Handlungsempfehlungen für die praktische Einführung flexibler Stromtarife in realen Gebäuden formuliert.



Alexander Floß
Hochschule Biberach
Michael Schaub
Hochschule Coburg

Abfall der Vorlauftemperatur in Wärmepumpen-Systemen

Wärmepumpen (WP) spielen im Rahmen der Wärmewende eine Schlüsselrolle. Die Effizienz von Wärmepumpen hängt in hohem Masse vom Temperaturhub zwischen Verdampfung (Wärmequelle) und Kondensation (Wärmesenke) ab. Um die Kondensationstemperatur der WP niedrig und damit die Effizienz des Wärmepumpen-Systems (WPS) hoch zu halten, müssen zum einen die Raumheizeinrichtungen so ausgewählt und dimensioniert werden, dass sie mit möglichst niedriger Temperatur (Vorlauftemperatur am Verbraucher) versorgt werden können. Zum anderen muss darauf geachtet werden, dass die Vorlauftemperatur in der Heizungshydraulik von der Wärmepumpe bis zum Verbraucher möglichst nicht bzw. nur sehr geringfügig abnimmt.

Im Rahmen von Feldversuchen am Institut für Gebäude- und Energiesysteme (IGE) der Hochschule Biberach¹⁾ wurden Temperaturabfälle (Drop of Supply Temperature DoST) im Vorlauf zwischen Wärmepumpe und Verbraucher in einer Größenordnung von 0,2 bis 10,5 K beobachtet. Diese DoST's waren nicht die Folge von Wärmeverlusten, sondern konnten auf unterschiedlich starke Durchmischungen im Hydrauliksystem, je nach Einbindung der Pufferspeicher, zurückgeführt werden. In Wärmepumpen-Systemen führen solche Exergieverluste zu einem höheren Stromverbrauch des Wärmepumpenverdichters, da die Kondensationstemperatur um den DoST angehoben werden muss, um den Verbraucher mit dem gewünschten Temperaturniveau zu versorgen.

Zum einfachen Verständnis werden Ursachen des DoST wie z.B:

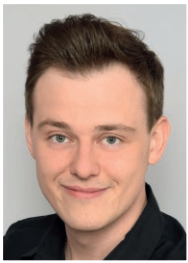
- Einbindung Pufferspeicher
- zusätzliche Wärmeübertrager
- Hydraulische Weichen
- Nachlaufen von Umwälzpumpen
- Schleichströmungen

zunächst unter stationären Bedingungen vorgestellt, sowie Größenordnungen für den DoST angegeben. Damit kann aufgezeigt werden, dass es bei ungünstigen Konstellationen im WPS schnell zu einer vermeidbaren Effizienzverschlechterung von 30 bis 50 % und mehr kommen kann.

Weiterhin wird aufgezeigt, dass auch schon ein instationärer Betrieb (Taktbetrieb da die Leistung der Wärmepumpe größer als die Last der Verbraucher ist) in der Regel zu einem DoST führt.

Durch geeignete hydraulische Schaltungen mit entsprechenden Regelstrategien lassen sich jedoch unter instationären Bedingungen sogar negative DoST erreichen. Hierzu muss der hydraulisch parallel integrierte Pufferspeicher in mehreren Umläufen durch die WP gestuft beladen und über den Verbraucher in einem Umlauf geschichtet entladen werden. In diesem Fall ist die mittlere Beladetemperatur des Pufferspeichers niedriger als die mittlere Entnahmetemperatur. Dieser Effekt kann zumindest zukünftig genutzt werden, um bei einem Überangebot von Strom thermische Pufferspeicher hoch effizient zu beladen.

¹⁾ Floss, Alexander G.; Fink, Stefan; Hofmann, Stefan; „Optimized Integration of Storage Tanks in Heat Pump Systems” Proceedings of The Second International Conference on Building Energy and Environment (COBEE) 2012, Boulder Colorado, US; pages 169 to 176; ISBN: 978-0-9816881-9-0; 0-9816881-9-5



Timo Eichenhardt

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Turbomaschinen und Akustik
Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden

Ralph Krause

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden

Adaptive Ventilatorschaufeln mit Formgedächtnislegierungen: Vergleich unterschiedlicher Geometrieconzepte zur Energieeinsparung

HLK-Anlagen sind darauf ausgelegt, möglichst effizient an ihrem vorgesehenen Betriebspunkt zu arbeiten. In der Praxis ergeben sich jedoch durch variierende Lastbedingungen Abweichungen, die zu suboptimalen Wirkungsgraden und erhöhten Energieverbräuchen führen. Mit einer variablen Schaufelgeometrie lässt sich das jeweils aktuelle Optimum in Richtung dieses Betriebspunkts verschieben, sodass die Verluste minimiert werden können. Ein Forschungsprojekt in Zusammenarbeit zwischen dem STFI Chemnitz und dem ILK Dresden widmet sich dieser Thematik, indem Schaufelgeometrien aus Faserverbundwerkstoffen mit integrierten Drähten aus Formgedächtnislegierungen (FGL) entwickelt werden. Diese Kombination erlaubt eine dynamische Anpassung der Schaufelkrümmung an wechselnde Betriebsanforderungen, ohne dass auf konventionelle mechanische Aktorik zurückgegriffen werden muss. Stattdessen wird durch kontrollierte, elektrische Erwärmung der FGL-Drähte eine reversible Verformung erreicht.

Zur Veranschaulichung der sich daraus ergebenden qualitativen Effizienzsteigerungen werden in dem Vortrag vier Varianten betrachtet:

- (1) Starre Ventilatorschaufeln (aktueller Standard)
- (2) Rotierbare Ventilatorschaufeln mit konstanter Krümmung
- (3) Variable Schaufelkrümmung mit fixierter Vorderkante
- (4) Kombination aus Rotation und variabler Schaufelkrümmung

Am Beispiel einer Bestandsanlage kann durch die Anwendung der Variante 3 eine Energieeinsparung von über drei Prozent errechnet werden.

Im Rahmen des Projekts wird untersucht, wie sich die Faserverbundwerkstoffe aufbauen lassen, um die benötigte Verformungsfähigkeit zu gewährleisten und gleichzeitig eine ausreichende Lebensdauer unter realen Betriebsbedingungen zu erzielen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt außerdem auf der elektrischen Ansteuerung der Formgedächtnisdrähte. Da das Erwärmen der Drähte eine

wichtige Rolle für die Formänderung spielt, wird erforscht, wie der Energieeintrag möglichst reproduzierbar gestaltet werden kann. Aspekte wie die Nutzung des Drahtes als Sensorik für eine gezielte Regelung oder das Vermeiden lokaler Überhitzungen sind weitere zentrale Untersuchungsgegenstände, um den praktischen Einsatz in HLK-Anlagen dauerhaft zu gewährleisten.

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse bieten somit einen Ausblick auf mögliche zukünftige Optionen im Ventilatorbau. Insbesondere durch die aktive Formänderung tragen Faserverbundbauteile mit integrierten FGL-Drähten dazu bei, HLK-Anlagen anpassungsfähiger, effizienter und letztlich nachhaltiger zu gestalten.



Julius Breuer
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Fluidsystemtechnik, TU Darmstadt

Peter Pelz
Institut für Fluidsystemtechnik, TU Darmstadt

Algorithmische Systemplanung von RLT-Anlagen: Effiziente Lösungen für moderne Lüftungsanlagen

Die Klimaziele der EU fordern energieeffiziente Gebäude, in denen Lüftungsanlagen eine zentrale Rolle spielen. Ihre Planung erfordert eine präzise Abstimmung von Komponenten, insbesondere Platzierung, Verschaltung und Betrieb der Ventilatoren. Traditionelle Planungsmethoden, die sich auf den maximalen Lastfall konzentrieren, führen jedoch häufig zu Überdimensionierungen und ineffizientem Energieeinsatz.

Energieeffizienter und kostengünstiger ist es hingegen auch Teillastszenarien mit einzubeziehen, da diese eine präzisere Dimensionierung auf den tatsächlichen Betrieb erlaubt. Zudem eröffnen neue Lüftungskonzepte mit verteilten Komponenten im zentralen Kanalnetz weiteres Potenzial zur Effizienzsteigerung. Allerdings führt die Einbeziehung mehrerer Lastfälle sowie die Integration verteilter Komponenten in die Planung zu einer erheblichen Komplexität mit einer Vielzahl möglicher Kombinationen, die manuell kaum zu bewältigen ist.

Um dieses Problem zu lösen, wurde im FLT-Forschungsprojekt „Algorithmische Systemplanung von RLT-Anlagen“ ein systematischer Ansatz entwickelt, der mathematische Optimierungsmethoden nutzt, um global-optimale Lösungen zu liefern. Diese Methoden lassen sich in zwei wesentliche Planungsphasen der HOAI integrieren: Vorplanung und Entwurfsplanung. In der Vorplanung (Leistungsphase 2) werden Bauplätze für Ventilatorstationen und Volumenstromregler sowie die Dimensionierung der Kanalnetze ermittelt, wobei mehrere Lastfälle berücksichtigt werden. Dank mathematischer Optimierung können viele Varianten in kurzer Zeit getestet werden. In der Entwurfsplanung (Leistungsphase 3) werden Ventilatoren und ihre Betriebsweise so optimiert, dass die Anforderungen aller Lastfälle präzise erfüllt werden. Dazu kommen Modelle zum Einsatz, die die Komponenten exakt beschreiben.

Zusätzlich wurden akustische Anforderungen in die Optimierung integriert, indem eine Modellierung gemäß VDI 2081 durchgeführt wurde. Dadurch konnten beispielsweise auch Schallschutzmaßnahmen wie die Auslegung von Schalldämpfern berücksichtigt werden. Trotz der erhöhten Komplexität durch neue Komponenten und Komponentenmodelle ermöglichen mathematische Umformulierungen eine effiziente Berechnung, die Zielkonflikte zwischen Energieeffizienz, Kosten und Akustik transparent macht.

Darüber hinaus wurden erste Ansätze zur Integration der Heizbedarfe und damit einhergehender Komponenten modelliert. Die algorithmischen Planungsmethoden eröffnen Planern und Ingenieuren neue Möglichkeiten, um energieeffiziente, kostengünstige und leise Lüftungssysteme zu realisieren. Gleichzeitig machen sie Zielkonflikte transparent und unterstützen Entscheidungsträger dabei, fundierte Entscheidungen zu treffen.



Michael Müller
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)

Maurizio Calandri
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)

Tobias Henzler
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)

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

Von der Potentialstudie zur experimentellen Untersuchung – Regelbare Dämmelemente für Fassadensysteme

Eine Verringerung des Energiebedarfs und eine ausreichende Verfügbarkeit von Speichermöglichkeiten für Wärme und Kälte sind wesentliche Voraussetzungen, um zukünftig eine weitestgehend erneuerbare Wärme- und Kälteversorgung in Deutschland zu erreichen.

Neubauten und sanierte Gebäude zeichnen sich durch eine Gebäudehülle mit hohem Dämmstandard und hoher Luftdichtheit zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs aus. Dies kann jedoch aufgrund der internen Wärmelasten auch bei moderaten Außentemperaturen bereits zu einem erhöhten Kühlenergiebedarf führen, wenn die maximal zulässigen Raumtemperaturen eingehalten werden sollen. Eine Möglichkeit, den Gesamtenergiebedarf von Gebäuden zu senken, bieten regelbare Gebäudehüllen, bei denen der Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle gezielt eingestellt werden kann.

Darüber hinaus können regelbare Dämmelemente in Kombination mit Speichermassen, die in Form von tragenden Massivbauteilen im Gebäude vorhanden sind, gezielt als be- und entladbares Speichersystem für thermische Energie genutzt werden.

Das IGTE führt im Rahmen des Projekts ReVaD (Industrielle Gemeinschaftsforschung, FKZ: 22617 N) eine Simulationsstudie durch, um das Energieeinsparpotential von Fassadensystemen mit regelbaren Dämmelementen zu untersuchen. Thermisch-energetische Simulationsprogramme nach dem Stand der Technik, mit denen Jahressimulationen nach VDI 6020 durchgeführt werden können, definieren den Wandaufbau explizit als zeitunabhängige Größe. Für die Abbildung regelbarer Dämmelemente ist jedoch eine solche Variation der Materialeigenschaften und -daten erforderlich.

Anhand eines hierfür in MATLAB entwickelten Raummodells wurden Wandmodelle mit der Möglichkeit zur Berücksichtigung der zeitlich veränderlichen Wärmeleitfähigkeit erstellt. Eine veränderliche Wärmeleitfähigkeit und die Abbildung unterschiedlicher Schalfaktoren bei Einhaltung bauphysikalischer Kriterien ermöglichen die Berechnung der idealen Wärmeleitfähigkeit der Wand für den jeweiligen Zeitschritt. Die so ermittelten theoretischen Einsparpotentiale des Kühlenergiebedarfs liegen je nach Randbedingungen und angenommenem Schalfaktor der Dämmelemente bei bis zu 70 %.

Eine Möglichkeit der technischen Realisierbarkeit adaptiver Gebäudehüllen stellen regelbare Vakuumdämmelemente dar, die im Projekt ReVaD untersucht werden. Die Projektpartner Deutsches Institut für Luft- und Raumfahrttechnik (DLR) und die Deutschen Institute für Textil und Fasertechnik (DITF) entwickeln thermochemische Reaktionen in einem Metallhydridreaktor (DLR) zur präzisen Einstellung des Gasdrucks in den daran angeschlossenen Dämmelementen mit textilem Füllkern (DITF). In diesen porösen, textilen Strukturen korreliert der Gasdruck direkt mit der Wärmeleitfähigkeit. Um diese als thermisch adaptive Fassadenelemente nutzbar zu machen, wird im Forschungsvorhaben ein Demonstrator entwickelt und im Raumluftrömungslabor des IGTE experimentell untersucht. Dabei können die thermischen Eigenschaften charakterisiert und der Einfluss der Wärmeleitfähigkeit der Dämmelemente auf die Raumtemperatur untersucht werden.



Christian Friebe
Hauptbereitsleitung Klimatechnik
Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden
Hannes Rosenbaum
Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH, Dresden

Echtzeit-Diagnosetool für Hygiene und Energiekennwerte von RLT-Komponenten

Material- und Oberflächeneigenschaften in Klimaanlageanlagen unterliegen Veränderungen z. B. durch Alterung, Abnutzung oder Verunreinigungen. Das begründet regelmäßige Inspektions-, Wartungs- oder auch Reinigungsmaßnahmen. Insbesondere wärme- und stoffübertragende RLT-Komponenten erfordern im Zuge der Qualitätssicherung und dem Streben nach Nachhaltigkeit und Energieeffizienz eine dauerhafte messtechnische Überwachung, die über die bisher übliche Datenaufzeichnung in Gebäudeleitzentralen hinausgeht. Gemeint ist eine breite, auf Auslegungs- und Prozessdaten basierende Funktions- und Eigenschaftsüberwachung mit dem Ziel eines parametergeführten Wartungsmanagements. Sie fußt auf einem umfangreichen Informationsaustausch entlang der gesamten Wertschöpfungskette und des Lebenszyklus (Industrie 4.0).

Für einen neuartigen, zur Befeuchtung und sorptiven Entfeuchtung geeigneten, Membran-Wärme- und Stoffübertrager hat das ILK Dresden ein messwertbasiertes Diagnosetool entwickelt. Ziel war es, aktuelle Messdaten unter Berücksichtigung von Langzeitdaten so zu verarbeiten, dass in Echtzeit statistische Analysen zu Veränderungen von Materialkenngrößen seit Inbetriebnahme, Soll-Ist-Vergleiche sowie Risikobewertungen (z. B. Schimmelwachstum) durchgeführt werden können. Zentraler Baustein des in Labview programmierten Tools ist ein integriertes Python-Skript zur iterativen Berechnung idealer Vergleichsprozesse und realer Kennwerte des Wärme- und Stofftransportvorgangs im konkreten Membran-Wärmeübertrager. Basis für die Bewertung des Schimmelwachstumsrisikos sind sogenannte Isoplethendiagramme für Sporenkeimung und Myzelwachstum in Abhängigkeit von Pilzart und Substratgruppe.

Das Berechnungsprogramm wurde mit Messwerten aus einem mehr als 150 Tagen dauernden Betrieb unter Laborbedingungen verglichen. Im Ergebnis zeigte sich, dass der Verlauf der thermodynamischen Zustandsgrößen gut getroffen wird, es jedoch noch eine Diskrepanz in der Höhe gibt. Die Ursache dafür liegt in der Ausführung des Wärmeübertragers, der von den Vorgaben leicht abweicht.

Die für unterschiedliche Substratwerte durchgeführte Berechnung des Schimmelwachstums zeigt plausible Werte. Die Verläufe lassen erkennen, dass bei entsprechender Betriebsweise eine Reduktion des Schimmelwachstums erreicht und eventuell vorhandener Myzelbewuchs wieder reduziert werden kann. Die derzeit vereinfacht modelliert hinterlegten Isoplethen können in einer weiterführenden Ausbaustufe für verschiedene Schimmelpilze und Oberflächenmaterialien eingelesen werden und die Risikobewertung präzisieren. Die durch maschinelles Lernen mögliche Wiedererkennung besonderer Ereignisse (Lastverläufe, Wartung, Störungen, ...) ist Grundlage für Prozessoptimierung, Qualitätssicherung und nachhaltigen Anlagenbetrieb.

Für den Einsatz des Verfahrens zur Überwachung von Betriebszuständen in der Praxis sind weitere Messungen unter definierten und einstellbaren Bedingungen notwendig. Dies betrifft sowohl der thermofluiddynamische Bedingungen als auch der biologische Abgleiche der Ergebnisse mit den Berechnungswerten.

Joachim Seifert
TU Berlin, Herman-Rietschel-Institut
TU Dresden, Institut für Energietechnik
A. Meinzenbach
TU Dresden, Institut für Energietechnik

Lars Schinke
TU Dresden, Institut für Energietechnik
Martin Knorr
TU Dresden, Institut für Energietechnik
Alf Perschk
TU Dresden, Institut für Energietechnik

Infrarotheizungen als Option zur Dekarbonisierung des Gebäudebestandes

Die Dekarbonisierung des Gebäudebestandes ist eine vordringliche Aufgabe unserer Zeit, um die gesteckten Klimaziele erreichen zu können. Hierzu ist es notwendig Lösungen anzubieten, die schnell zukunftssicher und kostengünstig sind, da der gesamte Gebäudebestand in der Anlagentechnik nicht saniert werden kann.

Ideen die Systemtemperaturen abzusenken und damit den effizienten Betrieb von Wärmepumpen zu unterstützen, gibt es schon länger. Bisher nicht hinreichend gelöst werden konnte die Fragestellung, wie die hierdurch entstehende Heizleistungsminderung bei den Wärmeübergabeeinrichtungen gedeckt werden kann. Mit der Infrarotheizung wird von den Herstellern eine Lösung zu diesem Problem versprochen.

Dem Beitrag liegt eine umfangreiche Studie der TU Dresden zugrunde, in welcher verschiedene Systemkombinationen von Wärmepumpen und Infrarotheizungen analysiert wurden. Ziel der Untersuchungen war zunächst die technische Realisierbarkeit der Systemkombination Wärmepumpe und Infrarotheizung zu bewerten. Neben Gebäuden mit einem Dämmstandard nach WSV095 wurden Analysen auch für Altbauten sowie Gebäude nach GEG-2024 durchgeführt.

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass alle Systemkombinationen die gestellten Heizaufgaben erfüllen. Die Grundbeheizung wird durch das wasserbasierte Heizungssystem mit Wärmepumpe realisiert und die besonders unter dynamischen Bedingungen auftretende Spitzenlast kann durch die Infrarotheizung gedeckt werden.

Eine schnelle Substitution von fossilen Energieträgern wird damit möglich. Zusätzlich beleuchtet wird in der Studie auch die Rückwirkung auf das elektrische Niederspannungsnetz und die sich einstellenden elektrischen Spitzenlasten. Die Ergebnisse der Analysen zeigen hier eine deutlich höhere Belastung des elektrischen Niederspannungsnetzes. Dies muss bei der massenhaften Einführung derartiger Systemkombinationen, z. B. durch geeignete Energiemanagementsysteme, berücksichtigt werden.



Andreas Wagner
Professor für Building Science and
Technology
Karlsruher Institut für Technologie
(KIT)

Ulrich Leibfried
Consolar Solare Energiesysteme
GmbH

Stefan Fischer
Universität Stuttgart, IGTE

Nadja Pfeifer
ME Wohnungsverwaltungs GmbH
& Co. KG

fronTherm – ein neuartiges Fassadenheiz- und -kühleinheit zur seriellen Sanierung von Bestandsgebäuden

Der Gebäudesektor hinkt seit mehreren Jahren seinen Zielsetzungen für das Erreichen der Klimaneutralität hinterher. Notwendig ist eine weitreichende Sanierung des Gebäudebestands – Reduktion des Wärmebedarfs (Gebäudehülle) und Dekarbonisierung der Wärmeerzeugung –, was Sanierungsraten erfordert, die mit den heute verfügbaren Handwerkskapazitäten nicht vorstellbar erscheinen. Weiterhin führen hohe notwendige Investitionen seitens der Gebäudeeigentümer in der Praxis oft zu einem Verschleppen der Sanierungsmaßnahmen oder nur zum Austausch des Wärmeerzeugers mit für die kommenden 20 Jahre weiterhin zu hohen CO₂-Emissionen.

Bei der Transformation der Energieversorgung im Gebäudebestand wird der Einsatz von Wärmepumpen eine entscheidende Rolle spielen. Wärmepumpen benötigen jedoch für einen effizienten Betrieb Niedertemperatur-Heizflächen, die im Gebäudebestand meist nicht vorhanden sind. Hinsichtlich der Wärmequelle ergeben sich in innerstädtischen Lagen, insbesondere bei Mehrfamilienhäusern, oft Probleme wegen der Geräuschbelastung und eingeschränkten Platzmöglichkeiten (Luft-Wärmepumpe) oder nicht gegebener räumlicher oder geologischer Voraussetzungen für Erdsonden.

Hier setzt fronTherm an, das die gleichzeitige Sanierung von Gebäudehülle und Heizsystem ermöglicht. Es soll den effizienten Einsatz von Solar- und Wärmepumpentechnologie ermöglichen und auch von angelernten Kräften fehlerfrei eingesetzt werden können. Es könnte damit auf disruptive Weise drastisch gesteigerte Sanierungsraten ermöglichen und so einen wesentlichen Beitrag zur Emissionsminderung im Gebäudesektor leisten. Das Konzept beruht auf Fassadenheiz- und -kühleinheiten, die in Serie produziert und außen auf die Fassade aufgebracht werden. Die Module beinhalten eine Mini-Wärmepumpe mit einer Kondensatorfläche zur Wärmeabgabe zur Gebäudewand hin und gleichzeitiger Erwärmung der für den Luftwechsel benötigten Zuluft. Zur Umgebungsluft und Sonne hin ist eine Verdampferfläche angebracht (Heizfall). Diese Fläche ist bei geeignet exponierten

Fassaden auch mit PV-Modulen ausgestattet. Im Kühlfall wird die Kondensator- zur Verdampferfläche und umgekehrt. Die Fassadenheiz- und Kühleinheiten dienen als einzige Wärme- und Kältequelle für das Gebäude. Abbildung 1 zeigt das Prinzip von fronTherm.

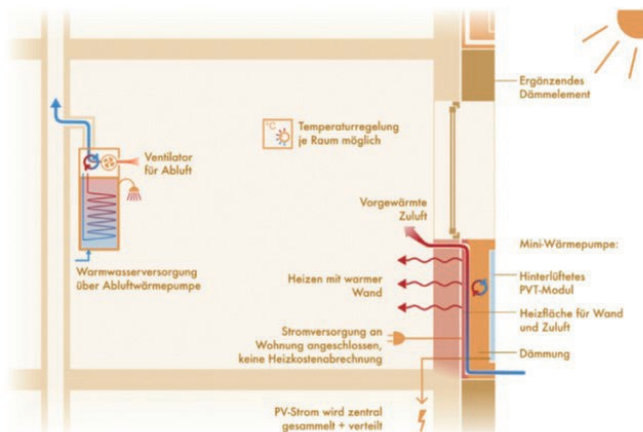


Abbildung 1: Prinzip von fronTherm

Der Fokus bzgl. Eignung von Gebäuden für fronTherm-Systeme wurde aufgrund der Typenähnlichkeit und damit der Möglichkeit der Serienfertigung von Modulen gleicher Größe auf Mehrfamiliengebäude gelegt. Für die Sanierung mit fronTherm-Fassadenmodulen erweisen sich Mehrfamilienhäuser aus den Jahren 1919–1968 bzw. Groß-Mehrfamilienhäuser aus den Jahren 1919–1957 sowie Mehrfamilienhäuser in den neuen Bundesländern von 1949–1978, die vielfach noch keinen Wärmeschutz aufweisen und mehrheitlich schwere Außenwände besitzen, als besonders geeignet. Zusammen stellen diese Gebäude ein enormes Potential dar – eine grobe Abschätzung ergibt eine Zahl von ca. 10 Mio. Wohnungen, die für fronTherm geeignet sein könnten, wenn noch keine Sanierung erfolgt ist. Neben nun folgenden baukonstruktiven, gestalterischen und bauphysikalischen Untersuchungen wird ein erstes Funktionsmuster gebaut und vermessen.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert.



Paul Seidel
Projektleiter, wiss. Mitarbeiter
TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergie-
technik und Wärmeversorgung
Martin Altenburger
TU Berlin, Prof. f. Digitale
Vernetzung von Gebäude, Energie-
versorgungsanlagen und Nutzende

Joachim Seifert
TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergie-
technik und Wärmeversorgung / TU
Berlin, Prof. f. Digitale Vernetzung von
Gebäude, Energieversorgungsanlagen
und Nutzende
Lutz Birnick
Yados GmbH

N5GEH: E³ – Ein multienergetischer Systemregler für die bidirektionale Anbindung an Wärmenetze der Zukunft

Besonders 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 Photovoltaik (PV)-Systemen Hemmnisse, obwohl im urbanen Raum ausreichend Dach- und theoretisch auch Fassadenflächen zur Verfügung stehen. Die Kombination der beiden Technologien Wärmenetz und PV sowie deren ganzheitliche Betrachtung weist in diesem Kontext ein hohes Potential zur Ressourcenschonung sowie sektorenübergreifenden Energiebereitstellung und -nutzung auf. Hierdurch würde ein höherer Mehrwert für die ganzheitliche Energieversorgung geschaffen werden.

Bezugnehmend auf diese Themenstellung werden im Forschungsprojekt N5GEH: E³ [1, 2] anlagentechnische sowie digitale Lösungen entwickelt, welche es ermöglichen, ein lokales Energiemanagementsystem zu realisieren, mit dem multienergetische Systeme leicht und skalierbar umzusetzen sind. Das System besteht hierbei aus einem Wärmenetz (Ziel 5. Generation -kalte Nahwärme), vielen dezentralen Energiewandlungseinheiten unter Berücksichtigung einer hohen Einbindung von regenerativen Energien sowie dezentralen Energiewandlungseinheiten. Im Rahmen des oben genannten Projektes wurde ein Prototyp einer bidirektionalen Wärmeübergabestation, welche als Schnittstelle zwischen Liegenschaft und Wärmenetz dient, entwickelt und umfangreich im Labor erprobt. Neben der technischen Entwicklung lag der Schwerpunkt auf der Informations- und Kommunikationstechnik sowie den regelungstechnischen Algorithmen.

Im Rahmen der Präsentation werden der Prototyp der bidirektionalen Wärmeübergabestation und Ergebnisse der messtechnischen Untersuchungen der betrachteten Betriebsszenarien bei unterschiedlichen Randbedingungen im Labor vorgestellt. Diese wurden zur Validierung des erstellten Simulationsmodells und zum Test

des Systemreglers genutzt. Des Weiteren werden Informations- und Kommunikationstechnik (IKT)-Schnittstellen im Zusammenhang mit dem verwendeten Datenmodell und der Entwicklungsstand des multienergetischen Systemreglers sowie avisierte Feldtestgebäude vorgestellt.

Quellen:

[1] N5GEH, “E3 – Emissionsarme und energieeffiziente Energiebereitstellung im urbanen Raum unter Nutzung neuester, intelligenter IKT-Strukturen“, <https://n5geh.de/e3/>

[2] N5GEH: N5GEH – National 5G Energy Hub. Internet, 06 2023. – <https://n5geh.de/>

Das diesem Beitrag zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Förderkennzeichen 03EN3058C gefördert.



Amin Fariad
Sales Manager
Danfoss GmbH

Künstliche Intelligenz optimiert das Fernwärmenetz

Danfoss Leanheat Building- Intelligente Optimierung für Heizungsanlagen im Bestand – Kosten senken. Komfort erhöhen. Die Digitalisierung der Heiztechnologie markiert einen Wendepunkt in der Energieeffizienz von Gebäuden und bietet intelligente Lösungen für die Herausforderungen der Energiewende. Vor dem Hintergrund der Energiekosten und Regularien, wie der seit 2023 geltenden CO₂-Bepreisung, stehen Gebäudeeigentümer und Mieter vor erheblichen Herausforderungen. Insbesondere das 10-Stufen-Modell zur Aufteilung der CO₂-Kosten zwischen Vermietern und Mietern, basierend auf dem Energieverbrauch und den damit verbundenen Emissionen, rückt die Anpassung der Gebäudetechnik in den Fokus. Um Gebäude effizienter und nachhaltiger zu betreiben, kommen digitale und KI-basierte Technologien zum Einsatz.

Danfoss Leanheat Building ist eines dieser Systeme, da es künstliche Intelligenz verwendet, um Heizsysteme zu optimieren. Es analysiert Daten zu Nutzungsprofilen, aktuellen und prognostizierten Wetterbedingungen und Gebäudeeigenschaften, um die Heizungsregelung dynamisch an den tatsächlichen Bedarf anzupassen. Besonders in Übergangszeiten bieten sich Potenziale zur vorausschauenden Anpassung von Heizkurven mittels relevanter Parameter wie Sonneneinstrahlung und Windbewegungen. Technisch stützt sich die Lösung auf Modbus-fähige Heizungsregler, die direkt mit der cloudbasierten Leanheat-Plattform verbunden werden. Der Ansatz kombiniert ein physikalisches Modell der Gebäudethermodynamik mit Datenanalysen, um unbekannte latente Zustände wie die Innenraumtemperatur sowie Parameter wie Wärmeübertragungskoeffizienten präzise abzuschätzen.

Danfoss Leanheat Building ist bisher europaweit bei Versorgern, Netzbetreibern und Wohnungsunternehmen zum Einsatz gekommen. In Deutschland bilden vor allem Hamburg, Hannover und Nürnberg wichtige Leuchtturmprojekte in der Optimierung von Fernwärmenetzen. Zum Beispiel konnten gemeinsam mit dem Energieversorger in Hannover die primärseitigen Rücklauftemperaturen um bis zu 10 Kelvin gesenkt werden, was zu einer Effizienzsteigerung von durchschnittlich

7 % führte. Gleichzeitig blieb dank installierter Innenraumfühler in den Wohneinheiten ein komfortables Raumklima erhalten; parallel dienten die Innenraumfühler als zusätzlicher Datenpunkt, um die Heizkurvenoptimierung weiter zu verfeinern. Die kontinuierliche Datenerfassung (Vorlauf, Rücklauf, Pumpen, Wärmemengenzähler, Heizventile, zusätzliche Sensoren an Speicher und Peripherie) über das Modbus-Protokoll ermöglicht auch Ferndiagnosen und eine schnelle Fehlerbehebung.

Über die direkte Energieeinsparung hinaus eröffnete der Einsatz von Danfoss Leanheat Building weitere Vorteile für ein Fernwärmenetz. Die Spitzenlastreduktion im Fernwärmesystem – durch die Nutzung von Gebäuden als Wärmespeicher und die Integration in virtuelle Wärmespeicher – trägt zur Stabilisierung lokaler Energiesysteme bei. Leanheat Building reduziert die Spitzenlasten um bis zu 20 % durch eine Lastprofil-abhängige Vorrangschaltung, was vor allem die Integration regenerativer Energiequellen im Versorgungsnetz fördert.



Leona Schnelle

Projektingenieurin

Rud. Otto Meyer Technik GmbH & Co. KG, Forschung & Entwicklung, Hamburg

Anomalieerkennung im Gebäudebetrieb mit Hilfe multilinearer Parameteridentifikation

Einleitung

Der Endenergieverbrauch in Gebäuden für Raumwärme, Warmwasser und Beleuchtung macht mit rund 37 % einen erheblichen Anteil des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland aus. Zum Erreichen der Klimaneutralität des Gebäudebestandes bis 2045 ist neben energetischen Sanierungsmaßnahmen auch eine Optimierung des Gebäudebetriebs notwendig. Durch die zunehmende Digitalisierung sind vielerorts Monitoringdaten verfügbar. Eine automatisierte Nutzung dieser Daten zum Erkennen von Optimierungspotenzialen und auftretenden Fehlern, gehört aber noch nicht zum Standard, sodass eine große Lücke zwischen dem errechneten und dem tatsächlich erreichten Energieverbrauch in modernen Gebäuden entsteht.

Anomalie- und Fehlererkennungsalgorithmen können helfen, diese Lücke zu schließen. In diesem Beitrag wird ein modellbasierter Blackbox-Ansatz zur Anomalieerkennung in Nichtwohngebäuden vorgestellt, der durch effiziente Modellierungsmethoden mit wenig Rechenaufwand und Expertenwissen abnormales Verhalten im Gebäudebetrieb detektiert, (Schnelle & Lichtenberg, 2024).

Modellierungsansatz

Der vorgestellte Algorithmus basiert auf der Parameteridentifikation von multilinearen zeitinvarianten Zustandsraummodellen. Diese Modelle haben sich für die Approximation von Gebäudeverhalten bewährt, da sie durch Multiplikationen von Zuständen und Eingangssignalen weitere Dynamiken als lineare Modelle zulassen. Durch die multilineare Struktureinschränkung sind sie aber deutlich weniger komplex als nichtlineare Modelle, was eine schnelle Identifikation der Modelle aus Gebäudedaten und eine effiziente Simulation ermöglicht. Im Gegensatz zu Whitebox Modellierungsansätzen sind keine Planungsdaten des Gebäudes notwendig und es entfällt die aufwendige manuelle Modellerstellung. Zur Anomalieerkennung werden Parameter des aktuellen Gebäudebetriebs mit nominalen Parametern verglichen, um Abweichungen zu erkennen. Der Wert der

aktuellen Parameter liefert außerdem Interpretationsmöglichkeiten, wie stark die Zustände des Gebäudes von verschiedenen Signalen beeinflusst werden. Diese Eigenschaft kann Anhaltspunkte zur Ursache der Anomalie liefern.

Anwendung der Anomalieerkennung auf Gebäudedaten

Zur Evaluation des Algorithmus werden Monitoringdaten von Gebäuden genutzt, die zu bekannten Zeitpunkten Fehler enthalten. Die Fehler betreffen die raumluft-technischen Anlagen und beinhalten festsitzende Lüftungsklappen und durchlässige Ventile der Heiz- und Kühleinheiten. Die Modellbildung nutzt die Mess- und Stellsignale des HVAC-Systems, um für jeden Tag ein MTI-Modell zu erzeugen. Die Parameter der nominalen und fehlerhaften Tage werden klassifiziert, um die Fehler zu erkennen.

Dank des effizienten multilinearen Blackbox Ansatzes dauert die Modellbildung auf einem Standard-Laptop nur wenige Sekunden. Der Algorithmus erkennt über 80 % der auftretenden Fehler automatisch anhand abweichender Modellparameter und erzeugt keine Fehlalarme durch falsch positive Detektionen von Nominalverhalten. Der vorgestellte Algorithmus liefert damit eine Möglichkeit Fehler im Gebäudebetrieb schnell und mit wenig Aufwand zu erkennen und kann als Ergänzung zur etablierten Schwellwertüberwachung genutzt werden, um komplexe Anomalien, die sich auf die Gebäudedynamik auswirken, zu erkennen.

Literaturverzeichnis: Schnelle, L., & Lichtenberg, G. (2024). Supervision und Optimierung von Neubauten durch Daten-Exploration (SONDE). Abschlussbericht. Hamburg.



Gerhard G. Feldmeyer
Climate Responsible Strategies
Botschafter Madaster Foundation

Madaster die Plattform für nachhaltige Planung, zirkuläres Bauen und Industrial ReUse

2017 in den Niederlanden initiiert, ist Madaster das Kataster für Baumaterialien und Bauprodukte, inzwischen in sieben Europäischen Ländern mit wirtschaftlichen Geschäftsbetrieben aktiv. Ziel ist es, Materialien eine Identität zu geben und diese digital zu registrieren, denn nur wenn wir wissen, was die 'Urbane Mine' an Ressourcen für künftige Generationen bereithält können sich die notwendigen Geschäftsmodelle und Prozesse samt Logistik entwickeln. Die Baubranche ist sektorübergreifend mit ca. 50 % der größte Ressourcenverbraucher. Der globale Ressourcenverbrauch ist schon vor dem Hintergrund, dass sich die Weltbevölkerung in den vergangenen 50 Jahren verdoppelt hat, gewaltig und er wird weiter stark steigen. Die Tatsache, dass die Erde ein geschlossenes System ist, wo außer der Energie, die uns die Sonne liefert, nichts dazukommt, muss uns zwangsläufig weg vom linearen und hin zum zirkulären Wirtschaftsprinzip führen. Wir müssen sicherstellen, dass die bereits vorhandenen Ressourcen und Produkte maximal hochwertig im Kreislauf bleiben. Ganz nebenbei haben Sekundärressourcen in vielen Fällen einen deutlich reduzierten CO₂-Fußabdruck, machen unabhängiger von globalen Lieferketten und stabilisieren dadurch Märkte.

Der Clean Industrial Deal der EU, der Ende Januar 2025 veröffentlicht, und Ende Februar 2025 vorgestellt wurde, definiert 6 Schlüsselbereiche – neben der Senkung der Energiepreise eben auch die Circular Economy. Auch auf der nationalen und lokalen Ebene wird der Bedeutung des Zirkulären Bauens zunehmend Beachtung geschenkt, so konnte Madaster in 2024 mit dem MHKBD:NRW eine Kooperationsvereinbarung zur Förderung des digitalen Gebäuderessourcenpasses abschließen. Das Land Baden-Württemberg fördert aktuell eine Studie zur Ermittlung der gesamten Ressourcen, die im Gebäudebestand des Landes stecken. Das hierfür entwickelte Werkzeug, der sogenannte Urban Mining Screener ist auf der Madaster Plattform verfügbar. Anhand weniger Angaben: Baujahr, Standort, Art der Nutzung, Fläche und Kubatur lässt sich die stoffliche Zusammensetzung eines Gebäudes mit einer Genauigkeit von gut 80 % ermitteln. Im Zuge von Instandhaltungs- oder Sanierungsmaßnahmen kann die Genauigkeit der Datenlage dann weiter erhöht werden.

Im Bereich Bauwerk (Kostengruppe 300) liegen zunehmend Produktdaten aus sogenannten EPD's vor. Wo dies noch nicht der Fall ist, liefert die ÖkobaDat umfassende Datensätze. Im Bereich der TGA (Kostengruppe 400) ist die Datenlage aktuell noch rudimentär und die Erfassung im Gebäuderessourcenpass erfolgt mit Hilfe sogenannter Sockelbeträge. Diese Herangehensweise kann auf Dauer nicht zufriedenstellen. Umso mehr als im TGA-Bereich einerseits ein nennenswerter Anteil an Grauer Energie zu verorten ist und andererseits ein großer Teil der verbauten Produkte aus wertvollen Materialien wie Stahl, Aluminium, Kupfer und seltenen Erden bestehen. Vor diesem Hintergrund könnte es auch im zunehmenden Interesse der Hersteller liegen, Anlagen und Produkte im Sinne von Industrial ReUse am Ende der Nutzungsphase zurückzunehmen. Dies könnte mittelfristig auch zu einem ReUse freundlicheren Design führen, mit dem Ergebnis, die Ressourceneffizienz und den Restwert von Produkten u. Materialien zu steigern. Sowohl der dafür notwendige Zirkularitätsindex als auch der Restwert selbst, kann mit den digitalen Werkzeugen auf der Madaster Plattform ermittelt und ständig aktualisiert werden.

Voraussetzung für die optimale Datenerfassung ist ein sogenannter Digitaler Zwilling also eine BIM-basierte Projektabwicklung. In der Planung wird mit dem Status ‚As Planned‘ die Grundlage geschaffen. Über die Bauphase muss dieser in einen Status ‚As Built‘ überführt werden. Inclusive der digitalen Erfassung der Veränderungen im Lebenszyklus ist ein aktueller Status stets gesichert. Die dauerhafte Datenverfügbarkeit ist durch die Nutzung der Madaster Plattform garantiert. Die Rechte an den Daten liegen stets beim Gebäudeeigentümer.

Was die Hersteller betrifft ist mittlerweile eine Zunahme von Datensätzen zu beobachten, insbesondere im Bereich von Leitungen, Rohren, Trassen und Kanälen. Datensätze für ganze Anlagen sind aktuell noch die Ausnahme. Möglicherweise befürchten Hersteller, dass sie durch entsprechend detaillierte Datensätze oder Produktpässe technologische Wettbewerbsvorteile preisgeben. Möglicherweise waren aber auch die Anreize bis dato noch nicht ausreichend gegeben und ja, im Vergleich zur Kostengruppe 300 ist die TGA komplexer, weil vielschichtiger und kleinteiliger. Vielleicht hilft an dieser Stelle der Blick auf eine andere Branche. Apple hat, was das Recycling des iPhone betrifft, die 15 Hauptmaterialien, die 87 % der Masse ausmachen in den Blick genommen. Der Aufwand für die rund 40 weiteren Stoffe wäre gegenwärtig unverhältnismäßig und bestenfalls nach einem längeren Entwicklungsprozess sinnvoll rückgewinnbar.

Es wird überdeutlich, dass die Baubranche vor weiteren wegweisenden Veränderungen steht. Mit der Einführung der Bauproduktenverordnung (BauPVO) ab 2027 und neuen Regeln bezüglich der Umweltdeklarationen (EPD's) für eine verbesserte Abbildung der Vorteile der Wiederverwendung wird die Branche weiter in Atem gehalten. Auch die Anwendung des Planungswerkzeugs BIM samt Verbesserung von Schnittstellen gilt es konsequent voranzutreiben, dann lassen sich die erforderlichen Daten nämlich weitgehend automatisiert erheben.



Rebekka Grüttner
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Luft- und Kältetechnik gGmbH

Luftwechselratenmessung in Innenräumen – Entwicklung eines mobilen, optischen Messsystems mit Echtzeitanalyse

Ein neues Messsystem und ein zugehöriges Messverfahren zur Bestimmung von Luftwechselraten in Echtzeit unter Verwendung eines optischen Prinzips wurden entwickelt. Messungen von lokalen und mittleren Luftwechselraten mit Entfernungen von 1 bis 50 m sind damit möglich. Die Ergebnisse wurden mit der SF_6 -Tracergas-Abklingmethode und der volumetrischen Luftwechselmessung validiert.

Luftwechselmessungen bewerten die Effizienz von Lüftungssystemen. Oft weichen die im Realen erzielten Luftwechselraten von den geplanten Luftwechselzahlen ab. Bisher sind Luftwechselratenmessungen kosten- und zeitintensiv. Am häufigsten wird das Tracergasabklingverfahren mit dem Gas SF_6 verwendet, was eine punktuelle, lokale Probenahme und meist auch eine zeitverzögerte Auswertung im Labor bedeutet. Die Handhabung des Tracergases ist schwierig und es ist zudem das stärkste bekannte Treibhausgas. Das neue Messsystem liefert im Unterschied zur Tracergasmessung während eines Messdurchgangs die Luftwechselrate in Echtzeit, ist kostengünstig und klimafreundlich.

Das Messsystem basiert auf der Abschwächung des Laserlichts beim Durchgang des Strahls durch ein eingebrachtes sichtbares Aerosol. Als Aerosol wird bevorzugt das bereits in der Reinraumtechnik bewährte DEHS verwendet. Je nach vorliegender Aerosoldichte wird der Dauerstrich-Laserstrahl beim Durchgang durch den Messbereich abgeschwächt. Ein Teil des Laserlichts gelangt zum Detektor, wo die Helligkeitswerte über die Lüftungsdauer geloggt und über ein Softwareprogramm sofort ausgewertet werden können.

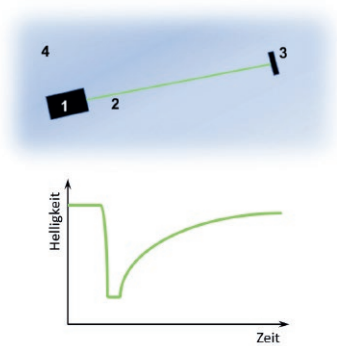


Abbildung 1: 1 Laser, 2 Laserstrahl durch gewählten Messbereich, 3 Detektor, 4 aerosolgefüllter Raum

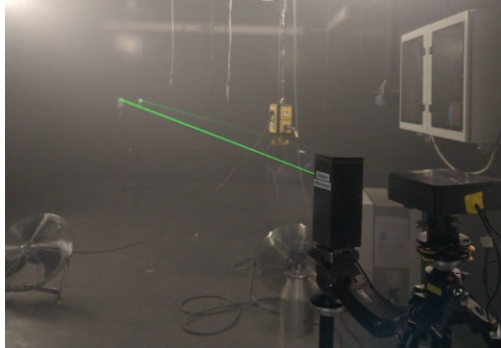


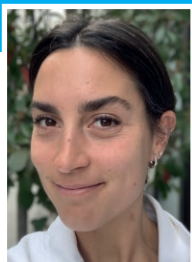
Abbildung 2: Versuche mit zwei Prototypen

Für die Ermittlung der Luftwechselrate wird zuerst die Basishelligkeit ohne Aerosol erfasst. Danach erfolgen die Einbringung und homogene Verteilung des Aerosols. Nach einer kurzen Luftberuhigungsphase beginnt die Aufzeichnung der Abklingkurve in Form des detektierten Helligkeitsverlaufes. Deren Echtzeitanalyse basiert auf der Berechnungsgrundlage der Tracergasabklingmethode nach ISO 12569 oder VDI 4300-7. Aus dieser Analyse des Helligkeitsverlaufes resultiert ein Wert, der sich aus der gesuchten Luftwechselrate und dem Wert des natürlichen Abklingens des verwendeten Aerosols zusammensetzt. Die natürliche Abklingrate ist von der aktiven Lüftung unabhängig und berücksichtigt Effekte wie Partikelanhaftungen und Verdunstung. Sie wird vorab ermittelt, oder sie ist bereits bekannt.

Das neue Messsystem ermöglicht sowohl die Bestimmung der integralen Luftwechselrate über die durchstrahlte Länge in einem bestimmten Bereich, als auch die Messung der mittleren Luftwechselrate eines Raumes durch Realisierung einer Mischlüftung mit Hilfsventilatoren im Raum. Die Validierungsmessungen bei idealer Mischlüftung mit dem Prototyp 2 ergaben eine Abweichung von $1,8 \pm 4 \%$ im Vergleich zu den volumetrischen gemessenen Luftwechselraten. Damit liegt die ermittelte Genauigkeit über der parallel durchgeführten Tracergasmessungen, mit einer ermittelten Abweichung und Streuung von $4,1 \pm 5,2 \%$.

Das neu entwickelte In-Situ-Messsystem bietet mit seinen Vorteilen eine gute Alternative zu bisherigen Verfahren der Luftwechselratenmessung.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.



Katalin Fülep
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin
Claudia Kopic, Martin Kriegel
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Infection control and energy optimization in hospital settings

Nosocomial infections are those that develop within 48 to 72 hours of a patient being admitted to a healthcare facility and were not present before their arrival. According to the WHO's *Global report on infection prevention and control* (2022), approximately seven out of every 100 patients in high-income countries contract at least one nosocomial infection during their hospital stay, and one in 10 of these individuals will succumb to the infection. The WHO further highlights that most nations lack adequate systems to monitor and record nosocomial infections.

Maintaining high indoor air quality (IAQ) in hospitals is essential to protect patients, healthcare staff, and visitors from nosocomial infections. Key approaches to ensuring good IAQ include effective ventilation, regulating humidity, and cooling systems. However, these methods require significant energy use, and with the energy consumption of a single hospital bed already being three times that of an average household, finding a balance between reducing infection risks and enhancing energy efficiency in hospital operations becomes a considerable challenge.

To address this issue, an interdisciplinary research project has been initiated in collaboration with TU Berlin, Charité Hospital, and TU Braunschweig. The study aims to explore the interplay between infection risks and energy demand while identifying strategies to reduce both. Four hospital wards have been selected for analysis, including two intensive care unit (ICU) with a high incidence of infections. The wards represent a variety of types, differing in their level of modernization, presence of cooling systems, and reliance on either advanced mechanical ventilation or simple window ventilation.

A comprehensive sensor network has been deployed across the wards, with measurements taken in patient rooms, corridors, and staff areas. Key environmental parameters are monitored, including temperature, CO₂ levels, humidity, total volatile organic compounds (TVOCs), and movement. Additionally, building energy models are being developed to create digital twins of the wards. These models

are calibrated with measured data to evaluate performance and explore potential solutions for improving both energy efficiency and infection control. Multiple scenarios are simulated within these models to assess and optimize interventions, offering insights into strategies that can simultaneously lower energy consumption and infection risks.

This study highlights the need for an integrated approach to healthcare facility management, where infection prevention and sustainable energy practices are pursued concurrently.



Kushagra Mathur
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin
Lukas Schumann, Lukas Schmitt, Martin Kriegel
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Indoor Environmental Quality Assessment in a Virtual Reality Laboratory

In industrialized countries, people spend around 90 % of their lifetime in indoor environments. Thereby, indoor environmental quality (IEQ) describes the quality of these spaces in terms of perceived comfort and health effects. IEQ is influenced by acoustic, visual, thermodynamic, olfactory, hygienic and psychological factors. Individual evaluation parameters already exist for the isolated evaluation of the sensation of the respective sensory stimuli. However, there is still no standardized scale for determining the IEQ, taking into account all interdependencies. It is therefore currently impossible to predict whether the person using the room is or will be in a pleasant and healthy environment.

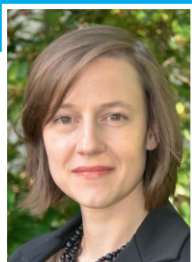
A comprehensive investigation of all the parameters that influence IEQ is time-consuming and costly in field tests, as extensive measurement technology has to be installed at every position to be evaluated in every room. A more sensible alternative here is a test laboratory in which test persons can evaluate the visual and thermal comfort as well as the air quality for any room with any geometry and an entirely reproducible microclimate.

Hence, an appropriate laboratory – the IEQ Lab (Indoor Environmental Quality Laboratory) – is set up at the Hermann-Rietschel-Institut. The IEQ Lab enables simultaneous presentation of thermal and visual aspects of IEQ by coupling a Virtual Reality (VR) environment with a climate room. Herein, the visual impression of a room is conveyed to a test person via a head-mounted display (HMD) showing a photo-realistic room model. The thermal impression of the corresponding room is projected onto the position of the test person in the room by a physical climate room. Therefore, the radiation and flow field in the near field of the test person is calculated in parallel and in real time using a Modelica simulation model. The simulation results in target values for the surface temperature and HVAC controllers of the climate room.

The cube-shaped enclosing surface of the climate room allows the radiant temperature to be adjusted from 54 different room directions and thus also the projection of complex radiation fields. A grid consisting of a swirl diffuser and several slot diffusers and displacement flow diffusers in all directions allows all typical room air flows to be represented in the near field of a test person positioned in the middle of the room. The control variables for projecting the flow field are the average velocities and temperatures of the room air at different heights in the near field of the test person.

The real-time capability of the overall concept, e.g. when changing position in the VR room model or opening a window, places high dynamic demands on the temperature control of the climate room. All temperature-controlled surfaces are therefore designed using a combination of low-capacitance heating textiles and rear-mounted water-cooled metal cassettes. Based on a steady state with a surface and air temperature of 20 °C in the climate chamber, a surface temperature change of 5 K within 30 s was achieved in preliminary experimental tests. A full air conditioning system enables an air change of 13 h⁻¹ and preconditioning of the room air (temperature, humidity, CO₂ concentration, etc.).

The IEQ Lab is validated by a subject study analyzing if the visual perception of a virtual room is similar to the perception of a real room in terms of IEQ. Additionally, it is evaluated if the coupled thermal and visual perception in the IEQ Lab is identical to the perception of the same conditions in a real room. Cognitive tests such as Operation Span (O-SPAN), Reading Span (R-SPAN), and Stroop tests are incorporated to compare concentration and productivity of test persons in both scenarios.



Doreen E. Kalz

Professorin

Berliner Hochschule für Technik, Berlin

Karl Blaz

Gesellschaft zur Bildung und Forschung im Schornsteinfegerhandwerk mbH,
Hannover

Thomas Hartmann

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung, Dresden

Praktische Anwendung von Lüftungskonzepten nach DIN 1946-6 und deren Einfluss auf das Feuchteschaden- und Gesundheitsrisiko in Wohnungen

Die DIN 1946–6^[1] stellt seit 2009 ein standardisiertes Verfahren zur Verfügung, um die Notwendigkeit lüftungstechnischer Maßnahmen (LtM) in Wohngebäuden zu überprüfen. Die vorliegende Feldstudie liefert erste Erkenntnisse zur praktischen Anwendung der Norm sowie zum Nutzen von Lüftungskonzepten und nutzerunabhängigen Lüftungssystemen. Im Rahmen der Untersuchung von 359 Wohneinheiten wurde der Einfluss dieser Konzepte auf das Risiko von Feuchteschäden umfassend analysiert.

Problemstellung und Motivation

Die Feldstudie untersucht sowohl die praktische Umsetzung von Lüftungskonzepten als auch deren Auswirkungen auf die tatsächlichen Lüftungsbedingungen in den betrachteten Nutzungseinheiten. Hierzu werden acht mögliche Szenarien bei der Anwendung von Lüftungskonzepten ausgewertet. Untersucht werden soll die Hypothese, ob lüftungsbedingte Feuchteschäden in Wohnungen ausgeschlossen werden können, wenn die Notwendigkeit von LtM erkannt sowie entsprechende Maßnahmen ergriffen werden.

Methodik

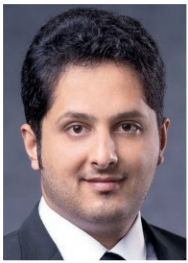
Um Szenarien in der Praxis zu überprüfen, wird im Rahmen der Feldstudie eine Datenerhebung in 359 Nutzungseinheiten durchgeführt. Dazu wird ein Fragebogen entwickelt und eine Zielgruppe definiert. Der Fragebogen basiert im Wesentlichen auf der DIN 1946–6^[1]. Es werden unter anderem die für die Erstellung eines Lüftungskonzeptes erforderlichen Daten abgefragt. Für die Auswahl geeigneter Nutzungseinheiten werden ebenfalls Kriterien festgelegt. Vorrangig werden solche Einheiten ausgewählt, für die ein Lüftungskonzept erforderlich ist oder gewesen wäre.

Ergebnisse und Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das Lüftungskonzept nach DIN 1946-6^[1] die Notwendigkeit lüftungstechnischer Maßnahmen (LtM) als auch das Risiko von Feuchteschäden zuverlässig bewerten kann. Die Analyse ergab, dass insbesondere Wohnungen in Mehrfamilienhäusern mit einer Nettogrundfläche bis 100 m² vorrangig von notwendigen LtM betroffen sind. Für ca. 22 % der 359 untersuchten Nutzungseinheiten wurden solche Maßnahmen als erforderlich identifiziert, während in rund 40 % der Einheiten normativ keine Maßnahmen vorgeschrieben waren, diese aber dennoch umgesetzt wurden. Bemerkenswert ist, dass in etwa der Hälfte der Nutzungseinheiten, für die LtM verpflichtend wären, auf eine entsprechende Maßnahme verzichtet wurde, was in über der Hälfte dieser Fälle zu Feuchteschäden führte. Auch in Fällen, in denen keine Maßnahmen erforderlich oder umgesetzt wurden, traten in etwa einem Drittel der Nutzungseinheiten Feuchteschäden auf. Insgesamt konnten in einem Drittel aller untersuchten Einheiten Feuchteschäden festgestellt werden. Dies legt den Schluss nahe, dass die verpflichtende Anwendung von Lüftungskonzepten unabhängig von der späteren Empfehlung lüftungstechnischer Maßnahmen gemäß DIN 1946-6^[1] erwogen werden sollte, um Feuchteschäden präventiv zu minimieren. Neben der DIN 1946-6^[1] kann in bestimmten Fällen, z. B. bei unüblichen Feuchtelasten, auch auf DIN/TS 4108-8 zurückgegriffen werden. Bei der Planung des Lüftungssystems müssen auch Anforderungen an den Brand- und Schallschutz sowie an die Energieeffizienz berücksichtigt werden. Darüber hinaus können auch die Vorstellungen der Bauherren sowie das verfügbare Budget maßgeblich Einfluss auf die Entscheidung für ein Lüftungssystem nehmen.

^[1] DIN 1946-6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, DIN Media GmbH, Berlin 12/2019.

Danksagung: Ein besonderer Dank gilt dem Landesinnungsverband für das Schornsteinfegerhandwerk Niedersachsen sowie dem Landesinnungsverband Bremen für die Unterstützung und Mitwirkung bei der Datenerhebung.



Payam Fatehi Karjou

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

Phillip Stoffel, Dirk Müller

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

Modernisierung von Bestandgebäuden zur energieeffizienten Raumheizung

Ein effizienter Gebäudebetrieb ist ein wesentlicher Bestandteil der deutschen Klimaschutzziele. Raumwärme und Warmwasser machen rund 70% des Energieverbrauchs in Gebäuden aus und tragen somit erheblich zum Gesamtenergieverbrauch bei. Besonders Nichtwohngebäude wie Büros, Schulen und öffentliche Einrichtungen haben oft komplexe Nutzungsprofile, die von konventionellen Heizsystemen nur unzureichend berücksichtigt werden.

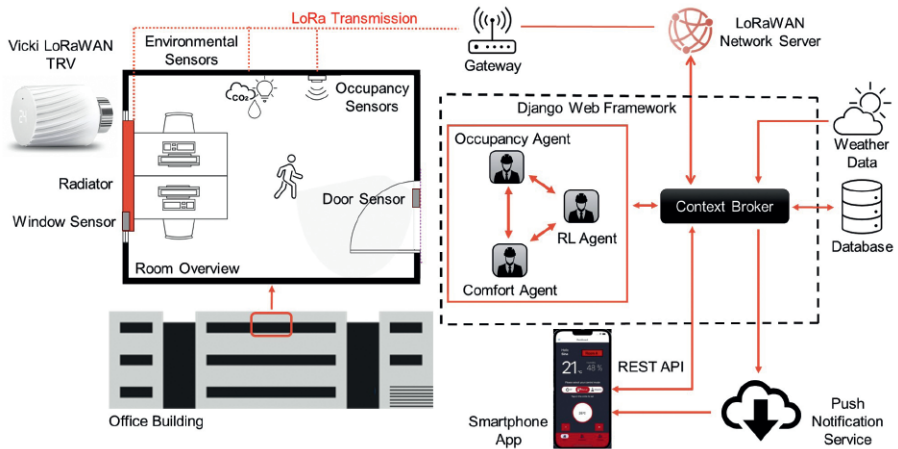
In vielen Bestandsgebäuden fehlt jedoch die notwendige Gebäudeautomation, um einfache Modernisierungen wie den Einsatz smarter Thermostate, vorausschauende Betriebsoptimierungen oder eine automatische Fehlererkennung zu ermöglichen. Gleichzeitig stellt die Komplexität moderner Systeme, Facility-Manager häufig vor große Herausforderungen. Neue Technologien wie das Internet der Dinge (IoT) und moderne KI-basierte Algorithmen bieten neue Lösungen. Sie können nicht nur eine kosteneffiziente Modernisierung smarter Heizsysteme unterstützen, sondern auch durch moderne Dateninfrastrukturen und Monitoring-Systeme das Gebäudemanagement nachhaltiger und effizienter gestalten.

Beispielprojekt auf dem Campus von RWTH Aachen: Smartes Heizen in einem Bürogebäude mit der nutzerzentrierten Raumtemperaturregelung

Ein Beispiel für die erfolgreiche Umsetzung eines smarten Heizsystems ist ein Bürogebäude auf dem Campus von RWTH Aachen. Das Gebäude wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes mit IoT-Sensoren, smarten Thermostaten und einer Cloud-basierten Dateninfrastruktur ausgestattet. Im Mittelpunkt stand die Schaffung eines flexiblen Systems, das sich automatisch an die wechselnde Nutzung des Gebäudes anpasst. Sensoren erfassen kontinuierlich Daten wie Raumtemperatur, Luftqualität und die Anwesenheit von Personen.

Diese Daten werden in der Cloud verarbeitet und durch Algorithmen wird die Raumheizung unter Berücksichtigung von Nutzerkomfort optimiert. Eine speziell entwickelte Smartphone-App ermöglicht es den Nutzenden, ihre individuellen

Heizpräferenzen einzustellen und in Echtzeit Informationen über die Raumklimadaten zu erhalten. Gleichzeitig erlaubt die Cloud-Infrastruktur dem Gebäudemanagement, den Betrieb optimal zu monitoren und zu skalieren. Dieses Beispiel zeigt, wie Digitalisierung und smarte Technologien zu einer nachhaltigen Zukunft beitragen können. Gerade in Deutschland, mit seinen vielen Bestandsgebäuden, birgt die Nachrüstung solcher Systeme ein erhebliches Potenzial zur smarten und gleichzeitig nachhaltigen Gebäudeheizung.



Grafik: Übersicht über die Dateninfrastruktur und Messtechnik im Beispielgebäude zur nutzerzentrierten Raumtemperaturregelung.



Michael Müller
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)
Maurizio Calandri
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)

Tobias Henzler
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)
Konstantinos Stergiaropoulos
Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energie-
speicherung (IGTE)

Building Monitoring, Smart Readiness Indicator, Life Cycle Assessment unter Anwendung der BIM-Methode

Wohn- und Nichtwohngebäude sind für rund 40 Prozent des Energieverbrauchs in Deutschland verantwortlich. Damit kommt dem Gebäudesektor eine Schlüsselrolle für Klimaschutz, Energiewende und Ressourceneffizienz zu. Der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes von der Planung bis zum Abriss birgt daher erhebliche Potenziale zur Energie- und Ressourceneinsparung.

Mit der Methode des Building Information Modeling (BIM) wird ein Ansatz verfolgt, der den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfasst. Der Nutzen dieses Ansatzes geht weit über die 3D-Darstellung des Gebäudes und der TGA-Infrastruktur hinaus. Bei Bauprojekten mit diesem Ansatz entsteht eine mehrdimensionale Gebäudedatenbank, die über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes vielfältig genutzt werden kann. Je mehr Nutzen und Dienstleistungen (Services) neben einer reibungslosen Bauphase, Schnittstellenprüfung etc. in den BIM-Ansatz integriert werden können, desto schneller amortisiert sich der zu Projektbeginn oft höhere Ressourceneinsatz für die Erstellung und Pflege des Gebäudemodells.

Im Verbundvorhaben BIMpact wird eine neue, prozessorientierte Arbeitsweise untersucht, die sich die Kombination und den Informationsaustausch von Sensorik und BIM zu Nutze macht, um den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes und damit dessen Energieeffizienz zu optimieren.

Durch die Kopplung des BIM-Modells mit dem Gebäudemonitoring wird eine intuitive und übersichtliche Darstellung der aktuellen Sensordaten erreicht, die sowohl bei der Inbetriebnahme der TGA als auch bei der späteren Übernahme des Gebäudes durch das Facility Management erhebliche Vereinfachungen und Vorteile mit sich bringen kann. In Kombination mit einer cloudbasierten Datenverarbeitung werden die Gebäudedaten nicht nur überwacht und visualisiert, sondern aktiv zur Regelung und Steuerung der gebäudetechnischen Komponenten genutzt. Darüber hinaus vereinfacht der cloudbasierte Zugriff auf die Gebäudedaten die automatisierte Erkennung von Zusammenhängen oder Fehlern. Als fehlerhaft erkannte

Sensoren oder Aktoren werden so identifiziert, können durch ihre Verortung im 3D-Modell einfach lokalisiert und die Ursache durch Fachpersonal vor Ort gezielt behoben werden. Im Projekt wurden solche Ansätze praktisch umgesetzt und getestet. Dazu wurde unter anderem eine Büroetage mit funkbasierter Technik ausgestattet und eine Regelung implementiert.

Die Umsetzung dieser Maßnahmen ermöglicht schließlich die Entwicklung und Integration von Diensten wie einer modellbasierten Ableitung des von der EU in der EPBD (2018) beschriebenen Intelligenzfähigkeitsindikators (SRI) in das BIM-Modell. Damit kann der SRI bereits im Planungsprozess Berücksichtigung finden und die Ermittlung des SRI im Gebäude automatisiert erfolgen.

Als weitere mögliche Dienstleistung wird die Integration von Ökobilanzdaten in BIM identifiziert. Anhand einer Lebenszyklusanalyse, die das CO₂-Äquivalent von funkbasierten Komponenten für verschiedene Anwendungsbereiche quantifiziert, werden exemplarisch die Umweltauswirkungen einer funkbasierten GA im Vergleich zu einer kabelbasierten GA untersucht. Dies wird methodisch so umgesetzt, dass das Vorgehen auf eine Anwendung im BIM-Kontext übertragen werden kann, um ableiten zu können, welche Daten das BIM-Modell zukünftig liefern müsste, um den Aufwand für die Ökobilanzierung von Gebäuden bzw. Gebäudeteilen zu reduzieren.



Amin Darbandi
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin
Gerrid Brockmann, Martin Kriegel
Hermann-Rietschel-Institut, TU Berlin

Data driven Energy Management: A Hybrid Machine Learning and Reinforcement Learning Framework for Energy Scheduling

The increasing integration of Renewable Energy Sources (RES) into modern energy systems is crucial for transitioning toward a fossil fuel-free future. However, it also introduces challenges such as system complexity, variability in energy output, and the necessity for accurate demand forecasting. District heat network operators, in particular, require precise heat demand predictions to efficiently schedule heat supply, balancing economic and environmental objectives. Machine Learning (ML) and Deep Reinforcement Learning (DRL) methods have emerged as promising approaches to address these challenges by improving forecasting accuracy and optimizing energy scheduling.

This study explores the role of the Input Feature Set (IFS) in enhancing heat demand forecasts using an Encoder-Decoder Long Short-Term Memory (ED-LSTM) model. By focusing on critical features such as past heat demand, outdoor temperature, and hour of the day, the research demonstrates that reducing the dimensionality of ML models can significantly improve forecasting accuracy.

Results indicate that a streamlined model configuration leads to 57% and 64 % reductions in MAE and CV-RMSE, respectively. While incorporating wind data further refines predictions, the inclusion of solar data unexpectedly diminishes accuracy by 5 percentage points. Moreover, the ED-LSTM model outperforms industry-standard approaches, including Support Vector Regression (SVR), SARIMAX, and basic LSTM architectures, with error reductions ranging from 4.8 % to 47.1 % across various metrics.

Beyond forecasting, this work also introduces a model-free DRL framework for energy hub scheduling, leveraging state-of-the-art algorithms such as Soft Actor-Critic (SAC) and Proximal Policy Optimization (PPO). Unlike traditional discrete-action energy management systems, this method employs a multi-dimensional, continuous action space to enhance decision-making accuracy. Additionally, the model integrates operational costs and emissions impact within its objective

function, offering a holistic perspective on energy scheduling. The results provide a Pareto-optimal space encompassing various trade-offs between economic feasibility and environmental sustainability, ensuring a more resilient and adaptable energy management framework.

By combining ML-driven forecasting with DRL-based scheduling, this research contributes to the development of intelligent, efficient, and sustainable district heating and energy systems. The findings underscore the importance of feature selection in ML models, the benefits of reducing model complexity, and the potential of DRL techniques to optimize energy operations. Together, these advancements pave the way for improved energy resilience, cost-effectiveness, and environmental responsibility in the evolving energy landscape.

Bernd Petraus
Founder & CTO
DBI AG / berta & rudi

Die Zukunft der Energiekonzeption: schnell, präzise & flexibel

Mit „berta & rudi“ haben wir uns ein klares Ziel gesetzt: komplexe Energiesystemplanung so zu gestalten, wie es sich viele Ingenieure wünschen: schnell, präzise und vor allem nutzerfreundlich. Die Software besteht aus zwei zusammenarbeitenden Komponenten, die wie ein eingespieltes Team agieren: „berta“ ist Spezialistin für präzise Bedarfsprognosen und nutzt modernste Methoden der KI. Sie erstellt auf Knopfdruck eine stündlich aufgeschlüsselte Energiebedarfsprognose, die fehlende Daten schnell und realitätsnah ergänzt. Ob Wetterdaten, Verbrauchswerte oder Gebäudeparameter – was früher mühselige Recherche bedeutete, löst „berta“ in wenigen Sekunden dank intelligenter Annahmen und zuverlässiger Erfahrungswerte aus aktuell über 1 Mio. Gebäuden.

Basierend auf den individuellen Bedarfen berechnet „rudi“ anschließend verschiedene Energiekonzepte, die unterschiedliche Schwerpunkte und Zielrichtungen verfolgen können. Ob Wirtschaftlichkeit, CO₂-Reduktion oder Unabhängigkeit vom Netz – „rudi“ liefert in kürzester Zeit transparente Varianten, die der Anwender spielerisch verfeinern kann. Eigene Varianten können hinzugefügt, verglichen und zu Szenarien zusammengefasst werden, um zu prüfen, wie robust einzelne Lösungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen sind.

Bei der Entwicklung von „berta & rudi“ hatten wir die Verbindung aus Wissenschaft und Praxis im Blick. Wir wollten nicht einfach eine weitere abstrakte Planungssoftware schaffen, sondern ein Werkzeug, das aus der realen Erfahrung und dem Alltag von Planern entstanden ist. Das zeigt sich in unserer Fokussierung auf Variantenvielfalt, Vergleichbarkeit, volle Transparenz und Anpassbarkeit. Denn echte Praxisnähe bedeutet für uns auch, dass jede Zahl, jede Annahme und jedes Ergebnis nachvollziehbar und individuell anpassbar bleibt.

Dank unseres innovativen Auto Machine Learning Ansatzes verbessert sich „berta“ kontinuierlich – so bleibt unsere Bedarfsschätzung stets auf dem neuesten Stand und bietet Präzision, die bisher nur mit höherem Aufwand möglich war. „rudi“ wiederum erlaubt eine beherrschbare Komplexität: Er liefert sowohl sehr einfache

erste Konzeptideen als auch komplexe Lösungen, in denen etwa Systemkoppelungen, unterschiedliche Systemtemperaturen oder vorhandene Abwärmepotenziale berücksichtigt werden.

Ein weiterer Schwerpunkt ist die dynamische Betrachtung aktueller Herausforderungen. Volatile Energiepreise oder dynamische CO₂-Bewertungen sind und werden unumgänglich. „berta & rudi“ berücksichtigen diese Faktoren automatisch und sorgen dafür, dass Energiekonzepte nicht nur kurzfristig gut aussehen, sondern auch langfristig tragfähig sind.

Und wo geht die Reise hin? Aktuell arbeiten wir an einer Vielzahl von Apps, die in weiteren Planungssituationen das Leben unserer Anwender erleichtern, gebündelt in einem gemeinsamen kartenbasierten Modellierungs- und Kollaborationsplattform zur Vorplanung. Der nächste Schritt ist die vollautomatisierte Berechnung von Nahwärmenetzen. Ziel ist, diese komplexen Systeme genauso schnell und flexibel planen zu können wie einzelne Energiezentralen.

„berta & rudi“ stehen für eine neue Arbeitsweise in der Vorplanung. Denn sie verändern, wie wir künftig zusammenarbeiten: Durch die enorme Beschleunigung der Planungsprozesse bei gleichzeitig steigender Präzision können Planer, Bauherren und alle anderen Beteiligten endlich wirklich kollaborativ in Echtzeit zusammenarbeiten. Statt isolierter und langwieriger Planungszyklen voller Informationsbrüche entsteht eine agile, flexible und effiziente Zusammenarbeit, bei der alle Beteiligten gemeinsam an einem Tisch sitzen – sei es virtuell oder real – und direkt auf Änderungen reagieren können.



Liegenschaft: Hier wird durch Eingaben wie Standort und Projektbezeichnung sowie weitere benutzerdefinierte Attribute die Grundlage für die präzise Energieprognose geschaffen. Durch die Eingabe des Standortes fließen lokale Einflüsse wie Wetter- und Klimadaten direkt in die Berechnungen ein.



Jan Richarz
Senior Consultant
MorgenGrün – Innovationen von ZWP
Nino Kiechle
MorgenGrün – Innovationen von ZWP

Abwärmenutzung industrieller Prozesse – Innovatives Energiedesign des Versorgungssystems einer Produktionsstätte durch mathematische Optimierung

Die deutsche Industrie trägt 20 %¹⁾ zur nationalen Wertschöpfung bei und verursacht gleichzeitig 23 %²⁾ der CO₂-Emissionen. Diese Emissionen entstehen vor allem in Folge hohen Energieverbrauchs für die Bereitstellung von Prozesswärme und Antrieb von Pumpen, Maschinen und Motoren. Bei dieser Bereitstellung entsteht Abwärme. Das Potential dieser Abwärme beträgt in Deutschland konservativ berechnet 64 TWh³⁾ und damit mehr als 10 % des Wärmebedarfs aller dt. Wohngebäude. Zurzeit wird nur ein sehr geringer Teil dieser Abwärme verwendet, weshalb ein hohes Potential verbleibt durch intensivere Abwärmenutzung Energie und Emissionen einzusparen. Zur Abwärmenutzung innerhalb und außerhalb einer Produktion kann verschiedenste Anlagentechnik verwendet werden, welche im Rahmen eines Energiedesigns ausgewählt und dimensioniert werden muss.

Im Energiedesign werden Versorgungsanlagen untersucht, die eine Produktionsstätte mit Wärme, Kälte und Strom versorgen. Der Fokus liegt meist auf der Ermittlung des Kosten-optimalen Versorgungssystems, das minimal mögliche Emissionen verursacht. Neben erneuerbaren Energien spielt Abwärmenutzung hierbei eine zentrale Rolle. Auf Grund der Komplexität industrieller Prozesse sind meist mehrere unterschiedliche Wärme-, Kälte- und Stromerzeuger sowie thermische und elektrische Speicher notwendig, die physikalischen und ökonomischen Wechselwirkungen unterliegen. Hierdurch entsteht eine sehr große Variantenanzahl möglicher Versorgungskonzepte und Dimensionierungen, die mit bisher verwendeten heuristischen Variantenvergleichen nur ansatzweise untersuchbar sind. Mathematische Optimierungsmethoden bieten den Vorteil alle technisch möglichen Varianten zu untersuchen und durch Modellierung eines rationalen Entscheiders die Kosten-optimale Lösung zu finden.

Bei MorgenGrün wurde ein Python-basiertes Optimierungsmodell mittels Mixed-integer linear programming (MILP) entwickelt, mit dem das Kosten-optimale Versorgungssystem zur Erreichung einer CO₂-armen Produktionsstätte dimensio-

niert werden kann. Die damit untersuchte Produktionsstätte hat eine Fläche von 50.000 m², einen Gesamtenergiebedarf von 26 GWh, ein Abwärmepotential von 11 GWh und wird derzeit mit Erdgas und Strom versorgt. Das Abwärmepotential liegt auf drei Temperaturniveaus vor und wurde je Niveau in stündlicher Auflösung modelliert. Auch Raum- und Prozesswärmebedarfe für das Produktions- und das Verwaltungsgebäude sowie den Produktionsprozess wurden stündlich modelliert.

Die stündlichen Profile der Wärmequellen und -senken dienen dem Optimierungsmodell als Input. Das ermittelte Versorgungssystem nutzt durch insgesamt drei Abwärme-Wärmepumpen auf verschiedenen Temperaturniveaus einen Großteil der Abwärme und hebt sie auf ein gemeinsames Temperaturniveau. Ein zentraler thermischer Speicher puffert die erzeugte Wärme und versorgt die Gebäude mit Raumwärme. Der Speicher versorgt zusätzlich eine Booster-Wärmepumpe, die Hochtemperatur-Prozesswärme erzeugt. Elektrokessel und Heizstab dienen der Spitzenlastabdeckung (Abbildung). Das dimensionierte System amortisiert sich deutlich unterhalb der Anlagennutzungsdauern, kann die Verwendung von Erdgas vollständig substituieren und den Großteil der Emissionen der Produktionsstätte einsparen.

Ein Vergleich der Dimensionierungsergebnisse des Optimierungsmodells mit einem heuristischen Variantenvergleich zeigt, dass das Optimierungsmodell die Leistungen der Wärmepumpen und die Kapazität des Speichers bis zu 70 % größer dimensioniert, während die Leistung des Heizstabs 33 % geringer ausfällt.

- ¹⁾ Destatis (2025), Statistisches Bundesamt, Bruttowertschöpfung verarbeitendes Gewerbe
- ²⁾ UBA (2024), Umweltbundesamt, Treibhausgasemissionen nach Sektoren
- ³⁾ Brückner (2016), S. Brückner, Industrielle Abwärme in Deutschland, Dissertation TU München

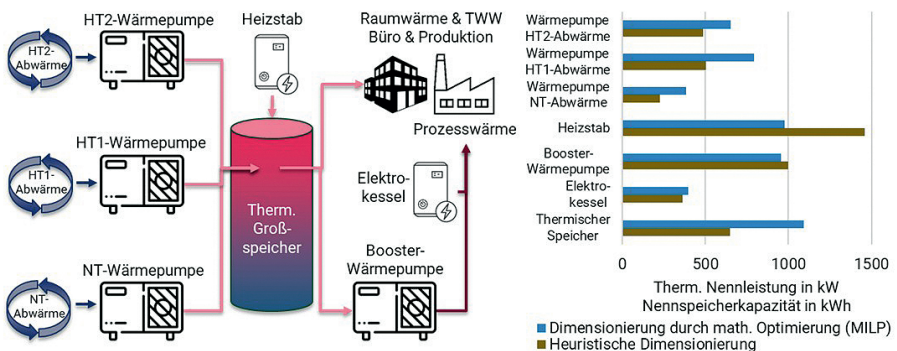


Abbildung 1: Kosten-optimales Energiesystem mit Abwärmenutzung für die Produktionsstätte (links); Dimensionierungsergebnisse mit heuristischem Variantenvergleich und mathematischer Optimierung (rechts).



Lisa Krüger

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

Joshua Kwapisz, Wiebke Wiessner, Philipp Ostmann,
Dirk Müller, Christian Linnartz, Matthias Wessling
RWTH Aachen University, E.ON Energieforschungszentrum, Lehrstuhl für
Gebäude- und Raumklimatechnik

Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden: Ein neues Konzept für Enthalpieübertrager

Das Raumklima beeinflusst Wohlbefinden und Gesundheit maßgeblich. Neben der Temperatur ist vor allem die relative Luftfeuchtigkeit von zentraler Bedeutung. Zur Sicherstellung von Wohlbefinden und hoher Leistungsfähigkeit wird ein Bereich zwischen 40 – 60 % relativer Luftfeuchtigkeit angestrebt. Allerdings erfordert die Regelung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit in Gebäuden einen erheblichen Energieaufwand.

Raumlufttechnische Anlagen mit kombinierter Wärme- und Feuchterückgewinnung in Form von Enthalpieübertragern bieten daher ein großes Einsparpotenzial. Herkömmliche Übertrager nutzen Flachmembranen für den Wärme- und Stofftransport. Hohlfaser- und tubuläre Membranen stellen eine vielversprechende Alternative dar, da sie einfach herzustellen sind und ohne Abstandshalter auskommen. Zudem erhöht eine hohe Packungsdichte der Fasern die aktive Membranoberfläche pro Volumeneinheit, was die Effizienz von Enthalpieübertragern steigern oder deren Baugröße reduzieren kann.

Im Forschungsprojekt EnTubeChanger arbeiten die Lehrstühle für Gebäude- und Raumklimatechnik und der Chemischen Verfahrenstechnik der RWTH Aachen University an der Entwicklung, Charakterisierung und Simulation eines solchen neuartigen Übertragers. Zu Beginn des Projekts wurden tubuläre Membranen hergestellt und mikroporöse Hohlfasern aus Polyethersulfon beschafft, mit Polydimethylsiloxan beschichtet und hinsichtlich ihrer Permeabilität und Selektivität charakterisiert. Um den Druckverlust zu minimieren, wird auf Membranen mit großen Durchmessern gesetzt. Ihre Integration in den Übertrager wurde in stationären 3D-Strömungssimulationen untersucht. Dabei wurden sowohl die Bauraum-Geometrie des Übertragers als auch die Realisierung der Strömungsführung im Inneren bewertet. Verschiedene Geometrien wurden hinsichtlich des Druckverlusts und des Übertragungsverhaltens verglichen. Lokale Unterschiede im Übertragungsverhalten, beispielsweise infolge von Strömungsinhomogenitäten, wurden aufgezeigt und gezielt optimiert. In Parameterstudien wurden optimale Membrananordnungen und geometrische Randbedingungen ermittelt.

Das Ergebnis der Simulationsstudien ist die Geometrie eines Quasi-Gegenstrom-übertragers (Abbildung 1). Die Studie zeigt, dass der Druckverlust des Moduls maßgeblich durch die Durchströmung der Fasern bestimmt wird. Um diesen zu minimieren, wird die Abluft entlang der Faserachse zugeführt, während die Zuluft das Faserpaket von außen durch leicht angestellte Zuluftkanäle umströmt. Derzeit wird ein funktionsfähiger Prototyp mit Hohlfasern aufgebaut und seine Leistungsfähigkeit auf einem Prüfstand untersucht. Parallel dazu wird ein dynamisches System-Modell entwickelt, das eine Ganzjahressimulation des Systems ermöglicht. Dabei wird das Energieeinsparpotenzial des Übertragers unter verschiedenen Randbedingungen untersucht. Das Projekt zielt darauf ab, die Effizienz von Enthalpieübertragern zu verbessern und dadurch Lüftungssysteme in Gebäuden nachhaltiger zu gestalten.

Das Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (IGF Nr. 22832 N). Wir bedanken uns bei der Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e. V. Die Berechnungen wurden mit Rechenressourcen durchgeführt, die von der RWTH Aachen im Rahmen des Projekts rwth1442 bereitgestellt wurden.

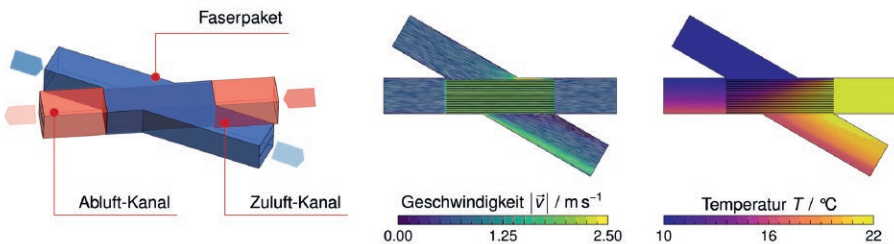


Abbildung 1: Enthalpieübertrager-Geometrie und Ergebnisse der Strömungssimulation



Mathias Johr
Technischer Referent
ACO Passavant GmbH, Dermbach

Ganzheitliche Lösungen für das Regenwassermanagement auf Dächern und Dachterrassen

Regenwassermanagement zwischen Starkregen und Hitzestress

Regenwassermanagement ist eine zentrale Herausforderung in der Stadt- und Gebäudeplanung. Durch zunehmende klimatische Veränderungen und ein wachsendes ökologisches Bewusstsein haben sich die Anforderungen an die Entwässerung gewandelt. Der Umgang mit Regenwasser umfasst heute weit mehr als die reine Ableitung ins Kanalsystem, sondern auch die Nutzung, Reinigung und die Versickerung zur Grundwasserneubildung und den zuverlässigen Schutz der Gebäude.

Aus technischer Sicht gibt es verschiedene Methoden und Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung. Regenwasser kann auf verschiedene Weise bewirtschaftet werden – mit Methoden, die den natürlichen Wasserkreislauf nachahmen. Durch die Kombination einzelner Maßnahmen entsteht ein Collect-Clean-Hold-Reuse-Konzept: Das Wasser wird gesammelt, gereinigt, zurückgehalten und entweder genutzt, verdunstet oder versickert. Da dieses Konzept unterschiedliche Leistungsgrenzen und technische Anforderungen hat, müssen die Einzelmaßnahmen individuell an das jeweilige Projekt angepasst werden.

Regenereignisse treten zunehmend in den Wintermonaten auf, während die Sommer von längeren Trockenphasen geprägt sind. Dies erfordert gezielte planerische und bauliche Maßnahmen, um die Folgen von Starkregen abzumildern und Trockenzeiten bei Gründächern auszugleichen. Zudem setzen viele Kommunen auf Einleitbeschränkungen, die eine kontrollierte Rückhaltung des Regenwassers auf Dächern oder Grundstücken notwendig machen.

Um Einleitbeschränkungen einzuhalten, kommen Retentionsabläufe zum Einsatz. Sie verzögern die Regenwasserableitung und ermöglichen eine kontrollierte Rückhaltung auf der Dachfläche. Über Kapillarsysteme gelangt das Wasser in den Gründachaufbau, wodurch die Pflanzen vor Trockenstress geschützt bleiben und die Verdunstung das Stadtklima positiv beeinflusst.

Im weiteren Verlauf werden zur Reinigung des Regenwassers von Dächern oder Freiflächen in der Regel Sedimentationsanlagen zur Reinigung verwendet, bevor das Wasser in Versickerungs- und Rückhalteanlagen zwischengespeichert wird oder direkt vor Ort versickern kann. Bei einer weiteren Nutzung kann das Wasser mittels Sensoren, die den Wasserbedarf ermitteln, Pumpen, Ventilen und Rohrleitungen zur Bewässerung des städtischen Grüns genutzt werden.

Möglichkeiten der Regenwasserbewirtschaftung, wie Retentionsabläufe, Sedimentationsabscheider oder Rigolen-Systeme für private Grundstücke und auf kommunaler Ebene existieren bereits, sie müssen nur umgesetzt werden – für die Wiederherstellung des natürlichen Wasserkreislaufes.



Abbildung 1: Retentionsablauf im Gründachaufbau



Abbildung 2: Beispiel einer dezentralen Regenwasserbewirtschaftung im städtischen Bereich



Roland Priller
Leiter Normung / Zulassung
KESSEL SE + Co. KG, Lenting

Schutz gegen Rückstau: Smarte Hybridtechnik senkt Energiekosten und erhöht Betriebssicherheit

Der Schutz von Gebäuden und Grundstücken gegen Rückstau aus dem Kanal stellt eine wesentliche Anforderung an ein Entwässerungssystem dar. Im Rahmen der Einleitgenehmigung verpflichten Kanalnetzbetreiber zur Beachtung der allgemein anerkannten Regeln. Dies vermeidet Überflutung auf dem Grundstück und damit Hygienegefahren und Schäden an Gebäuden oder Sachwerten.

Die etablierten technischen Lösungen werden in der Systemnorm EN 12056-4 und DIN 1986-100, sowie den Produktnormen EN 12050 (Hebeanlage) und EN 13564-1 (Rückstauverschluss) genau beschrieben.

Doch jede der konkurrierenden Systemlösungen hat erhebliche Nachteile:

- Rückstauverschlüsse entwässern nicht bei Rückstau und sind daher nur begrenzt verwendbar
- Hebeanlagen mit Rückstauschleife verbrauchen erhebliche Energie und sind sehr wartungsintensiv

Die intelligente Kombination beider Wirkprinzipien verbunden mit einer smarten Steuerung hingegen vermeidet beide Nachteile:

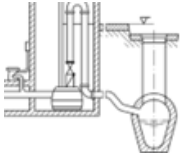
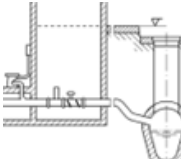
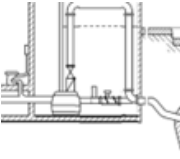
- Anders als bei der Hebeanlage erfolgt die Entwässerung im Normalbetrieb ohne Pumpbetrieb, was Ressourcen schont
- Anders als beim Rückstauverschluss kann bei Rückstau entwässert werden, was den universellen Einsatz ermöglicht
- Und zusätzlich kann sogar bei Netzausfall oder Störungen an der Hebeanlage in der rückstaufreien Zeit entwässert werden, was die Betriebssicherheit erhöht

Einsetzbar ist dieser neue Anlagentyp bei ausreichendem Gefälle zum Kanal. Dies ist oft gegeben und erlaubt somit eine nachhaltige Rückstausicherung.

Entscheidend für die sichere Funktion sind folgende Eigenschaften einer Hybridhebeanlage:

- Selbstdiagnose, die Störungen oder Fehlfunktion automatisch anzeigt
- automatischer Notverschluss, der bei Spannungsabfall selbsttätig schließt und
- Netzunabhängige Warneinrichtung, der auch bei Netzausfall zuverlässig warnt und
- Regelmäßige Wartung, damit das Sicherheitssystem immer sicher funktioniert

Aufgrund fehlender Normen wird dieser Anlagentyp derzeit noch über eine Kombination aus Bauartgenehmigung und allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung bauaufsichtlich geregelt. Doch aufgrund der unschlagbaren Vorteile des neuen Systems und bei zunehmender Marktdurchdringung ist davon auszugehen, dass dieser Stand der Technik in den nächsten Jahren auch normativ geregelt wird.

Anlagentyp	Hebeanlage mit Rückstauschleife	Rückstauverschluss	Hybridhebeanlage
			
Besondere Eigenschaft	Jeder Tropfen wird gepumpt	Bei Rückstau wird nicht entwässert	Entwässert ohne Fremdenergie Entwässert auch bei Rückstau Entwässert auch bei Pumpenausfall in der rückstaufreien Zeit
Auswirkung	Hoher Energieverbrauch und hohe Abnutzung	Eingeschränkte Nutzung	Schont Ressourcen Universell einsetzbar Erhöht die Betriebssicherheit



Martin Altenburger
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Institut für Energietechnik, TU Dresden
Joachim Seifert, Lars Schinke, Marcel Röschke
Institut für Energietechnik, TU Dresden

N5GEH: TWE-Flex – Optimierung der Trinkwassererwärmung mittels virtueller Sensoren auf Basis eines Temperaturhaltebandes

Zur Bereitstellung von Trinkwarmwasser in Mehrfamilienhäusern wird meist eine zentrale Trinkwassererwärmung (TWE) genutzt, die über eine Verteilung die einzelnen Zapfstellen versorgt. Dieses Konzept hat jedoch den Nachteil, dass es beim Abkühlen des Wassers in der Trinkwasserinstallation potenziell zur Vermehrung von Legionellen (*Legionella pneumophila*) kommen kann, woraus negative hygienische Auswirkungen und mögliche gesundheitliche Probleme resultieren können. Um dies zu vermeiden, wird ein Abkühlen über eine Zirkulation oder ein elektrisches Temperaturhalteband verhindert. Letztere Technologie nutzt eine elektrische Widerstandsheizung, die aufgrund ihrer Temperaturabhängigkeit hinsichtlich der elektrischen Leistung selbstregulierend ist. In aktuell eingesetzten Systemen ist nur ein zeitlich definierter Absenkbetrieb möglich, der aber unabhängig vom realen Zapfverhalten bleibt. Aufgrund unbekannter Zapfprofile in Wohngebäuden besteht mit der automatisierten Detektion dieser Profile ein energetisches Optimierungspotenzial.

Das Forschungsprojekt N5GEH: TWE-Flex adressiert die Nutzung von Messdaten der Steuerbox des Temperaturhaltebandes zur Zustandsdetektion über virtuelle Sensoren. Diese Analyse umfasst sowohl die Temperatur des Trinkwarmwassers aber auch auftretende Entnahmen. Darauf aufbauen werden Verfahren zur Zapfprofilerkennung adressiert, deren Ergebnisse für eine angepasste Betriebsweise des Temperaturhaltebandes und der Trinkwarmwassererwärmung nutzbar sind. Weiterhin ist eine Nutzung zur Bewertung der hygienischen Qualität des Trinkwarmwassers in Bezug auf die Vermehrung von Legionellen analysiert worden.

Im Rahmen der Veröffentlichung wird das Konzept dieser Datendetektion im Überblick inkl. einer Vorstellung des Informationsflusses vorgestellt. Darauf aufbauend werden Erfahrungen und Erkenntnisse bei der Verwendung des Verfahrens beschrieben und die Ergebnisse anhand von Messergebnissen aus einem HIL¹⁾-Versuchsstand und einem Feldtest bewertet, sodass auch Probleme im praktischen Einsatz näher beleuchtet werden. Zum besseren Verständnis

der Bedeutung dieser virtuellen Sensoren, werden Möglichkeiten zur Nutzung der Ergebnisse in der Betriebsführung der TWE diskutiert und anhand des im Forschungsprojekt N5GEH: TWE-Flex beschriebenen Use Cases näher untersucht. Hier liegt der Fokus auf der Analyse auftretender Zapfereignisse in Form einer Zapfwahrscheinlichkeit und darauf aufbauender Abschätzung des Bedarfs an Trinkwarmwasser als Prognose in der TWE sowie der Sicherstellung hygienischer Temperatur-Anforderungen durch ein ausführlicheres Monitoring der Installation.

¹⁾ HIL-Hardware in the Loop



Ingo Sanft
Stellvertretender Leiter Seminarwesen
Gebr. Kemper GmbH + Co. KG

Einflussfaktoren auf die Kaltwassertemperatur und wie halte ich kaltes Trinkwasser kalt?

Neben der Stagnationsvermeidung ist die Temperaturhaltung im Kalt- und Warmwasser essenziell wichtig zur Aufrechterhaltung der Trinkwasserhygiene. Mikroorganismen finden in lauwarmen Temperaturbereich zwischen 25 °C und 50 °C ideale Vermehrungsbedingungen. Die Trinkwassertemperaturen in Großanlagen zur Trinkwassererwärmung regelkonform zwischen 55 °C und 60 °C einzuhalten erfordert eine differenzierte Berechnung und einen hydraulischen Abgleich. Diese Anforderung wird heute mittels verfügbarer Planungssoftware weitestgehend erfüllt. Dagegen bereitet die Temperatur des kalten Trinkwassers zunehmend mehr Sorgen, nicht zuletzt, weil die oftmals im gleichen Fließweg befindlichen PWH und PWH-C Leitungen ihre Temperaturen auch einhalten. Äußere und innere Wärmelasten können die Temperaturhaltung im Kaltwasser zusätzlich erschweren. Eine mögliche Folge ist eine Verkeimung der Trinkwasserinstallation mit Krankheitserregern. Mit bestimmungsgemäßem Betrieb der PWC-Leitung allein ist die Einhaltung der 25 °C nicht umzusetzen, wenn diese Wärmelasten durch parallelgeführte warmgehende Leitungen ausgesetzt sind. Temperaturgeführte Spülungen werden auf diese Weise zur überproportionalen Wasserverschwendung. Dieses ist weder nachhaltig, noch werden die Ziele der Nationalen Trinkwasserstrategie dadurch eingehalten.

Zur Reduzierung eines unnötigen Wasserverbrauches ist die thermische Entkopplung von kalt und warm im gesamten Fließweg als passive Maßnahme unabdingbar. Es kommen aber auch klimatische Einflüsse dazu, die nicht nur die räumlichen Umgebungstemperaturen ansteigen lassen, sondern auch die Eintrittstemperatur an der Übergabestelle. Dieses dokumentieren die Ergebnisse von messtechnischen Untersuchungen der Wassertemperaturen über mehrere Jahreszeiträume. (Bild 1) Da passive Maßnahmen nicht in allen Nutzungsfällen zum Erfolg führen, werden unter bestimmten Randbedingungen auch aktive Maßnahmen wie Strangspülungen notwendig sein. Ein nachhaltiger und ökonomisch vertretbarer Schutz vor unzulässig hohen Kaltwassertemperaturen ist in vielen Gebäuden nur durch eine aktive Kaltwasserzirkulation mit Kühlung möglich.

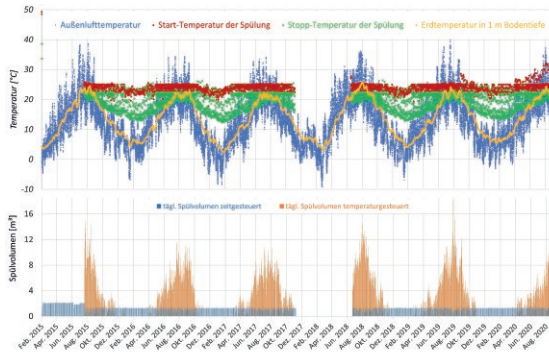


Bild 1: Auswirkung der Außenluft- und Bodentemperaturen auf die Trinkwasserinstallation

(Quelle: Gebr. Kemper GmbH + Co. KG)

Durch gezielte Stagnationsvermeidung durch nachgeschaltete, natürliche Verbräuche, sorgt man im laufenden Betrieb eines Gebäudes selbst in Stagnationsbereichen für einen Wasseraustausch in z. B. temporär genutzten Nasszellen. Bei einem gleichen Nutzerverhalten kann so in einer Nasszelle pro Tag ein bis zu 100mal häufigerer Wasseraustausch sichergestellt werden und schont die Ressource Wasser zusätzlich.

Die hydraulischen Zusammenhänge gilt es hierbei genau zu beachten, um eine Temperaturhaltung in allen Bereichen der Kaltwasserinstallation zu realisieren. Viele Referenzen zeigen dabei eine kurzzeitige Amortisation der eingesetzten Technik. Darüber hinaus können technische Lösungen zur Wiederverwendung von Spülwassermengen als ECO-Wasser genutzt werden, um eine Verschwendung zu vermeiden. In einer Kaltwasserzirkulation wird das mikrobiologische Wachstum reduziert und Spülmengen werden nachhaltig auf ein Minimum zurückgeführt.



Bild 2: Beispiel einer Installation mit Ringleitungen und Kaltwasserzirkulation

(Quelle: Gebr. Kemper GmbH + Co. KG)



Carsten Bäcker

Professor

FH Münster, Technologie-Campus Steinfurt, Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt

Stefan Cloppenburg

FH Münster, Technologie-Campus Steinfurt, Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt

Einfluss der Betriebsführung auf die Trinkwasserqualität – Die Abgrenzung zwischen Planer- und Betreiberverantwortung

Die Faktoren Wasseraustausch, Durchströmung, Nährstoffangebot und Temperatur bestimmen maßgeblich die Trinkwasserqualität. Verantwortlich für die Erhaltung einer gesundheitlich unbedenklichen Qualität des abgegebenen Trinkwassers ist nach Trinkwasserverordnung der Eigentümer der Installation bzw. der Betreiber. Weicht der spätere Anlagenbetrieb von den abgestimmten Planungsgrundlagen ab, können eine oder mehrere Faktoren nachteilig beeinflusst werden. Die Folge sind hygienisch auffällige Trinkwasserinstallationen.

Der Fachplaner hat den Betreiber im Rahmen der Grundlagenermittlung über die einzuhaltenden Faktoren aufzuklären. Zu nennen sind hier insbesondere die Punkte „Stagnationsvermeidung“ und „Temperaturhaltung“. Es sind ein Raumbuch und ein Hygieneplan zu erstellen. In diesem sind u.a. die Nutzungszeiten/ Frequenzierung der Entnahmestellen sowie die einzuhaltenden Temperaturen verbindlich zu vereinbaren. Optimalerweise werden die Anforderungen und Nutzungsmerkmale direkt in der verwendeten Berechnungssoftware zur Rohrnetzberechnung nach DIN 1988-300 dokumentiert.

In Abhängigkeit vom konstruktiven Aufbau des Rohrnetzes und der einzuhaltenden Temperaturen muss vom Fachplaner das für den Betreiber noch verbleibende Restrisiko ermittelt werden. Der Betreiber ist dazu verpflichtet, längere Stagnationsphasen und hygienekritische Kaltwassertemperaturen zu vermeiden und hat hierfür das entsprechende Restrisiko zu berücksichtigen.

Bereits mit dem laufenden Betrieb kann nur durch den geänderten konstruktiven Aufbau des Rohrnetzes eine erhebliche Intensivierung des Wasseraustauschs und eine Reduzierung der Kaltwassertemperaturen erreicht werden. Hierdurch werden die trinkwasserhygienischen Verhältnisse deutlich verbessert, ohne dass Wasserverluste durch Spülmaßnahmen entstehen. Bild 1 zeigt exemplarisch den konstruktiven Einfluss der Stockwerksinstallation auf den natürlichen Wasseraustausch. Je mehr Verbraucher an dem Wasserwechsel einer Teilstrecke beteiligt sind, desto

geringer die mittleren Kaltwassertemperaturen und desto geringer das Restrisiko für den Betreiber. Es ist zu beachten, dass keine dauerhafte Temperaturhaltung durch Spülmaßnahmen an Entnahmearmaturen möglich ist. Dieses erfordert ganzjährig niedrige Eintrittstemperaturen in das Gebäude ($< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) und bedingt hohe Wasserverluste. Letzteres ist entsprechend heutiger Nachhaltigkeitsansprüche, dem Minimierungsgebot der DIN EN 806-2 sowie der nationalen Wasserstrategie der Bundesregierung nicht mehr zu vertreten!

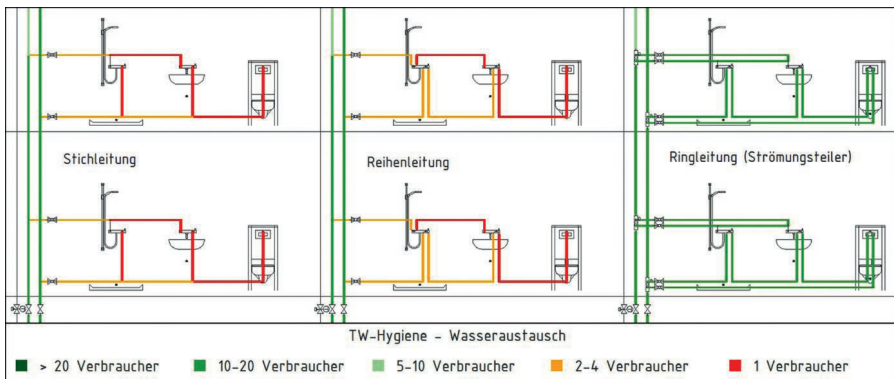


Bild 1: Auszug aus einer Rohrnetzanalyse zur Bewertung des Wasseraustausches für drei Installationsvarianten

Das Restrisiko für den Betreiber kann durch den konstruktiven Aufbau des Rohrnetzes, der Umsetzung von passiven und aktiven Maßnahmen und der Festlegung einzuhaltender Temperaturen (z. B. PWC $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) maßgeblich reduziert werden! Aktuelle Berechnungssoftwares nach DIN 1988-300 können das Restrisiko für eine konzeptionierte Trinkwasserinstallation anhand der oben genannten vier Faktoren bewerten und quantifizieren. Der Fachplaner kann dieses entsprechend im Hygieneplan berücksichtigen, so dass hier eine korrekte Abgrenzung zwischen Planer- und Betreiberverantwortung erfolgen kann.



FGK



BTGA



Allgemeine Lufttechnik

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



Kontakt:

Fachverband Gebäude-Klima e. V.
Hoferstraße 5 · 71636 Ludwigsburg
Tel: 07141/25 881 0 · E-Mail: info@fgk.de
www.fgk.de · www.tga-kongress.de