

# HLH

Lüftung | Klima  
Heizung | Sanitär  
Gebäudetechnik

Organ des VDI für Technische Gebäudeausrüstung

ISH digital

**Neuheiten  
2021**



## HEIZTECHNIK

Die elektrische Sole/  
Wasser-Wärmepumpe mit  
Erdwärmekollektoren

## TITELTHEMA

Luftentfeuchtung durch  
Kondensation – Lufttrocknung  
durch Sorption

## GEBÄUDEAUTOMATION

I 4.0: Autonom  
handelnde Raum- und  
Gebäudeautomation



Christoph Brauneis  
SHK Profi / tab  
Chefredaktion  
Bauverlag



Jörg Gamperling  
HeizungsJournal  
Chefredaktion  
Heizungs-Journal Verlag



Silke Schilling  
Moderne Gebäudetechnik  
Chefredaktion  
Huss-Medien



Nikolaus Klein  
RAS / SHK-TV  
Chefredakteur  
Krammer Verlag



Jochen Vorländer  
TGA Fachplaner  
Chefredaktion  
Alfons W. Gentner Verlag



Marcus Lauster  
SHK Profi / tab  
stellv. Chefredakteur  
Bauverlag



Marc Daniel Schmelzer  
HLH  
Chefredaktion  
VDI Fachmedien



Eckhard Martin  
SanitärJournal  
Chefredaktion  
Heizungs-Journal Verlag

Die SHK-Branche steht für **GELEBTE INTEGRATION.**

**DAS ZEIGEN WIR.**

**RASSISMUS und AUSGRENZUNG erhalten auf unseren Seiten KEINEN RAUM.**

**Dafür stehen die leitenden Redakteur\*innen führender SHK-/TGA-Fachmedien ein<sup>1</sup>.**



Elmar Held  
SBZ-Monteur  
Chefredaktion  
Alfons W. Gentner Verlag



Maximilian Döller  
Si  
Chefredaktion  
Holzmann Medien



Markus Sironi  
IKZ-Medien  
Chefredaktion  
Strobel Verlag



Dennis Jäger  
SBZ  
Chefredaktion  
Alfons W. Gentner Verlag

<sup>1</sup>) Hintergrund: Auf der Titelseite einer SHK-Fachzeitschrift wurde Ende 2020 ein Monteur mit dunkler Hautfarbe abgebildet. In der Folge musste sich die Redaktion mit üblen Beschimpfungen und rassistischen Äußerungen durch einzelne Leser auseinandersetzen. Mit dieser medien- und verlagsübergreifenden Aktion verdeutlichen wir: Es gibt keinen Platz für Rassismus und Ausgrenzung in der SHK-Branche.

# Standards zukunfts-fähig machen

**B**uilding Information Modeling (BIM) bezeichnet die digitale Darstellung eines Gebäudes und seiner Funktionen auf der Basis fortlaufend aktualisierter Daten. Alle relevanten Gebäudeinformationen werden digital erfasst, kombiniert und vernetzt. Die Visualisierung des virtuellen Gebäudes ist dabei nur ein Aspekt. Wertschöpfend ist vor allem die kontinuierliche Aufbereitung und unmittelbare Verfügbarkeit einer gemeinsamen Datenbasis. Hierdurch wird eine Verbesserung des Planungs- und Bauprozesses sowie des Betriebs hinsichtlich Kosten, Terminen und Qualität ermöglicht. Der Einsatz von BIM, wird zukünftig, gerade bei größeren Bauprojekten, eine Selbstverständlichkeit sein.

Okay, das haben Sie vermutlich alle schon einmal an verschiedensten Stellen gelesen .... Die Digitalisierung macht also wohl keinen Halt vor unseren liebgewonnenen Gewohnheiten und Prozessen beim Planen, Bauen und Betreiben von Bauwerken. Normative Vorgaben, zum Beispiel durch unsere VDI-Richtlinien, bleiben auch hierbei weiterhin, als gemeinsames Verständnis, die Grundlage für die Anwendung und Akzeptanz von Technik. Jedoch scheinen die Veröffentlichungsformen der Standards selbst oftmals wohl etwas aus der Zeit gefallen zu sein. In der Regel werden Normen und Richtlinien in der Papierform oder als ein rein menschenles- und interpretierbares PDF veröffentlicht. Diese klassische Form eines Standards schöpft die Möglichkeiten der digitalen Welt natürlich nicht aus. Produkthersteller, Softwareentwickler, Datenerfasser et cetera haben wenig Motivation, Inhalte beispielsweise aus den Richtlinienreihen VDI 2552 oder VDI 3805 abzutippen, um sie in ihre Anwendungen übernehmen zu können. Auch sind Katalogdaten oder Anforderungen an Schnittstellen und von Anwendungen so dyna-

misch, dass schnelle Überarbeitungsmöglichkeiten von normativen Vorgaben wünschenswert wären.

Um den Anforderungen der digitalen Bauwelt gerecht zu werden, hat der VDI in einer ersten Gesprächsrunde mit ehrenamtlichen Experten, die an der Erarbeitung der relevanten Richtlinien beteiligt sind, diskutiert, wie zukünftige digitalen Formate von VDI-Richtlinien

„In der Regel werden Normen und Richtlinien in der Papierform veröffentlicht. Diese klassische Form eines Standards schöpft die Möglichkeiten der digitalen Welt natürlich nicht aus.“

oder zusätzliche Angebote zu Richtlinien aussehen könnten. Es besteht Einigkeit darin, dass die Richtlinie als zu einem bestimmten Zeitpunkt eingefrorene und dadurch verlässliche anerkannte Regel der Technik nach wie vor die Basis für alles Weitere darstellt. Die Anwendergruppe derer, die lediglich Datensatzbeschreibungen oder andere Teilm Informationen der Richtlinien benötigen, wächst allerdings stetig. Dazu gehören zum Beispiel Contentanbieter, Software-Dienstleister, Produkthersteller und auch Planer als Anwender der Inhalte. Darüber hinaus sollte

auch der Zugriff auf Richtlinieninhalte den tatsächlichen Anforderungen mehr entsprechen: denkbar sind zum Beispiel Datenbanken, deren Schnittstellen via Clients abgerufen und somit für Produkthersteller nutzbar gemacht werden können. Datenbanken ließen sich auch schnell überarbeiten und bereitstellen. Weiterhin könnten die benötigten Informationen aber auch als Teil von Anwendungssoftware und darin enthaltenen Daten bereitgestellt werden. Die deskriptiven Teile einer Richtlinie könnten mit maschinenlesbarer Semantik umgesetzt werden, auch dies ein Wunsch der Experten. Der Schritt hin zu zukünftigen Darreichungsformen von Richtlinieninhalten ist hierbei auch wohl nicht so groß, wie befürchtet. Ähnlich wie bei BIM auch, ist es so, dass der Schritt nicht weit ist, da die Grundlagen schon gelegt sind, zum Beispiel durch Merkmallisten, Checklisten, Vorlagen und Berechnungstools. Dies sind ja erste Schritte, die bereits heute Bestandteile von VDI-Richtlinien sind.

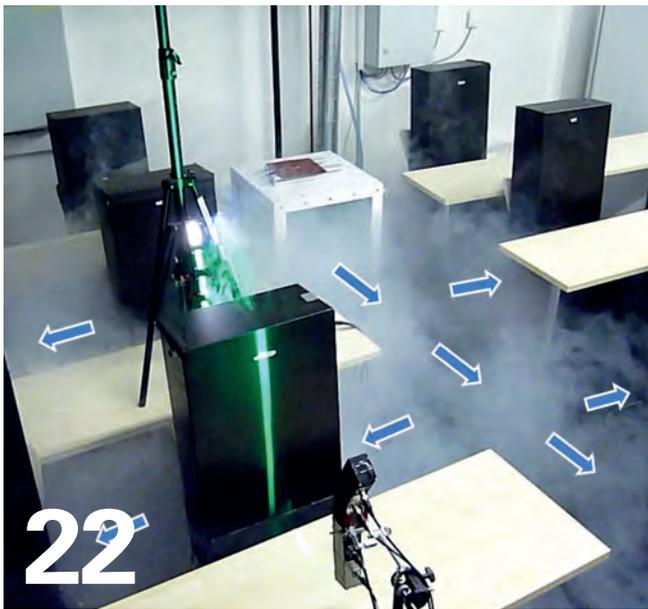
Wie die zukünftigen Veröffentlichungen der Regelsetzer am Ende auch aussehen mögen: Moderne und damit vor allem digitale Formate können schlussendlich auch den finalen Anstoß geben, um die Digitalisierung unserer spannenden, aber manchmal wohl auch etwas trägen Bauwirtschaft, erheblich zu beschleunigen und auch dem Thema BIM tatsächlich zum Status der Selbstverständlichkeit zu verhelfen. Wir sind gespannt! ■



**Dipl.-Ing. (FH)  
Frank Jansen**

ist Geschäftsführer der VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.

Bild: VDI



**22** Infektionsschutz durch Lüftungsgeräte und Luftreiniger: Wie die Atemluftqualität in Innenräumen durch eine quellluftartige Luftführung sichergestellt werden kann. Bild: Viessmann Climate Solutions SE



**34** Forschungsprojekt „SmartAdapt“: An der Beuth Hochschule in Berlin erprobt man einen adaptiven Regelalgorithmus zur Betriebsoptimierung von Heizungsanlagen. Bild: Le, Anisits, Scheunemann

## Standpunkt

- 03** Standards zukunftsfähig machen  
*Frank Jansen*

## Aktuelles

- 06** KÄLTEMITTEL F-Gase-Verordnung: Illegale Importe schmälern den Erfolg
- 07** STUDIE Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung
- 08** HOCHSCHULE Zwischen Forschung und Anwendung
- 09** UMFRAGE Hersteller: Hohe Umsatz-erwartungen für 2021
- 10** UNTERNEHMEN BIM-Konfigurator zur digitalen Planung
- 11** VERANSTALTUNGEN Fachmessen auf Oktober verschoben
- 12** ENERGIEWIRTSCHAFTSGESETZ Wasserstoff ist kein Erdgas  
*Bernd Genath, Düsseldorf*

## Raumlufttechnik

- 16** TITELTHEMA Luftentfeuchtung durch Kondensation – Lufttrocknung durch Sorption  
*Klaus Achenbach, Garching*

## Lüftungstechnik

- 22** LUFTQUALITÄT Infektionsschutz durch Lüftungsgeräte und Luftreiniger, Teil 2  
*Michael Schaub, Konrad Bamberger, Allendorf; Dennis Derwein, Kai Rewitz, Dirk Müller, Aachen*
- 27** VENTILATOREN Luft-Volumenstrom bestimmen und regeln  
*Erik Reichert, Daniel Gebert, Mulfingen*

## Erneuerbare Energien

- 30** POWER PURCHASE AGREEMENT Eine Nische dehnt sich aus  
*Bernd Genath, Düsseldorf*
- 32** BIOMASSE-SPEICHER Heizen mit Holzpellets im Wohnungsbau  
*Matthias Petzl, Osterburken*

## Heiztechnik

- 34** SIMULATION Entwicklung moderner Prüfstände für Forschung, Lehre und Technologietransfer  
*Jack Anisits, Thomas Scheunemann, Hui-Thoi Le, Berlin*
- 40** WÄRMEPUMPEN Die elektrische Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmekollektoren, Teil 1  
*Hans-Herbert Vogel, Braunschweig*

- 44** WÄRMEPUMPEN Kältemittelkreisläufe als Wegbereiter für eine nachhaltige Gebäudeenergieversorgung, Teil 2  
*Christian Vering, Christoph Höges, Jonas Klingebiel, Tim Klebig, Thomas Henn, Valerius Venzik, Dirk Müller, Aachen*

## Fachmesse

- 48** ISH DIGITAL Kein vollwertiger Ersatz, aber ...
- 49** PRODUKTE Neuheiten 2021

## Gebäudeautomation

- 55** SYSTEMATIK Bedarfsgerechte und energieoptimierte Gebäudeautomation auf Basis des Verwaltungsschalenkonzeptes der Industrie 4.0  
*Dominik Huhn, Jochen Müller, Köln*

## Integrale Planung

- 60** SOFTWARE Gute Parametrik schlechte Parametrik, Teil 3  
*Christian Waluga, Peter Hollenbeck, Aachen*
- 62** BAUSTELLENBESUCH Die neue Nummer eins in Mainhattan  
*Undine Stricker-Berghoff, Travemünde*



**55**  
**Autonom handelnde Raum- und Gebäudeautomation:** Warum die Digitalisierung der Industrie Hilfestellung für eine bedarfsgerechte und energieoptimierte Gebäudeautomation liefern kann. Bild: panthermedia.net/nirutdps

## Recht & Praxis

**66** VERTRAGSRECHT Wirkungen der Abnahme der Werkleistung  
 Reinhard Voppel, Köln

## Rubriken

**10** Impressum  
**58** Vorschau Juni  
**65** Produkte

Bitte beachten Sie das Stellenangebot auf S. 45

Diese Ausgabe enthält eine Beilage der Sterilsysteme GmbH



Das Titelbild dieser Ausgabe zeigt den Kondensations-Luftentfeuchter Condair DC in einem Wasserwerk.

Weitere Informationen ab Seite 16 sowie unter: [www.condair.de](http://www.condair.de)

# IMMER AUF DEM NEUESTEN STAND:

Jetzt Ihren Newsletter VDI Fachmedien ordern – kostenlos!



**GLEICH ANMELDEN!**

Sie wollen als Ingenieur immer auf dem neuesten Stand sein, wenn es um zukunftsweisende und praxisnahe Fachinformationen geht. Oder wenn Sie für ihre berufliche Tätigkeit Expertenwissen aus Wissenschaft und Forschung, aus Wirtschaft und Produktion benötigen.

Dann lassen Sie sich diese Chance nicht entgehen: VDI Fachmedien startet jetzt ihre Newsletter-Reihe mit brandaktuellen Online-Beiträgen. Im 14-Tage-Rhythmus erscheinen die Newsletter zu Bauingenieur, HLH, Konstruktion und VDI-Z. Im monatlichen Rhythmus die zu BWK, Logistik für Unternehmen und UmweltMagazin.

Nutzen Sie diese kostenlose Infoquelle und melden sich für den gewünschten Newsletter an: [www.ingenieur.de/news](http://www.ingenieur.de/news)

# VDI fachmedien

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.

## Richtlinie: Energieeffizienz korrekt bewerten

Die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (GBG) hat eine neue Richtlinie zur energetischen Bewertung von Gebäuden und gebäudetechnischen Anlagen herausgebracht. Die VDI 3808 vergleicht Verfahren zur energetischen Bewertung auf Basis des Energiebedarfs und -verbrauchs und stellt damit ein wichtiges Auswahl-Werkzeug für Energieberater, Gebäudeplaner, Anlagentechniker sowie Hersteller und Betreiber dar. Die Richtlinie benennt öffentlich-rechtliche Vorgaben und Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit. Es werden Energiekonzepte und Wirtschaftlichkeitsnachweise untersucht und in die Lebenszykluskostenanalyse eingeführt. Die Richtlinie beinhaltet zudem Simulationsberechnungen und thematisiert das Modellgebäudeverfahren für WG nach EnEV. [www.vdi.de/3808](http://www.vdi.de/3808)

## F-Gase-Verordnung: Illegale Importe schmälern den Erfolg

Nach Expertenschätzungen könnten die illegalen Einfuhren aus dubiosen Quellen bis zu einem Drittel des Marktes entsprechen. Aktuelle Zahlen, die die Beratungsgesellschaft Oxera Consulting LLP zu diesem Problem gesammelt hat, zeigen, dass ein umfangreicher illegaler Markt das Quotensystem der EU weiterhin umgeht und HFKWs illegal in die EU importiert. Das European Fluorocarbons Technical Committee (EFCTC), eine Sektorgruppe des Cefic (European Chemical Industry Council), hat die Daten ausgewertet. Demnach könnten bis zu 31 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent im Jahr 2019 illegal über die EU-Grenzen gelangt sein. Für die Jahre 2018 und 2019 zusammen, kommen die Analysten sogar auf ein illegales CO<sub>2</sub>-Äquivalent von bis zu 73 Millionen Tonnen. Das entspricht den jährlichen Emissionen von rund 40 deutschen Kohlekraftwerken oder von mehr als 55 Millionen Autos. „Wir haben eine große Diskrepanz zwischen den von China gemeldeten Exportmengen und den von der EU registrierten Importmengen festgestellt. Diese Diskrepanz hat sich von 2018 auf 2019 zwar leicht verringert, jedoch sind die Exporte aus China in die EU-Nachbarländer von 2018 auf 2019 um 17 Prozent gestiegen“, so Felix Flohr, Sprecher des EFCTC. Selbst unter Berücksichtigung des Marktwachstums könnten potenziell 23 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent an überschüssigen HFKW-Importen für den illegalen Handel mit dem EU-Markt bestimmt gewesen sein. Da die HFKW-Quote im Januar 2021 erneut angepasst und von 63 auf 45 Prozent des Volumens von 2015 reduziert wurde, werden in diesem Jahr erneut große Mengen HFKWs aus dem legalen Markt genommen – für Kriminelle erneut die Chance, die Lücke durch illegale Ware zu füllen. MDS



Der Import illegaler Kältemittel unterwandert die Umsetzung der F-Gase-Verordnung.  
Bild: panthermedia.net/antpkr

## E-Book zu Feuchteschäden

„Feuchteschäden – Vermeiden, Erkennen und Sanieren“ ist der Titel des Tagungsbandes des 55. Frankfurter Bausachverständigentags, bei dem sich Experten mit den Schwachstellen in der Gebäudeabdichtung beschäftigt und Lösungen zur Schadensanierung und -prävention vorgestellt haben. Das Fachbuch ist jetzt als E-Book erschienen und beschäftigt sich mit den Ursachen für Feuchteschäden in Planung und Abdichtung. Es stellt Maßnahmen vor, mit denen Gebäude nachträglich mit vertretbarem Aufwand dauerhaft abgedichtet werden können. Auch wird erläutert, welche Vorgehensweisen die WTA-Merkblätter für eine erfolgreiche Bauwerksabdichtung empfehlen. [www.irb.fraunhofer.de](http://www.irb.fraunhofer.de)



Der Tagungsband zu Feuchteschäden steht als E-Book zur Verfügung. Bild: IRB Fraunhofer

## Online-Special zu Trinkwasserhygiene

Wasser ist das am meisten getestete und gereinigte Lebensmittel in Deutschland. Doch erst eine fachgerechte Planung stellt in Kombination mit ausgereiften sanitärtechnischen Produkten und regelmäßiger Überwachung sicher, dass die hohe Trinkwasserqualität auch noch an der Verbrauchsstelle gewährleistet ist. Im Rahmen eines Online-Specials zum Thema „Trinkwasserhygiene – Lebensmittel Wasser“ beschäftigt sich die HLH mit diesem sensiblen Thema. Start ist am 21. Juni 2021 auf [www.hlh.de](http://www.hlh.de)



Eine aktuelle Studie attestiert der Baubranche Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung. Welche Chancen digitale Hilfsmittel auf der Baustelle eröffnen können, beweist unter anderem das Forschungsprojekt „KlimAR“ des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik an der Universität Bremen. Gemeinsam mit dem auf Computeranimationen und Visualisierungen spezialisierten Ingenieurbüro AnyMotion haben die Wissenschaftler zwei Jahre lang die Einsatzmöglichkeiten von Augmented Reality (AR) im Handwerk erforscht. Bild: AnyMotion

## Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung

Die Mehrheit der deutschen Bauunternehmen hat Nachholbedarf in Sachen Digitalisierung. Viele Baufirmen sehen zwar die Chancen, die digitale Lösungen bieten, doch das Know-how im Umgang mit Virtual Reality, Cloud-Lösungen und -Plattformen fehlt häufig noch. Das hat eine Erhebung der Wirtschaftsprüfungsgesellschaft PricewaterhouseCoopers (PwC) unter 100 Bauunternehmen, Planern und Projektsteuerern ergeben. Laut Umfrage hat die Branche die Chancen, die digitale Lösungen wie Building Information Modeling (BIM) bieten, zwar erkannt, bei der Umsetzung hapert es allerdings noch – das gilt insbesondere für digitale Lösungen im Bereich der Simulationen und Visualisierungen. Die größte Herausforderung im Hinblick auf den großen Infrastrukturausbau sei die Verfügbarkeit von geeignetem Personal, räumt eine große Mehrheit der Befragten ein. Während 60 Prozent der Baufirmen auch die Realisation von Umwelt- und Nachhaltigkeitsanforderungen Kopfzerbrechen bereitet, sorgen sich die Planer und Projektsteuerer häufiger um die Umsetzung der Vorgaben zum digitalen Planen und Bauen sowie die fehlende IT-Infrastruktur innerhalb ihres Unternehmens. Dabei kommen die Herausforderungen der Corona-Krise den Unternehmen nach eigenen Angaben entgegen: 84 Prozent der Befragten sehen die zunehmende Digitalisierung in der Krise als große Hilfestellung. Um die Digitalisierung in ihrem Unternehmen voranzutreiben, wollen 72 Prozent der Bauunternehmen und 60 Prozent der Planer in den kommenden fünf Jahren Geld in die Hand nehmen. [www.pwc.de](http://www.pwc.de)

## Verbundprojekt zu Ultrakondensatoren

Durch Wolkenbewegungen hervorgerufene Fluktuationen der solaren Einstrahlung sind unvermeidlich. Für Photovoltaik-Anlagen ein Problem: Sie belasten Langzeitspeicher und Leistungselektronik und beeinflussen die Netzstabilität negativ. Bei der Lösung des Problems können ultraschnelle Kurzzeitspeicher (Ultrakondensatoren) helfen. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit 2,6 Millionen Euro geförderten Verbundprojekts soll jetzt unter Koordination des ZAE Bayern ein netzdienliches Photovoltaik-Speicher-System unter Einsatz von Ultrakondensatoren entwickelt werden. Nach einer dreijährigen Entwicklungs- und Optimierungsphase auf Laborebene soll das neue System bereits in einer Demonstrationsanlage im Netz installiert und in einer einjährigen Monitoringphase unter Realbedingungen bewertet werden. [www.zae-bayern.de](http://www.zae-bayern.de)



Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer Wandler-Speicher-Einheit die Leistungsschwankungen von PV-Anlagen deutlich glätten soll. Bild: ZAE

## Infoblatt zu Elektro-Flächenheizung

Der Bundesverband Flächenheizungen und Flächenkühlungen e. V. (BVF) hat ein Infoblatt mit Tipps zum effizienten Heizen mit elektrischen Flächenheizungen sowie zur Modernisierung bestehender Anlagen zum Download bereitgestellt. Es gibt Besitzern von 20 bis 40 Jahre alten Häusern sinnvolle Maßnahmen an die Hand, um Heizkosten zu senken. Neben Tipps zum effizienten Heizen bietet es eine Übersicht über die spezifischen Optimierungsmöglichkeiten durch elektrische Direktheizungen und elektrische Fußbodenspeicherheizungen. Auch Fördermöglichkeiten werden vorgestellt.

[www.flaechenheizung.de](http://www.flaechenheizung.de)

## Neue Struktur bei Danfoss

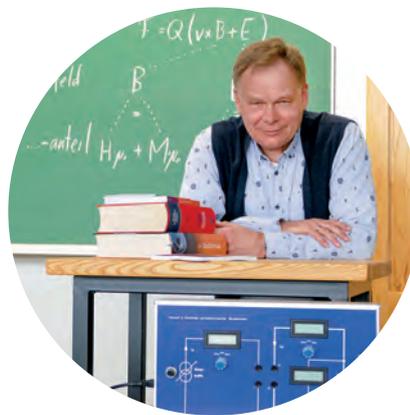
Danfoss hat Anfang des Jahres die Segmente Heating und Cooling in das Segment Danfoss Climate Solutions zusammengeführt. Der Fokus liegt hier auf der Sektorkopplung, der Kombination von Wärme- und Kälteanwendungen. Zukünftig könne man noch bessere Services anbieten, indem alle Schlüsselanwendungen im Bereich Wärme und Kälte abgedeckt werden. Schließlich seien Wärmepumpen, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden, die wichtigsten Heizquellen der Zukunft, so Jürgen Fischer, Präsident des neuen Unternehmenssegments.

[www.danfoss.com](http://www.danfoss.com)

## Vaillant setzt auf Homematic IP

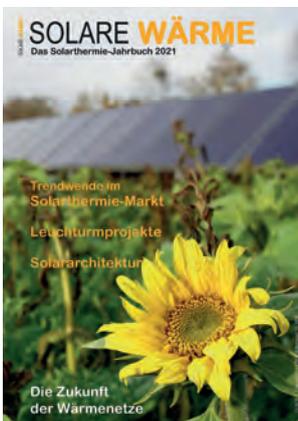
Die Vaillant Group hat mit dem europäischen Home-Control-Marktführer eQ-3 eine Lizenzvereinbarung für den Bereich der intelligenten Heizungsregelung getroffen: Vaillant wird in seinen Smart-Home-Produkten künftig die drahtlose Kommunikationstechnologie Homematic IP nutzen. Der Funkstandard wird nach und nach in neuen Lösungen zur Anwendung kommen, insbesondere in batteriebetriebenen Smart-Home-Produkten wie Wandthermostaten, Klimasensoren und -aktuatoren. Vaillant und eQ-3 hatten bereits im Bereich Einzelraumregelung kooperiert. [www.vaillant.de](http://www.vaillant.de)

## Zwischen Forschung und Anwendung



**Prof. Dr. Martin Poppe** möchte mit seiner Publikation „Grundkurs Theoretische Elektrotechnik“ eine Brücke zwischen Grundlagenforschung und Anwendung schlagen. Bild: FH Münster/Jana Schiller

Die theoretischen Grundlagen der Elektrotechnik leichter verständlich machen möchte Professor Dr. Martin Poppe von der FH Münster mit seinem Grundlagenwerk zur Elektrotechnik „Grundkurs Theoretische Elektrotechnik“. Der Physiker leitet das Labor für Elektronik am Fachbereich Elektrotechnik und Informatik und kritisiert, dass viele Begriffe der Elektrodynamik historisch geprägt und nur im Zusammenhang mit dem damaligen Weltbild zu verstehen seien. Die Verbindung zwischen elektrotechnischer Anwendung und Grundlagenforschung ermöglichte hingegen eine Zusammenführung physikalischer Größen. Sein Werk richtet sich an fortgeschrittene Studierende sowie Fachleute in Hochschullehre und Wissenschaft. [www.fh-muenster.de/eti](http://www.fh-muenster.de/eti)



Das Solarthermie-Jahrbuch „Solare Wärme“ erscheint 2021 zum dritten Mal. Bild: Solarthermie-Jahrbuch

## Leuchtturmprojekte der Solarthermie

Im aktuellen Solarthermie-Jahrbuch „Solare Wärme“ 2021 spielt die Solararchitektur eine wichtige Rolle. Deshalb werden in dieser nunmehr dritten Ausgabe Leuchtturmprojekte vorgestellt, die sich sowohl durch eine durchdachte Energieversorgung als auch durch eine ansprechende Integration der Solaranlage auszeichnen – zum Beispiel das Aquahotel in Radolfzell, das aus einem ehemaligen Wasserturm entstand. Im Jahrbuch findet man aber auch Beispiele für eine Bauweise, die den praktischen Nutzen betont, wie Ein- und Mehrfamilienhäuser. Auch das Projekt „Sol4City“, das integrierte solare Energieversorgungskonzepte für klimaneutrale Gebäude und Städte entwickelt, wird vorgestellt. Am Beispiel zweier Projekte in Weinstadt und Ludwigsburg wird gezeigt, wie solche Gebäude und Siedlungen aussehen könnten. Das solare Energieversorgungskonzept in Weinstadt basiert auf einer hydraulischen Verschaltung der zentralen Komponenten (Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher, PVT-Kollektoren), die durch verschiedene Betriebsarten zu einer ganzjährigen effektiven Nutzung von Solarstrahlung und Umweltwärme führen sollen. Im Quartier in Ludwigsburg kommen dezentrale Sole-Wasser-Wärmepumpen zum Einsatz, die über ein kaltes Nahwärmenetz Energie aus einem zentralen Eisspeicher und einem zentralen solarthermischen Luft-Sole-Wärmeübertrager beziehen. Das Solarthermie-Jahrbuch ist für 12 Euro plus Porto erhältlich. [www.solarthermie-jahrbuch.de](http://www.solarthermie-jahrbuch.de)

## Wärmepumpenentwicklung in Dresden gestärkt

Viessmann will in den kommenden Jahren in Dresden einen zusätzlichen Entwicklungsstandort für Großwärmepumpen ausbauen. Außerdem wurden die Produktionskapazitäten im Produktsegment der Großwärmepumpen verdoppelt. Das Portfolio umfasst standardisierte, serienmäßig lieferbare Wärmepumpen und Kältemaschinen bis zu einem Leistungsbereich von 245 kW mit Scroll- und Hubkolbenverdichtern. Dabei sind auch sehr große Temperaturhübe durch mehrstufige Kältekreise möglich. Außerdem sind Hochtemperatur-Wärmepumpen mit einem Vorlauf von bis 90 °C kurzfristig und serienmäßig lieferbar. Zukünftig soll das Produktportfolio im großen Leistungsbereich um innovative Entwicklungen im Bereich der Luft-Wasser-Geräte erweitert werden. [www.viessmann.com](http://www.viessmann.com)



Die nach wie vor gute Konjunkturlage am Bau lässt die Industrie auch 2021 auf gute Umsätze hoffen.  
Bild: panthermedia/ mmaxer

## Hersteller: Hohe Umsatz-erwartungen für 2021

Die Hersteller der Bau- und Installationsbranche zeigen sich in der aktuellen Frühjahrs-umfrage von BauInfoConsult trotz der anhaltenden Pandemie zuversichtlich. Die Erhebung ergab, dass fast alle befragten Firmen aus den Bereichen Heizung, Lüftung, Klima fest mit steigenden oder wenigstens gleichbleibenden Umsätzen für 2021 rechnen. Neben der guten wirtschaftlichen Lage am Bau seien auch die positiven Erfahrungen des vergangenen Jahres für die Entspannung der Baustoffhersteller verantwortlich. Laut Umfrage der Analysten speist sich die Zuversicht der Hersteller aus der günstigen Ausgangslage im Industrie- und Bausektor, zu der nicht nur die erstarkende Nachfrage aus Asien und den USA beigetragen habe, sondern auch die gute Baukonjunktur im eigenen Land. Stark gewachsen sei vor allem das Wohnungsbausegment: Mit 368 400 Genehmigungen für Wohnungen wurde 2020 ein Rekordergebnis eingefahren – nach dem bisherigen Boomjahr 2016. Weiter vielversprechend sind auch die aktuellen Umsatz- und Auftrags-ergebnisse der Baubranche, die als systemrelevant ohne deutliche Einschränkungen trotz des Lockdowns durcharbeiten konnte. Auch sei 2020 für die Branche viel besser als erwartet gelaufen: 62 Prozent der befragten Unternehmen konnten im Vorjahr ihren Umsatz sogar steigern. [www.bauinfoconsult.de](http://www.bauinfoconsult.de)

## PERSONALIEN

**Stefan Böni**, bisher Mitglied der HLK-Geschäftsleitung der Arbonia Gruppe und CEO der Vasco Group, hat das Unternehmen verlassen. Mitte April übernahm **Christian Schmitz-Eckert**, Chief Ventilation Officer und Mitglied der HVAC-Geschäftsleitung, die Führung der Vasco Group.

Der langjährige Präsident und CEO von ebm-papst China, **Thomas Nürnberger**, wurde zum 1. April in die Geschäftsführung der ebm-papst Gruppe berufen. Dort übernimmt er als CSO die Verantwortung für das weltweite Vertriebsressort. Mit dem Wechsel von Nürnberger nach Mulfingen wird **Tobias Arndt** ebm-papst China ab 1. Juli als General Manager leiten.

Anfang April wurde **Linda Péus** zum Mitglied der Geschäftsleitung der Hansgrohe Deutschland Vertriebs GmbH ernannt. Somit besteht das Gremium nun neben Péus aus **Frank Wiehmeier** (GF und Vice President Central Europe Hansgrohe), **Christophe Gourlan** (GF und Vorstand Hansgrohe), **Marco Hund** (Kaufmännische Leitung), **Stefan Schraff** (Vertriebsleitung Handel) sowie **Volker Stark** (Leiter Channel Management).

**Frank Offermanns** ist seit 1. Mai neuer Vorstand für Vertrieb und Marketing bei Dornbracht. Er folgt auf **Jochen M. Wilms**, der diese Funktion nur interimistisch übernommen hatte und dem Unternehmen weiter als Aufsichtsratsmitglied verbunden bleibt.

Mit **Sascha Paulus** ist nach zehn Jahren an anderer Wirkungsstätte ein ehemaliger Mitarbeiter zu Glen Dimplex Deutschland zurückgekehrt. Zum 1. März hat der 41-Jährige die Funktion des Business Unit Directors für den Bereich Cooling übernommen.

## IMPRESSUM

**HLH**

ISSN 1436-5103, 72. Jahrgang 2021

**Herausgeber**

Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf

**Organschaft**

HLH ist offizielle Organzeitschrift des VDI-Fachbereichs Technische Gebäudeausrüstung.

**Redaktion**

Marc Daniel Schmelzer, Chefredakteur

Telefon: +49 211 6103-462

[dschmelzer@vdi-fachmedien.de](mailto:dschmelzer@vdi-fachmedien.de)

Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell

Redaktionsleitung VDI Fachmedien

Telefon: +49 211 6103-104

[uschnell@vdi-fachmedien.de](mailto:uschnell@vdi-fachmedien.de)

Ines Henning, Redaktionsassistenz

Telefon: +49 211 6103-311

Fax: +49 211 6103-148

[hlh@vdi-fachmedien.de](mailto:hlh@vdi-fachmedien.de)**Redaktionsbeirat**

Prof. Dr.-Ing. Martin Becker

Hochschule Biberach

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Finke

Beuth Hochschule für Technik Berlin

Dipl.-Ing. Harald Fonfara

Ingenieurbüro Fonfara, Lalling

Dr.-Ing. Udo Gommel

Fraunhofer IPA, Stuttgart

Dipl.-Ing. Frank Jansen

VDI-GBG, Düsseldorf

Klaus-Peter Kapp

KP-Solutions, Hamburg

Prof. Dipl.-Ing. Klaus Rudat

Beuth Hochschule für Technik Berlin

Autorenhinweise/Veröffentlichungsgrundlagen:

[www.hlh.de](http://www.hlh.de)**Verlag**

VDI Fachmedien GmbH &amp; Co. KG

Unternehmen für Fachinformationen

VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf

Postfach 10 10 22, 40001 Düsseldorf

Commerzbank AG

SWIFT/BIC-Code: DRES DE FF 300

IBAN: DE69 3008 0000 0212 1724 00

**Geschäftsführung**

Ken Fouhy, B.Eng.

**Layout**

Ulrich Jöcker

**Leitung Media Sales**

Sarah-Madeleine Simon

Telefon: +49 211 6103-166

[ssimon@vdi-fachmedien.de](mailto:ssimon@vdi-fachmedien.de)**Anzeigenverkauf**

CrossMediaConsulting

Wolfgang Ernd GmbH

Wichmannstraße 4 - Haus 1, 22607 Hamburg

Joanna Klingbiel

Telefon: +49 40 881449-370

Fax: +49 40 881449-11

[jklingbiel@cmc-web.de](mailto:jklingbiel@cmc-web.de)

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 61

vom 1. Januar 2021.

**Vertrieb und Leserservice**

Leserservice VDI Fachmedien

65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-202

Fax: +49 6123 9238-244

[vdi-fachmedien@vuservice.de](mailto:vdi-fachmedien@vuservice.de)**Bezugspreise**

9 Ausgaben jährlich

(davon 1/2, 7/8, 11/12 als Doppelausgaben)

Jahresabonnement: € 215,- (E-Paper € 193,50)

VDI-Mitglieder: € 193,50 (E-Paper € 174,15)

nur für persönliche Mitglieder

Studenten: € 80,- (E-Paper € 72,-)

gegen Studienbescheinigung

Preise Inland inkl. MwSt., Ausland exkl. MwSt.

zzgl. Versandkosten (Inland € 15,-,

Ausland € 38,-, Luftpost auf Anfrage),

Einzelausgaben: € 22,-, Inland inkl. MwSt.,

Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten.

Der Bezugszeitraum beträgt mindestens ein

Jahr. Das Abonnement verlängert sich um ein

weiteres Jahr, wenn es nicht sechs Wochen vor

Ablauf des berechneten Bezugszeitraumes

schriftlich gekündigt wird.

**Satz**

Medienpartner Mäurer GmbH

Auf dem Feldchen 14, 41849 Wassenberg

**Druck**

KLIEMO AG, Hütte 53, 4700 Eupen, Belgien

**Copyright**

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Bei-

träge und Abbildungen sind urheberrechtlich

geschützt. Jede Verwertung außerhalb der en-

gen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist

ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und

strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfälti-

gungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen

und die Einspeicherung und Verarbeitung in

elektronischen Systemen. Für unverlangt ein-

gesandte Manuskripte kann keine Gewähr

übernommen werden.

Weitere Informationen: [www.hlh.de](http://www.hlh.de)

Auflage IVW-geprüft

**Mit dem BIM-Konfigurator** können Heiz- und Kühlsegele einfacher geplant werden.

Bild: Frenger Systemen BV Heiz- und Kühltchnik GmbH / iStock/NicoElNino

## BIM-Konfigurator zur digitalen Planung

Frenger hat einen BIM-Konfigurator zur vereinfachten Planung und Integration von Deckenstrahlungsheizungen und stiller Kühlung in ein Projekt vorgestellt. Die dargestellten Daten enthalten alle für die technische Gebäudeausrüstung notwendigen Angaben wie Abmessungen, hydraulische Daten und Leistungswerte. Nutzung und Download der Daten sind einfach: Nach Abspeichern der erforderlichen Angaben im BIM-Konfigurator können Planer oder Architekten Revit-Daten erzeugen, downloaden und mittels ihrer eigenen BIM-Software in die Planung integrieren. Das Tool beinhaltet die am häufigsten eingesetzten Heiz- und Kühlsegele Typ Smartline für die Planung von Büro- und Verwaltungsgebäuden.

[www.frenger.de](http://www.frenger.de)

## Zewotherm bietet Service und Montage

Mit der neu gegründeten ZW Service & Montage GmbH bietet Zewotherm über den Großhandel jetzt auch einen bundesweiten Planungs- und Montageservice für Flächenheizungen und -kühlungen sowie für zentrale Lüftungssysteme an. Die Beauftragung erfolgt direkt über den Fachgroßhandel. Alle ZW-Teams sind fachgerecht geschult und bestehen aus mindestens zwei Monteuren. Sie installieren nicht nur Zewotherm-Systeme, sondern auf Wunsch auch die anderer Hersteller. [www.zewotherm.de](http://www.zewotherm.de)

## Bosch Thermo-technik: Umsatz konstant

Erfolgreiches Geschäftsjahr: Bosch Thermotechnik konnte seinen Umsatz 2020 trotz Corona-Pandemie auf dem Vorjahresniveau von 3,5 Milliarden Euro halten. Dazu beigetragen habe unter anderem der überdurchschnittlich hohe Umsatz in Deutschland. Vor allem der Trend zur Elektrifizierung und der Ausbau des Geschäfts mit Klimageräten und Wärmepumpen sei maßgeblich für den Erfolg, teilt das Unternehmen mit „Wir haben mit unseren innovativen Produkten für Defossilisierung, Elektrifizierung und Digitalisierung die Energiewende im Gebäudesektor vorangetrieben und werden damit weiter wachsen“, resümiert Jan Brockmann, Vorsitzender der Geschäftsführung von Bosch Thermotechnik.

[www.bosch.de](http://www.bosch.de)

## Fachmessen auf Oktober verschoben

Die ursprünglich vom 21. bis 23. Juli 2021 in München geplante „The smarter E Europe“, gemeinsame Plattform der Energiefachmessen Intersolar Europe, Power2Drive, ees und EM-Power, ist auf den Herbst verschoben worden. Ein neuer Versuch ist vom 6. bis 8. Oktober 2021 unter dem Titel „The smarter E Europe Restart 2021“ geplant. Die „The smarter E Industry Days“ werden am ursprünglich geplanten Datum im Juli stattfinden – inklusive der Verleihungen des „Smarter E Award“, des „Intersolar Awards“ und des „ees Awards“. Allerdings als Digital-Format. „Wir sind überzeugt, mit der außerplanmäßigen Veranstaltung im Oktober dem Wunsch der dynamisch wachsenden Branche zu folgen, sich noch in diesem Jahr auf einer Plattform präsentieren und persönlich austauschen zu können“, so Daniel Strowitzki, Geschäftsführer der Freiburg Wirtschaft Touristik und Messe GmbH & Co. KG, die die Fachmesse mit der Solar Promotion GmbH durchführt. Nur wenige Tage zuvor kam bereits die Nachricht aus Frankfurt: Die bevorstehende Verschärfung des bundesweit geltenden Infektionsschutzgesetzes sei Anlass für eine terminliche Verschiebung der Indoor-Air. Die vom 8. bis 10. Juni 2021 geplante Fachmesse für Lüftung und Luftqualität soll nun ebenfalls im Oktober (05.-07.10.2021) stattfinden. „Wir halten als Industrie weiter an der Indoor-Air fest und freuen uns auf den neuen Termin. Denn die Sicherstellung einer hohen Luftqualität ist ein nachhaltiges Thema mit hoher gesellschaftlicher Relevanz heute und in der Zukunft“, so Professor Dr.-Ing. Christoph Kaup, Vorsitzender des Fachverbandes Gebäude-Klima e. V..



**Weiter keine Fachmessen:** Die ursprünglich für Juli in München geplante „The smarter E Europe“ wurde in den Oktober verschoben. Wenige Tage zuvor hatte bereits die Messe Frankfurt bekanntgegeben, dass die Fachmesse Indoor-Air ebenfalls erst im Herbst stattfinden soll. Bild: Solar Promotion GmbH



Der neue „Leitfaden Infrarot-Heizung“ adressiert Fachleute und Endverbraucher. Bild: BVIR/IG Infrarot/TU Kaiserslautern

## Leitfaden zu Infrarot-Heiztechnologie

Ein neuer kostenfreier Leitfaden informiert über Infrarot-Heiztechnologie und ihre Anwendungsmöglichkeiten. Die Broschüre zum Download versteht sich als Entscheidungshilfe für Fachleute und Endverbraucher. Sie stellt die Infrarot-Technologie im Allgemeinen vor und beschreibt ihre Einsatzmöglichkeiten als Zusatz- und Hauptheizung. Ebenfalls enthalten ist eine Schritt-für-Schritt-Anleitung für Fachleute. Weitere Themen sind gesetzliche Vorgaben und Normen sowie FAQs. Autor des Leitfadens ist Dr.-Ing. Peter Kosack, Leiter des Arbeitskreises Infrarot (AKI) an der Technischen Universität Kaiserslautern. Der „Leitfaden Infrarot-Heizungen“ kann kostenfrei auf den Webseiten der Initiatoren, des Bundesverbandes Infrarot-Heizung sowie der Interessen-Gemeinschaft Infrarot Deutschland e. V., heruntergeladen werden. [www.bundesverband-infrarotheizung.de](http://www.bundesverband-infrarotheizung.de); [ig-infrarot.de](http://ig-infrarot.de)



**Wärmeerzeuger mit der Möglichkeit der Wasserstoff-Beimischung** haben zahlreiche Hersteller bereits heute im Programm. Auf der digitalen ISH 2021 stellte unter anderem Viessmann (im Bild das Technikum) in Aussicht, in ein paar Jahren auch zu 100 Prozent mit Wasserstoff gespeiste Geräte anbieten zu können. Hinsichtlich der Versorgungs-Infrastruktur und der gesetzlichen Grundlagen sind allerdings noch zahlreiche Fragen unbeantwortet. *Bild: Viessmann*

**Klarstellung aus Berlin im Entwurf zum Energiewirtschaftsgesetz**

# Wasserstoff ist kein Erdgas

Im März verabschiedete der Deutsche Bundestag als Folge einer Vorgabe aus Brüssel einen Gesetzentwurf, der dem Wasserstoff als Erdgassubstitut in der Hausenergieversorgung nicht gerade die Tür öffnet. Im Gegenteil: Er hat zwar Wasserstoff zum Thema, stuft den Sektor TGA aber als nicht relevant ein. Warum?

**TEXT:** Dipl.-Ing. Bernd Genath

**F**rühere Entwurfstexte und Stellungnahmen sahen H<sub>2</sub> als Ersatz für Erdgas in den Sektoren Indus-

trie, Mobilität und Gebäudetechnik. Später war dann vom Wärmemarkt nicht mehr die Rede. Neuerdings erwähnen halbamtliche und amtliche Papiere wieder den Einsatz

von Wasserstoff im TGA-Gewerk, allerdings mehr der Vollständigkeit halber, so des Typs „in erster Linie zur Dekarbonisierung der Industrie und des Verkehrs“, um dann

anzuhängen „oder auch im Wärmemarkt“. Die Rede ist von reinem H<sub>2</sub>, nicht der Beimischung zu Erdgas. Der bescheren Verlautbarungen aus Brüssel und Berlin über-

haupt keine Zukunft. Die mache keinen Sinn, weil sie zumindest in den ersten zehn bis 20 Jahren nicht zur Klimaneutralität beitrage. Denn eine diskutierte Quote von anfangs maximal 20 Prozent, die der aktuelle Stand der Gerätetechnik eventuell vertragen könnte, verzögert den Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre lediglich minimal. Sie führt den Klimaschutz nicht näher an die Ziele für 2030 heran. Sollten zukünftige Installationen mehr Wasserstoff im Erdgas vertragen, müsste mit jedem 10-Prozentsprung wahrscheinlich eine Marktraumumstellung einhergehen, weil sich die Verbrennungseigenschaften verändern. Diesen Aufwand beurteilt selbst die Gaswirtschaft als unzumutbar.

### **Bundesnetzagentur: Eigene Infrastruktur für Wasserstoff**

Ganz abgesehen von weiteren unsicheren Faktoren. Wie die bekannte Frage, ob das Erdgasnetz überhaupt wasserstofftauglich ist und bis zu welchem Prozentsatz, ferner der bürokratische Aufwand zur Abrechnung der jeweiligen Mischung, die Zulässigkeit des Transports durch private Grundstücke und anderes. So kommt die Bundesnetzagentur in ihrer Analyse des Komplexes Wasserstoff als Erdgas-Substitut mit dem Titel „Regulierung von Wasserstoffnetzen – Bestandsaufnahme“ zu dem Ergebnis: „Eine Beimischung von Wasserstoff ins Gasnetz im großen Stil ist unwahrscheinlich. Zum einen sind viele Verbraucher/Endgeräte sensibel bezüglich einer Erhöhung der Wasserstoff-Beimischungsquoten und ein hoher Anpassungsbedarf wäre nötig (im Sinne einer weiteren Marktraumumstellung). Zum anderen besteht bei Verbrauchern auch in Zu-

kunft der Bedarf an reinem Wasserstoff und reinem Erdgas. Vermutlich wird sich daher eine Wasserstoffnetzstruktur parallel zum bestehenden Gasnetz entwickeln.“

Liest man also die halbamtliche Stellungnahme und die der verschiedenen Interessensgemeinschaften zu diesem Thema, scheint die Verabschiedung von Wasserstoffmethan als Alternative zu einem reinen Wasserstoffnetz ziemlich klar zu sein. Die Beimischung beziehungsweise entsprechende aufzunehmende Passagen und Paragraphen für die EnWG-Novelle und andere Gesetze spricht der Parlament-Entwurf „Gesetz zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht“ von März dieses Jahres deshalb erst gar nicht an.

### **Wenig Trümpfe**

Das Nein zum Gasgemisch besiegelt nun nicht automatisch die Zukunft des Wasserstoffs als Brennstoff für die Heizungstechnik. Es erschwert jedoch diese Zukunft. Denn der eigentliche Charme der stufenweisen Anreicherung bestand ja für die Erdgaswirtschaft darin, relativ kostengünstig die bestehende Netzinfrastruktur als Verteidigungsmittel gegen das vollelektrische Haus nutzen zu können. Andere Trümpfe hält sie nicht in der Hand. Und selbst dieser Trumpf ist kein As. Denn den Umwandlungsverlusten bei der industriellen Herstellung eines Brennstoffs aus Wasser und grünem Strom stehen erhebliche Effizienzgewinne bei der direkten Verwendung von grünem Strom zu Heizzwecken gegenüber. In Summe dürfte für die Grünstrom-Wärmepumpe der Faktor 6 sprechen. Die erwähnte Analyse der Bundesnetzagentur klammert deshalb in ihrer Be-

trachtung den Bereich Heizenergie völlig aus, weil „die zukünftige Verwendung von Wasserstoff vor allem in den Sektoren Industrie und Verkehr wahrscheinlich ist. Im Gebäude- und Stromsektor wird aufgrund der noch notwendigen Erprobung der Wasserstofftechnologien und der aufwendigen technischen Anpassungen zunächst keine Zunahme erwartet.“

Mit dem favorisierten separaten Netz für H<sub>2</sub> schwindet naturgemäß die Chance eines großflächigen Einsatzes in der bundesdeutschen Gebäudetechnik. Die Mehrzahl der Häuser wird vollelektrifiziert sein. Die verbleibende Minderheit wird sich mit Biomasse erwärmen, wenn nicht zufällig eine industrielle Wasserstoffleitung in der Straße vor der Haustür liegt.

### **Die Frage des Preises**

Und schließlich umgehen alle öffentlichen Diskussionen im Moment die Preisfrage. Wie teuer darf Wasserstoff sein? Als Ersatz für Erdgas nicht wesentlich mehr. Nur: Es kommt ausschließlich grüner Wasserstoff aus Klimaschutzgründen infrage. Der wird aus grünem Strom mit Verlusten gewonnen. Folglich müsste die Kilowattstunde H<sub>2</sub> teurer sein als die Kilowattstunde des Rohprodukts grüne Elektrizität. Wind- und PV-Strom offerieren die Versorger dem Endverbraucher derzeit mit 30 bis 32 Cent/kWh, der Industrie mit 17 oder 18 Cent. Das Ergebnis der Aufbereitung zu grünem H<sub>2</sub> dürfte demnach für Haushalte nicht unter 22 oder 25 Cent/kWh zu haben sein. Mit diesem Angebot brauchen die Versorger erst gar nicht auf ihre potenziellen Kunden zugehen. Der Vorgänger, das Erdgas, hatte ja nur sechs oder acht Cent gekostet. Auf der anderen Sei-

te wäre es – sollte die Politik einen politischen Preis verordnen – Grünstrom-Kunden sehr schwer vermittelbar, warum sie für das unbehandelte Vorprodukt 30 Cent zahlen müssen, sich dieses jedoch für das Nachbarhaus nach der verlustbehafteten Umwandlung zu Wasserstoff auf vielleicht 10 Cent/kWh verbilligt.

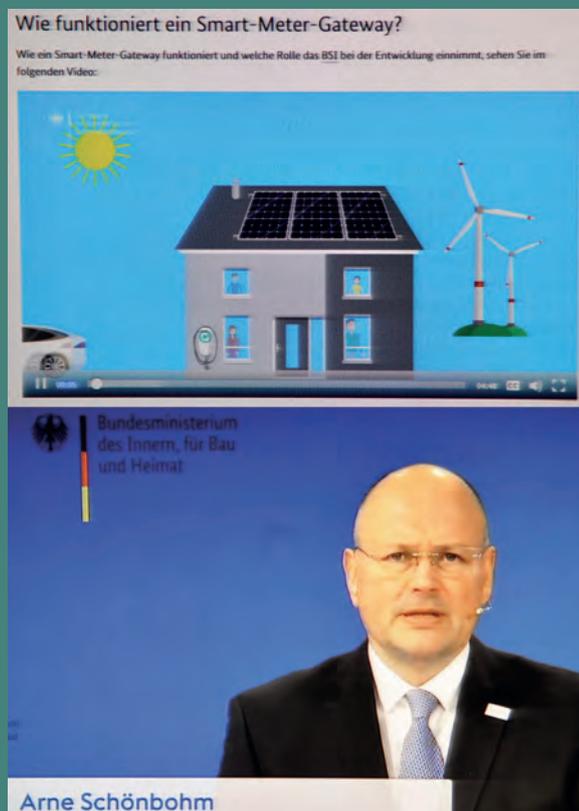
Dieser Kalamität entgehen Wirtschaft und Politik am einfachsten, indem sie grünen Wasserstoff für den häuslichen Wärmemarkt erst gar nicht groß proklamieren. Seine Verwendung dort wird sich voraussichtlich auf Inselnetze für Quartiere beschränken, die also nicht an die öffentliche Versorgung angeschlossen sind und mithin auch amtlich nicht reguliert werden müssen. Erste Quartiersprojekte auf Basis solcher Insellösungen entstehen derzeit mit finanzieller staatlicher Unterstützung in mehreren Bundesländern (H<sub>2</sub> Wyhlen, Neue Weststadt Esslingen (beide Baden-Württemberg), Westküste100 in Schleswig-Holstein, Energiepark Bad Lauchstädt/Sachsen-Anhalt, Norddeutsches Reallabor in Hamburg und Schwerin als Beispiele). Soll sagen, die Bundesregierung und ebenfalls die EU sind intensiv dabei, zu erproben und festzulegen, wie eine Wasserstoffinfrastruktur aufzubauen ist.

### **EnWG: Keine Gleichstellung mit Erdgas und Strom**

Eigens dazu legte im Februar dieses Jahres die Regierung eben jenen Entwurf einer Rechtsnorm mit dem etwas sperrigen Namen „Gesetz zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht“ vor. Ende März nickte der Deutsche Bundestag bereits die Umsetzung eines Teils des ►

## DATEN SCHÜTZEN

Auf der einen Seite sollen zur Optimierung des Betriebs der öffentlichen Netze und zur Minimierung des Stromverbrauchs die Energieverbraucher zukünftig über eine digitale Haustür namens Smart-Meter-Gateway von außen den Zutritt zu ihren internen smarten Ausstattungen zulassen, auf der anderen Seite warnt die Bundesregierung davor, keine Sicherheitsschlösser einzubauen. Markus Richter, Staatssekretär im Bundesministerium des Innern sowie Beauftragter der Bundesregierung für Informationstechnik, und Arne Schönbohm, Präsident des Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI), starteten am 22. März eine auf zwei Jahre angelegte Informations- und Sensibilisierungskampagne zur IT-Sicherheit für Verbraucherinnen und Verbraucher. Ziel der mehrstufigen Aktion ist es, das Bewusstsein für die Gefahren im Netz zu erhöhen und zugleich Wege aufzuzeigen, wie sich jeder Einzelne effektiv schützen kann. „Ein Smart-Home kann Ihnen beispielsweise helfen, Energie zu sparen, indem sich die Heizung beim Öffnen des Fensters automatisch ausschaltet (...). Ein viel genutztes Einfallstor für Angreifer sind allerdings an das Internet angeschlossene Geräte, die keinen Passwortschutz besitzen. Verbinden Sie am besten Ihr Smarthome nur mit dem Internet, wenn ein Fernzugriff unbedingt notwendig ist ...“ Die Kampagne „Einfach-absichern“ streut zu den Möglichkeiten des Absicherns gegen Cyberkriminalität und Datenmissbrauch unter anderem Spots in die Sozialen Medien, verschickt Flyer und betreibt Aufklärung über die eigene Plattform: [www.einfach-absichern.de](http://www.einfach-absichern.de)



Online-Auftaktveranstaltung am 22. März

Inhalts des EU-Legislativpakets „Saubere Energie für alle Europäer“ ab. Der europäische Erlass umfasst vier Richtlinien und vier Verordnungen. Zu den Richtlinien gehören die EU 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, die EU 2012/27 zur Energieeffizienz sowie die EU 2019/944. Die Letzte verpflichtet die Mitgliedsstaaten, Hemmnisse abzubauen, die Verbraucher daran hindern, Elektrizität selbst zu erzeugen, zu verbrauchen, zu speichern oder zu vermarkten. Die Verteilnetzbetreiber sollen Strom aus erneuerbaren Quellen und neue Lasten wie zum Beispiel aus Wärmepumpen oder Elektrofahrzeugen kosteneffizient integrieren. Die zusätzlichen vier Verordnungen regeln vornehmlich den Strombinnenmarkt. Der Parlamentsentwurf ermächtigt zur Anpassung des deutschen Rechts an das überarbeitete europäische Recht und formuliert gleich Änderungen und Paragraphen zur Übernahme in die betroffenen Gesetze aus.

Die Anpassung betrifft in erster Linie das Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) und das KWK-Gesetz. Das gültige EnWG kennt den Begriff Wasserstoff überhaupt nicht. Es regelt lediglich Erdgas und Strom. Vornehmlich die Gaswirtschaft drängt darauf, Wasserstoffe in den Gasbegriff einzubeziehen, damit all das, was für Erdgas gilt, sich auch auf H<sub>2</sub> bezieht. Bisher ohne Erfolg. Berlin lehnt die Gleichstellung aus technischen und juristischen Gründen ab. Wasserstoff habe nun mal abweichende Eigenschaften. Das zukünftige EnWG behandelt deshalb das neue Produkt Wasserstoff als eigenständiges Medium. Das „Gesetz zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben...“ schreibt das mit dem einzufügenden Paragraphen 28 k ins Energiewirt-

schaftsgesetz vor: „Betreiber von Wasserstoffnetzen, die neben dem Betrieb von Wasserstoffnetzen weitere Tätigkeiten ausüben, haben zur Vermeidung von Diskriminierung und Quersubventionierung in ihrer internen Rechnungslegung ein eigenes Konto für die Tätigkeit des Betriebs von Wasserstoffnetzen zu führen ...“

## Lastvariable Tarife im EnWG

Die Distanz der Bundesregierung zu den Forderungen aus der Erdgasbranche hat die Konsequenz, dass die Kosten der Transformationen – der Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur – nicht die Gemeinschaft der Gasnutzer, sondern ausschließlich die Wasserstoffnutzer zu tragen haben. Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) sieht darin schon das Aus für eine breite Wasserstoffwirtschaft: „Der Aufbau einer zukunftsfähigen Wasserstoffinfrastruktur kann mit diesen Regelungen nicht gelingen“, heißt es in der Stellungnahme zum Gesetzentwurf, „eine solche zweigleisige Regulierung verhindert eine aufeinander abgestimmte Entwicklung von Gas- und Wasserstoffinfrastrukturen und setzt keinen verlässlichen Rahmen für Investoren und Marktteilnehmer.“

Mit dem Vorschriftenpaket „Saubere Energie für alle Europäer“ greift Brüssel des Weiteren in die Stromversorgung ein. Die Lieferanten verpflichtet die Kommission dazu, zukünftig lastvariable Stromtarife anbieten zu müssen. Dieser Auflage kommt die Novelle des EnWG in § 41a nach:

„(1) Stromlieferanten haben, soweit technisch machbar und wirtschaftlich zumutbar, für Letztverbraucher von Elektrizität einen Tarif anzubieten, der einen Anreiz zur Energie-

einsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzt. Tarife in diesem Sinne sind insbesondere lastvariable oder tageszeitabhängige Tarife...“

„(2) Stromlieferanten, die zum 31. Dezember eines Jahres mehr als 200 000 Letztverbraucher beliefern, sind im Folgejahr verpflichtet, den Abschluss eines Stromlieferungsvertrags mit dynamischen Tarifen für Letztverbraucher anzubieten, die über ein intelligentes Messsystem im Sinne des Messstellenbetriebsgesetzes (MsbG) verfügen. Die Stromlieferanten haben die Letztverbraucher über die Kosten sowie die Vor- und Nachteile des Vertrags umfassend zu unterrichten sowie Informationen über den Einbau eines intelligenten Messsystems im Sinne des Messstellenbetriebsgesetzes anzubieten.“

## Gericht gegen Bundesamt

Im Moment ist allerdings nicht absehbar, ab wann dieser Pflicht nachgekommen werden kann. Die vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zertifizierten und von der Industrie bereits ausgelieferten intelligenten Messsysteme hielten einer Qualitätskontrolle im Zug eines Verfahrens vor dem Oberverwaltungsgericht Münster nicht stand. Das stoppte den Smart-Meter-Rollout in Deutschland. Geklagt hatte ein privates Unternehmen aus Aachen, das ebenfalls Messsysteme vertreibt. Zudem sind beim 21. Senat des OVG noch etwa 50 gleichgelagerte Beschwerdeverfahren von Messstellenbetreibern, insbesondere Stadtwerken, anhängig. Zur

Begründung führt der Senat aus, dass die am Markt verfügbaren Produkte hinsichtlich der Funktionalitätsanforderungen nicht, wie gesetzlich vorgeschrieben, zertifiziert seien. Im Vorfeld hatten schon andere Institutionen die „geringe Interoperabilität“ bemängelt. Die vom BSI freigegebenen Systeme seien kaum in der Lage, mehr Messdaten zu liefern als bisher genutzte analoge Zähler. Das Bundesamt zeigte sich von der Entscheidung des OVG Münster überrascht, nachdem das Verwaltungsgericht Köln in der Vorinstanz noch zu seinen Gunsten entschieden hatte. Die Behörde kündigte an, die Entscheidungsgründe des OVG eingehend zu prüfen. Man hoffe, die Bedenken im noch anstehenden Hauptsacheverfahren umfassend entkräften zu können.

Das Verfahren bezog sich auf Produkte für erneuerbare Energieanlagen oberhalb von 25 KW. Das BSI hatte oder hat bisher erst diese Geräte getestet. Für PV- und KWK-Anlagen mit Leistungen zwischen sieben und 25 KW, die ebenfalls ausrüstungspflichtig sind, stehen, Stand Frühjahr 2021, überhaupt noch keine zertifizierten Messsysteme zum vorgeschriebenen Erfassen von lastvariablen Tarifen zur Verfügung. ■



Dipl.-  
Ing.  
Bernd  
Genath

ist Fachjournalist mit Büro in Düsseldorf.  
Bild: Autor

**reflex**

Thinking solutions.

# Reflex Solutions Pro

Die neue Generation des Reflex Auslegungstools

📄 **Kostenlos registrieren, Vorteile nutzen und eigene Projektdatenbank aufbauen**

📁 **Alle Produkte in einer Software – inkl. vollständiger Dokumentation**

## Solutions Pro

→ Jetzt registrieren: [rsp.reflex.de](https://rsp.reflex.de)

Reflex Winkelmann GmbH • Gersteinstraße 19 • 59227 Ahlen • [info@reflex.de](mailto:info@reflex.de)

Vergleichende Betrachtung

# Luftentfeuchtung durch Kondensation – Lufttrocknung durch Sorption

Die erste Frage, die sich dem HLK-Fachmann bei der Lösung eines Problems aus dem Bereich der Luftentfeuchtung beziehungsweise Trocknung stellt, ist jene nach der Auswahl des geeigneten Entfeuchtungssystems. Die Luftentfeuchtung durch Kondensation und die Trocknung der Luft durch Sorption stellen im Bereich der Gebäudetechnik etablierte und bewährte Technologien dar. Beide Systeme weisen jedoch physikalisch bedingte, spezielle Charakteristika im Betrieb auf und sind somit nicht gleichermaßen für jede Anwendung geeignet.

TEXT: Dipl. Ing. (FH) Klaus Achenbach

**B**eispielsweise dürfte der Versuch, Vereisung in einem Tiefkühlager mit Hilfe eines Kondensationsentfeuchters zu vermeiden, erfolglos bleiben, während der Einsatz eines Adsorptionstrockners zur Entfeuchtung eines Schwimmbads aus technisch- und energetischer Sicht vollkommen übertrieben wäre. Im folgenden Artikel sollen die Unterschiede zwischen der Entfeuchtung durch Kondensation und Trocknung durch Sorption erklärt sowie Einsatzgrenzen und mögliche Energieeinsparpotenziale aufgezeigt werden. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf professionelle Systeme, wie sie in der Gebäudetechnik zum Einsatz kommen. Mobile Luftentfeuchter für den Privatbereich, Bautrocknung et cetera sind nicht Gegenstand der Betrachtung. Ausführungen zu thermodynamischen Grundlagen und Auslegungshinweise würden den verfügbaren Rahmen dieses Artikels übersteigen. Tiefgehende Infor-

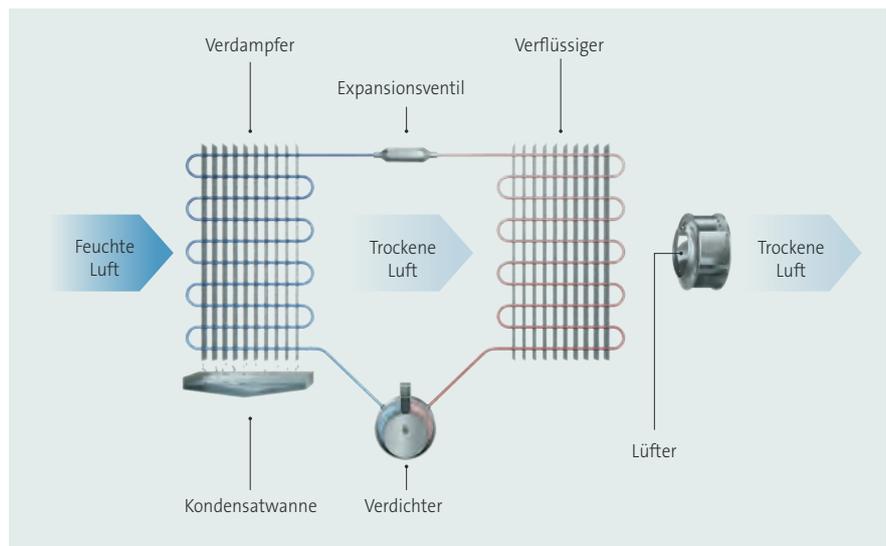


Bild 1: Aufbau und Funktionsweise eines Kondensations-Luftentfeuchters. Grafik: Condair

mationen zu der Thematik finden sich im „Planungsleitfaden Luftentfeuchtung“, den die Condair GmbH dem interessierten Leser gerne auf Anfrage kostenlos zur Verfügung stellt.

## Luftentfeuchtung durch Kondensation

In der Natur und in unserem Alltag finden sich viele Beispiele für die Kondensa-

tion von in der Luft enthaltener Feuchtigkeit auf kalten Oberflächen. Beispiele hierzu sind unter anderen:

- Tautropfen auf Grashalmen in den frühen Morgenstunden im Sommer.
- Kondensation auf Wänden und Fensterflächen von Hallenbädern.
- Beschlagen von Getränkeflaschen und Gläsern mit kalten Getränken im Sommer.

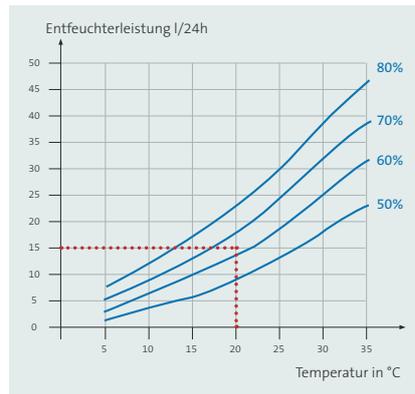
Bei der Luftentfeuchtung durch Kondensation wird dieser natürliche Vorgang mit Hilfe einer Kältemaschine technisch nachvollzogen. Das Auskondensieren des in der Luft enthaltenen Wassers wird hierbei durch die Abkühlung der feuchten Luft unter den Taupunkt technisch erzwungen, indem der Luftstrom über die kalte Oberfläche eines Wärmetauschers geführt wird.

**Aufbau und Funktionsweise**

Kernkomponente eines jeden Kondensations-Luftentfeuchters ist ein geschlossener Kältekreis, welcher nach dem Wärmepumpenprinzip arbeitet. Der allgemeine Aufbau eines Kondensationsentfeuchters ist in **Bild 1** dargestellt. Im Luftentfeuchter saugt ein Ventilator die feuchte Umgebungsluft an, welche zunächst einen Filter passiert, bevor sie den Verdampfer-Wärmetauscher des Kältekreises durchströmt. An der kalten Oberfläche des Verdampfers wird sie unter ihren Taupunkt abgekühlt, wobei beim ersten Durchgang des Luftstroms durch den Wärmetauscher 2-3 g/kg Wasserdampf auskondensieren. Das Kondensat wird im Luftentfeuchter in einer entsprechenden Wanne aufgefangen und entweder direkt in den Abfluss geleitet oder in einem regelmäßig zu entleerendem Tank aufgefangen. Anschließend durchströmt der nun entfeuchtete Luftstrom den Verflüssiger-Wärmetauscher, wo er durch die Kondensationswärme des Kältekreises erwärmt wird. Auch die Abwärme des Lüfters und des Verdichters werden teilweise von dem über den Entfeuchter geführten Luftstrom aufgenommen. Dadurch bedingt ist die entfeuchtete, dem Raum zugeführte, Luft stets etwas wärmer als beim Eintritt in den Entfeuchter.

**Leistungscharakteristika und Betriebsgrenzen**

Die erreichbaren Werte für die Luftfeuchte werden bei Kondensations-Luftent-



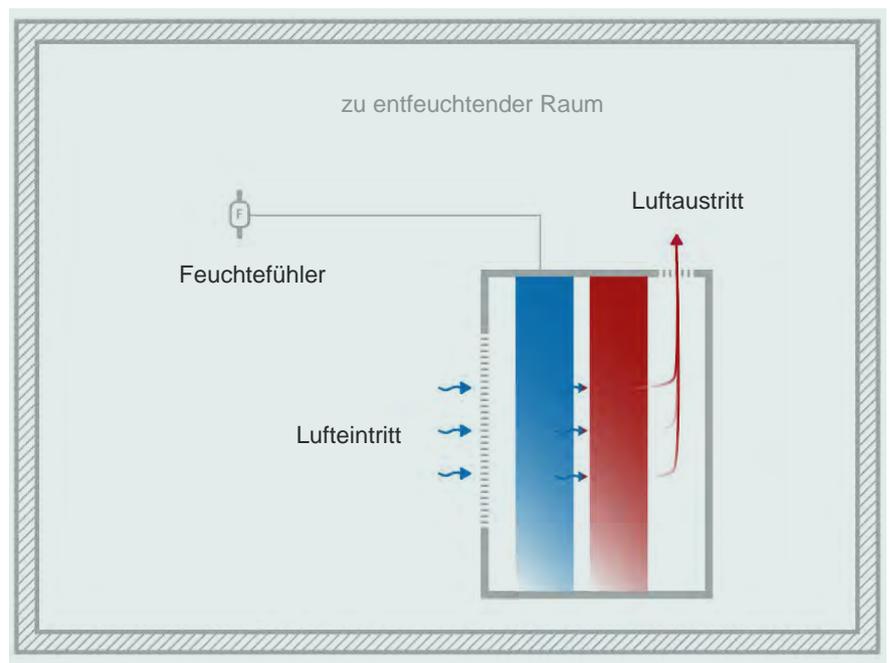
**Bild 2:** Leistungscharakteristik eines Kondensations-Luftentfeuchters (Beispiel). Grafik: Condair

feuchtern primär durch die Eigenschaften des eingesetzten Kältemittels (Druck, Temperatur) sowie dem konstruktiven Aufbau des Verdampfer-Wärmetauschers (Bypass-Faktor) definiert. Allgemein gilt, dass Kondensationsentfeuchter in Temperaturbereichen zwischen etwa + 10 und + 36 °C sinnvoll und wirtschaftlich eingesetzt werden können, bei einer erreichbaren relativen Feuchte von rund 45 Prozent. Bei der Auswahl von Kondensations-Luftentfeuchtern ist demnach zu beachten, dass deren Entfeuchtungskapazität stark von der Raumlufttemperatur abhängt. **Bild 2** zeigt ein Beispiel für die sich verändernden Entfeuchtungskapazitäten eines Kondensations-Luftentfeuchters in Abhängigkeit der Soll-Feuchte und der Temperatur.

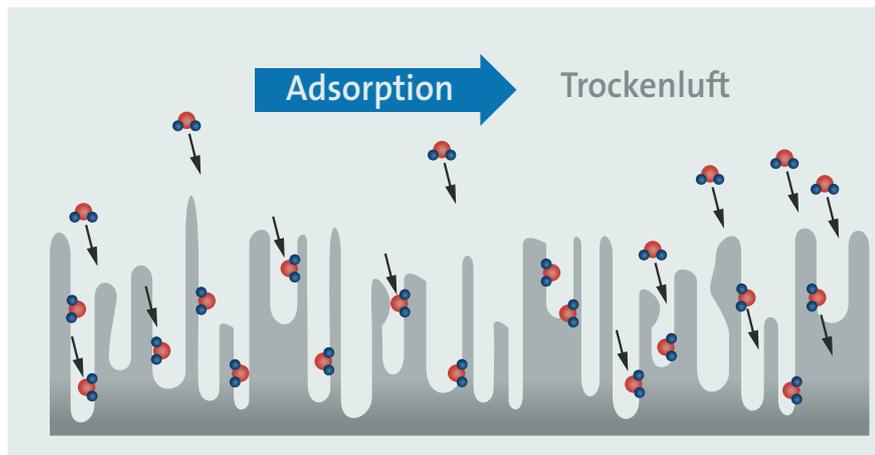
Bei niedriger Temperatur der zu entfeuchtenden Raumluft kann es zu Reif- und Eisbildung auf dem Verdampfer-Wärmetauscher kommen, da dessen Oberflächentemperatur dann auf einige Grad unter Null absinkt. Kondensations-Luftentfeuchter verfügen daher über eine Abtaulogik zur Enteisung der Verdampfer-Oberfläche. Diese erfolgt heutzutage meist bedarfsgesteuert über einen Abtausensor, der bei Anforderung über Aktivierung eines Umschaltventils die Umleitung des, vom Verdichter erzeugten Heißgases, über den Verdampfer auslöst. Dies wird bei der späteren Darstellung der Einsatzbereiche noch eine Rolle spielen (**Bild 3**).

**Lufttrocknung durch Sorption**

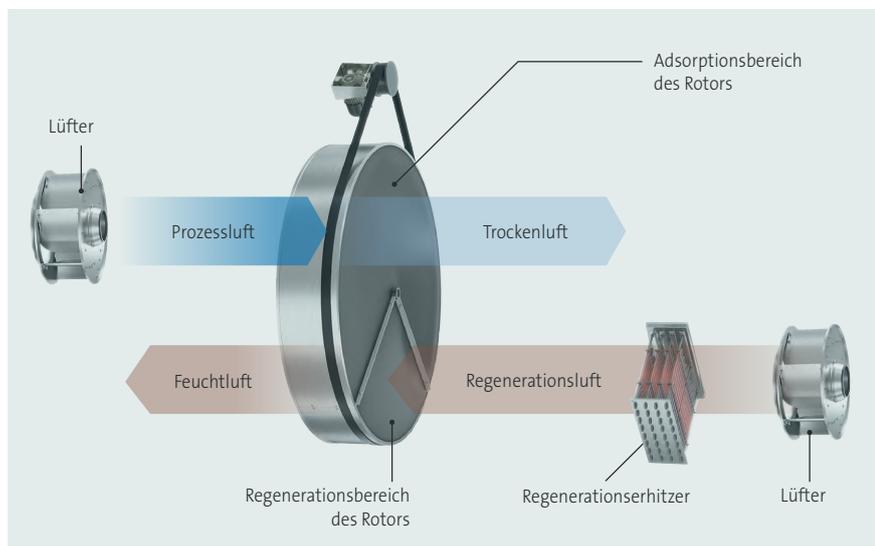
Das Prinzip der Sorption beruht auf der Eigenschaft hygroskopischer Materialien, Wasserdampf an ihrer Oberfläche zu binden. Diese hygroskopischen Stoffe weisen in der Regel eine große innere Oberfläche in Größenordnungen zwischen 600 und 800 m<sup>2</sup>/g auf. Aufgrund des enorm niedrigen Wasserdampfpartialdrucks in der direkten Umgebung dieser Stoffe diffundiert Wasserdampf aus Gebieten höheren Partialdrucks (in diesem Falle aus der Umgebungsluft) in jene niedrigeren Partialdrucks (Sorptionmittel). Der vorliegende Artikel beschränkt sich auf Adsorption mittels Silicagel, da diese Technologie im Bereich der Gebäudetechnik fast ▶



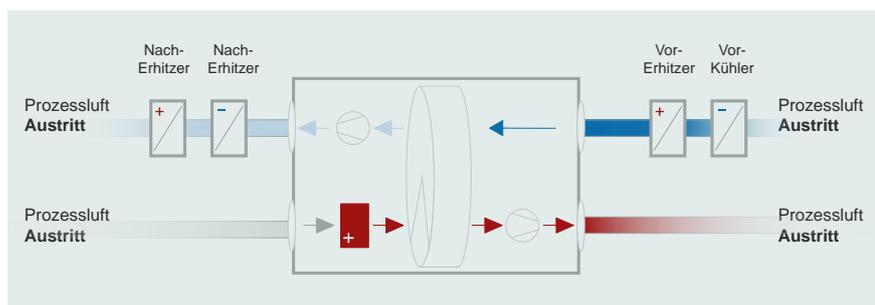
**Bild 3:** Kondensations-Luftentfeuchter im Umluftbetrieb. Grafik: Condair



**Bild 4:** Prozess der Adsorption/Desorption am Sorptionsrotor. Grafik: Condair



**Bild 5:** Aufbau und Funktionsweise eines Adsorptionstrockners. Grafik: Condair



**Bild 6:** Trocknungssystem mit zusätzlichen Kühl- und Heizregistern. Grafik: Condair

ausschließlich eingesetzt wird. Auch Beispiele für den Wasserdampfentzug durch hygroskopische Eigenschaften bestimmter Stoffe begegnen uns täglich:

- Verklumpen von Salz und Zucker.
- Wasseraufnahme- und Abgabe von Holz.
- Kleine Silicagelbeutel in der Verpackung feuchteempfindlicher Waren, zum Beispiel Unterhaltungselektronik, Kleidung.

### Aufbau und Funktionsweise

Kernkomponente eines jeden Sorptions-trockners ist der Adsorptionsrotor. Dieser besteht, je nach Hersteller, aus einer meist gewellten und fein lamellierten Speicher-masse mit einer enormen inneren Oberfläche, auf welcher das stark hygroskopischen Silicagel aufgebracht ist. Der Gesamtquerschnitt des Rotors ist in einen Trocknungssektor, welcher drei Viertel

der Gesamtoberfläche einnimmt, und einen Regenerationssektor einem Viertel der Rotor-Oberfläche eingeteilt. Die Sektoren sind hierbei gegeneinander abgedichtet. Der zu trocknende, feuchte Luftstrom (Prozessluft) wird über einen Lüfter angesaugt und durch den Adsorptionsrotor geleitet, welcher über einen Motor in eine gleichmäßige, langsame Drehung versetzt wird. Der Trocknungssektor des Rotors wird kontinuierlich von dem zu trocknenden Luftstrom durchströmt. Hierbei wird der darin enthaltene Wasserdampf zum größten Teil adsorbiert.

Der nun im Trocknungssektor des Rotors enthaltene Wasserdampf muss natürlich wieder entfernt werden, um die Sorptionskapazität des Silicagels wiederherzustellen und um somit einen kontinuierlichen und unterbrechungsfreien Trocknungsprozess aufrecht zu erhalten. Dies geschieht im Regenerationssektor, der dazu im Gegenstrom von der Regenerationsluft, welche zuvor über ein Regenerationsregister auf etwa 120 °C erhitzt wurde, durchströmt wird.

Durch das Erwärmen fällt die relative Feuchte der Regenerationsluft auf weniger als ein Prozent. Der adsorptiv im Rotor gebundene Wasserdampf wird wieder ausgetrieben, es findet also eine Desorption statt. Der ausgetriebene Wasserdampf wird mit dem Feuchtluftstrom nach außen abgeführt. Das für die Regeneration benötigte Luftvolumen beträgt etwa 25 Prozent des Prozessluftstroms. **Bild 4** verdeutlicht den Prozess der Adsorption- und Desorption.

Bei kleinen Adsorptionstrocknern erfolgt die Regenerationserhitzung stets elektrisch. Bei größeren Aggregaten besteht die Möglichkeit zur ganz- oder teilweisen Nutzung verschiedener Medien zur Regeneration, welche in einem späteren Abschnitt näher erläutert werden. **Bild 5** zeigt den Aufbau und die Funktionsweise eines Adsorptionstrockners.

Der Prozess der Adsorption/Desorption kann beliebig oft wiederholt werden, ohne dass der Wirkungsgrad des Sorptionsmittels nennenswert beeinträchtigt wird. Die Adsorptionsfähigkeit des Silicagels ist so hoch, dass bei entsprechender Anlagenkonfiguration Taupunkte von bis zu -70 °C erreicht werden können.

Zum Erreichen derart niedriger Restfeuchten müssen gegebenenfalls zusätzliche Oberflächenkühler vorgeschaltet werden. Zur Regelung der gewünschten Zulufttemperatur können die Trockner

mit Vor- und Nachkühlern sowie Erhitzenmodulen ausgestattet werden. Je nach Gerätegröße werden die Trockner bereits werkseitig mit den erforderlichen Kühl-/Heizmodulen ausgestattet oder deren Montage erfolgt bauseitig. In **Bild 6** ist ein vollständiges Trocknungssystem, wie es oft in der Pharma-, Lebensmittel- oder Chemieindustrie zum Einsatz kommt, dargestellt.

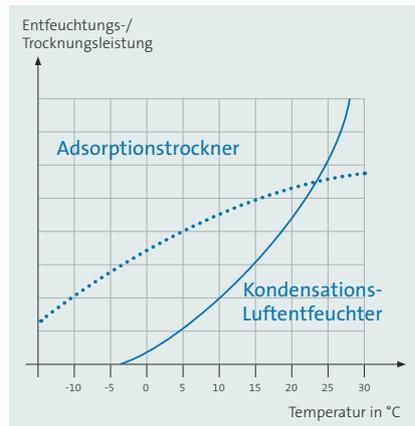
### Leistungscharakteristika und Betriebsgrenzen im Vergleich

Wie bereits beschrieben, ist der Einsatzbereich von Kondensations-Luftentfeuchtern durch die Systemgrenzen des jeweils genutzten Kältemitteltyps limitiert. Zudem bedingt die regelmäßige Aktivierung der Abtaufunktion zum Schutz vor Vereisung, mehr oder weniger häufige Unterbrechungen des Entfeuchtungsbetriebes, was zu kurzzeitigen Schwankungen der Raumluftfeuchte führen kann.

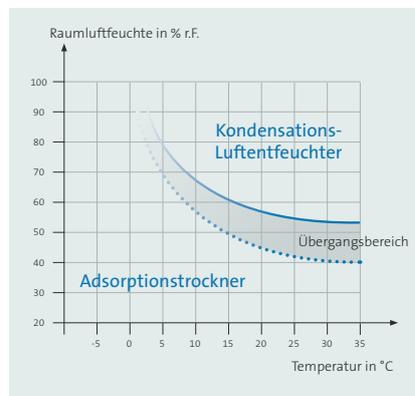
Adsorptionstrockner unterliegen diesen Beschränkungen hinsichtlich Temperatur und Feuchte weit weniger stark, und gewährleisten einen permanenten, unterbrechungsfreien Trocknungsbetrieb auch bei niedrigen Temperaturen. Durch den tiefen Taupunkt, den Adsorptionstrockner erreichen können, wird das Erzielen minimalster Restfeuchten möglich. **Bild 7** und **Bild 8** veranschaulichen sowohl die Betriebscharakteristika als auch die Einsatzgrenzen beider Systeme.

Zu beachten ist jedoch, dass die spezifische Leistungsaufnahme von Adsorptionstrocknern systembedingt stets höher ist als jene von Kondensations-Luftentfeuchtern. Grund hierfür ist die mit 120 °C recht hohe Temperatur, die zur Regeneration des Rotors benötigt wird. Sie sollten daher dort eingesetzt werden wo besonders niedrige Restfeuchten (< 6 g/kg) oder niedrige Umgebungstemperaturen den entsprechenden Energieaufwand rechtfertigen oder Kondensations-Luftentfeuchter die geforderte Entfeuchtungsaufgabe systembedingt nicht lösen können.

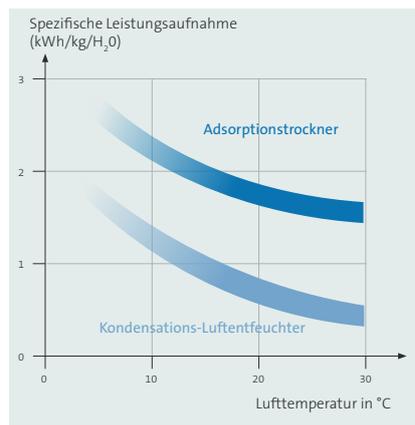
In **Bild 9** ist ein grober Vergleich hinsichtlich der spezifischen Leistungsaufnahme von kältemittelbetriebenen Kondensationsentfeuchtern gegenüber Adsorptionstrocknern mit rein elektrisch betriebener Regeneration dargestellt. Wie man dem Diagramm entnehmen kann, ist die spezifische Leistungsaufnahme (in



**Bild 7:** Betriebscharakteristika Kondensations-Luftentfeuchter und Adsorptionstrockner. Grafik: Condair



**Bild 8:** Einsatzbereich Temperatur / Feuchte. Grafik: Condair



**Bild 9:** Spezifische Leistungsaufnahmen nach Thiekötter. Grafik: Condair

kWh pro kg entzogenem Wasser) bei Adsorptionstrocknern stets höher als bei Kondensations-Luftentfeuchtern. Insbesondere bei größeren Anlagen bestehen durch Einbeziehung alternativ verfügbarer Wärmeträger erhebliche Einsparpotenziale, welche später noch näher beschrieben werden.

### Anforderungen an die Installation

Neben den, in den vorherigen Abschnitten dargestellten Unterschieden in Funktionsweise und Betrieb, ergeben sich auch systemspezifische Anforderungen an die Installation, welche bei der Auswahl des passenden Entfeuchtungssystems beachtet werden sollten. Kondensations-Luftentfeuchter werden in der Regel im Umluftbetrieb eingesetzt. Je nach örtlicher Erfordernis können sie frei ausblasend im Raum aufgestellt werden oder die Luftverteilung kann über Lüftungskanäle erfolgen. Darüber hinaus sind Truhengeräte zur Wand- und Hinterwandmontage sowie zur Montage unter der Decke erhältlich. Sofern es sich nicht um Kleingeräte wie zum Beispiel zur Bautrocknung handelt, verfügen Adsorptionstrockner hingegen systembedingt über vier Anschlüsse, welche im Hinblick auf einen ordnungsgemäßen Betrieb alle separat verrohrt werden müssen. Dies sind:

- Prozesslufteingang: Anschluss des Luftstroms, welcher aus dem Raum beziehungsweise Prozess entnommen und getrocknet werden soll.
- Prozessluftausgang: Anschluss für den getrockneten Luftstrom, welcher dem Raum beziehungsweise Prozess nach Durchlaufen des Trockner wieder zugeführt wird.
- Regenerationslufteingang: Anschluss für die von außen entnommene Luftmenge, die zur Regeneration des Rotors benötigt wird.
- Feuchtluftausgang: Anschluss für die, nach Durchlauf durch den Trockner entsprechend sehr feuchte und warme Regenerationsluft, welche zwingend nach außen abgeführt werden muss.

Der erforderliche Aufwand für die Führung und Installation der Lüftungskanäle sollte daher unbedingt von Anfang an bei Auswahl und Planung des Entfeuchtungssystems berücksichtigt werden.

### Energieeffizienz

Nachdem nun die Funktionsweise und die Besonderheiten der beiden, im HLK-Bereich hauptsächlich zum Einsatz kommenden Entfeuchtungstechnologien vorgestellt wurden, wenden wir uns dem immer wichtiger werdenden Thema der Energieeffizienz zu. Wie für alle

Luftbehandlungsfunktionen ist auch für die Entfeuchtung/Trocknung die Aufwendung externer Energie notwendig, zu meist in der, vor allem in Deutschland ganz besonders teuren Form der elektrischen Energie. Durch verschiedene Maßnahmen, welche früh im Planungsprozess berücksichtigt werden sollten, lassen sich die entsprechenden Kosten für die notwendigen Energieaufwendungen jedoch erheblich reduzieren.

**Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Kondensationsentfeuchtern**

Der erste Ansatzpunkt zur Optimierung des Energiebedarfs liegt bei Kondensationsentfeuchtern in der Auswahl des, für den Betrieb günstigsten Temperaturbereiches. Wie aus den zuvor dargestellten Diagrammen ersichtlich, liegt der optimale Betriebspunkt für Kondensationsentfeuchter in einem Temperaturbereich oberhalb von 10 °C. Sofern die Umgebungstemperatur dauerhaft darunter liegt, wird sich das Gerät recht oft in einem recht langen Abtaumodus befinden und arbeitet dementsprechend nicht mehr effizient. Ein Adsorptionstrockner würde hier zwar grundsätzlich zunächst eine hö-

here Leistungsaufnahme aufweisen, was allerdings durch die vergleichsweise höhere Entfeuchtungskapazität bei diesen niedrigen Temperaturen und die dadurch entsprechend geringeren Betriebszeiten mehr als ausgeglichen wird. Andererseits wird ein Kondensationsentfeuchter bei Temperaturen um 20 °C und höher selten bis gar nicht in den Abtaumodus schalten und arbeitet daher in diesem Temperaturbereich äußerst effizient. Je nach Anwendung, zum Beispiel bei der Entfeuchtung eines Schwimmbades, kann die Abwärme des Kältekreislaufes sinnvoll zur Unterstützung der Raumheizung oder, mittels Wärmetauscher, zur Beckenwassererwärmung genutzt werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Betriebszeit und der damit verbundenen Einsparung elektrischer Energie stellt die optimale Auswahl des Regelungskonzepts in Abhängigkeit der Anwendung dar. Sofern die Aufgabenstellung lautet, kalte Oberflächen (zum Beispiel von kalten Medien durchflossene Rohrleitungen oder Behälter) vor Kondensation zu schützen, kann anstatt einer Raumfeuchterege lung mittels Raumfeuchtefühler (Hygrostat) eine taupunktgeführte Regelung über einen Oberflächenfühler in Betracht gezogen werden. Derart gere-

gelt, werden die Luftentfeuchter nur dann aktiviert, wenn eine Kondensatbildung durch Taupunktunterschreitung auf den zu schützenden Flächen droht. Die Betriebszeiten des Entfeuchters werden, im Gegensatz zu einer permanenten und für diesen Anwendungsfall nicht notwendigen Absenkung der Raumluftfeuchte, erheblich reduziert, was zu einer enormen Energieeinsparung führt.

**Energie-Einsparpotenziale beim Betrieb von Adsorptionstrocknern**

Die hohen Temperaturen, die bei Adsorptionstrocknern zur Regeneration des Sorptionsmittels aufgebracht werden müssen, gehen naturgemäß mit einer entsprechend hohen elektrischen Leistungsaufnahme einher. Größere Anlagen, bei denen dieser Aspekt besonders wichtig ist, bieten hierzu die Möglichkeit, weitere Medien, welche insbesondere im industriellen Bereich ohnehin meist bereits verfügbar sind, als Wärmeträger ganz oder teilweise zu nutzen. Eine solche Möglichkeit sollte bei der Planung grundsätzlich geprüft werden. Im Einzelnen ergeben sich als Alternative zu beziehungsweise Unterstützung einer rein elektrischen Regeneration die im Nachfolgenden aufgeführten Möglichkeiten:

- Nutzung eines vorhandenen Dampf- oder Heißwassernetzes: In vielen Industriebetrieben sind Dampf- und Heißwassernetze verfügbar, welche zur Regeneration genutzt werden können.
- Erdgas: Falls eine Versorgung mit Erdgas verfügbar ist, kann der für die Regeneration erforderliche Luftstrom über einen Gasbrenner erhitzt werden.
- Kombination aus Elektro- und PWW-Heizregister: Die üblichen Systemtemperaturen eines PWW-Netztes sind zum Erreichen der zur Regeneration notwendigen Temperaturen nicht ausreichend. Jedoch können PWW-gespeiste Wärmetauscher mit einem elektrisch betriebenen Regenerationserhitzer kombiniert werden. Dieser kann entsprechend kleiner ausfallen und die elektrische Leistungsaufnahme reduziert sich hierdurch erheblich. Zu beachten ist hierbei, dass das PWW-Netz ganzjährig, ohne Unterbrechung zur Verfügung stehen muss.
- Kombination aus Elektro- mit Dampf- oder Heißwasser-Heizregister: Wie bereits für die Hybrid-Lösung unter

	Kondensations-Luftentfeuchter	Adsorptionstrockner
Entfeuchtungsprinzip	Kältekreislauf	Sorptionsrotor
El. Leistungsaufnahme	gering, temperaturabhängig	hoch bis sehr hoch, konstant
Raumerwärmung	gering bis mäßig	hoch
Lüftungsinstallation erforderlich	je nach Anwendung	ja
Erzielbare rel. Feuchten	etwa 50 Prozent r.F.	bis ein Prozent
Einsatztemperaturbereich	+ 5 bis + 36 °C	- 20 bis + 35 °C
Betriebsweise	mobil oder stationär	in der Regel stationär
Luftumwälzung	hoch	gering
Entfeuchtungsleistung bei hohen Temperaturen	hoch	hoch
Entfeuchtungsleistung bei niedrigen Temperaturen	gering	hoch
Spez. Leistungsaufnahme kW / kgH <sub>2</sub> O Kondensat	0,8 - 1,5	1,3 - 3,0

Tabelle 1: Allgemeine Betriebsgrenzen / Merkmale Kondensations-Luftentfeuchter und Adsorptionstrockner.

Einbeziehung eines PWW-Netzes beschrieben, können auch Dampf- oder Heißwassernetze mit einem elektrischen Regenerations-Heizregister kombiniert werden. Dies bietet sich dann an, wenn zwar Dampf- oder Heißwasser verfügbar sind, deren Konditionen aber nicht zu einer vollständigen Regeneration ausreichen.

Ebenso trägt eine präzise und anwendungskonforme Regelungslogik zu erheblichen Energieeinsparungen bei. Hier sei nochmals auf die bereits beschriebene Taupunktregelung hingewiesen, über welche sowohl Kondensations-Luftentfeuchter als auch Adsorptionstrockner äußerst effizient betrieben werden können, sofern es die entsprechende Anwendung erlaubt.

## Fazit

Im vorliegenden Artikel wurden die grundsätzlichen Unterschiede der Luftentfeuchtung mittels Kondensation und der Lufttrocknung durch Sorption dargestellt sowie auf wichtige Aspekte, welche

möglichst früh in der Planung, bei Auswahl der geeigneten Technologie zu beachten sind, hingewiesen.

Die Eignung für bestimmte Anwendungen ergibt sich aus den physikalisch bedingten Systemgrenzen und Betriebscharakteristika, sodass stets eine individuelle Beurteilung erfolgen muss. **Tabelle 1** stellt nochmals die wichtigsten Eigenschaften beider Systeme gegenüber, was eine erste Vorauswahl in Abhängigkeit der zu lösenden Aufgabe erleichtern soll. Die Daten in der Tabelle beziehen sich auf Standardgeräte, projektspezifisch ausgelegte Sondergeräte können deutlich andere Betriebscharakteristika und Leistungswerte aufweisen.

Zusammenfassend kann allgemein festgehalten werden, dass Kondensations-Luftentfeuchter in einem Temperaturbereich  $> 10\text{ °C}$  sehr effektiv und effizient arbeiten. Hierbei ist eine relative Feuchte von etwa 50 Prozent erreichbar. Darunterliegende Restfeuchten sind zwar technisch erzielbar, werden von den Herstellern meist aber nicht garantiert. Somit kann eine Vielzahl von Entfeuchtungsauf-

gaben, insbesondere in den Bereichen Produktlagerung, Korrosionsschutz, Archive und Wellness durch den Einsatz von Kondensations-Luftentfeuchtern zuverlässig gelöst werden.

Wann immer jedoch dauerhaft niedrige Temperaturen  $< 10\text{ °C}$  vorherrschen, niedrige absolute Feuchten von  $< 6\text{ g/kg}$  zu erzielen sind sowie ein stets gleichmäßiger, unterbrechungsfreier Entfeuchtungsbetrieb gefordert wird, ist eine entsprechende Lösung der Aufgabenstellung nur durch den Einsatz von Adsorptionstrocknern möglich. Dies ist vor allem in industriellen Produktions- und Verpackungsprozessen sowie im Bereich der Tiefkühlagerung der Fall. ■



Dipl. Ing. (FH)  
Klaus  
Achenbach

ist Market Development  
Manager Central Europe  
bei der Condair GmbH,  
Garching.  
Bild: Condair

# LÜFTEN IN DER SCHULE

**ERFRISCHEND EINFACH.**  
EINFACH INTEGRIEREN UND BEDIENEN.



Das dezentrale Lüftungsgerät **WIVENT-B** ist ideal für Schulen:

- beseitigt Kontaminationen wie CO<sub>2</sub>, VOC und luftgetragene Partikel
- bedarfabhängige Lüftung mittels CO<sub>2</sub>-Sensor
- energieeffizienter Lüftungsbetrieb

SPRECHEN SIE UNS AN: T +49 4951 950-330 | WILDEBOER.DE

**WILDEBOER®**



DEZENTRALE LÜFTUNG

## Teil 2: Atemluftqualität bei quellluftartiger Luftführung

# Infektionsschutz durch Lüftungsgeräte und Luftreiniger

Im ersten Teil dieses Beitrags (HLH Bd. 72 (2021) Nr. 4, S. 50-55) wurden Herausforderungen bei der experimentellen Bewertung des aerogenen Infektionsrisikos durch eine Messung der Aerosol- beziehungsweise Partikel-Konzentration in der Raumluft aufgezeigt. Darauf aufbauend wird nachfolgend anhand von Strömungsvisualisierungen und Spurengasmessungen gezeigt, dass bei einer quellluftartigen Luftführung ein größerer Teil der Zuluft direkt in die Atemzonen der Raumnutzenden transportiert werden kann.

TEXT: Dr.-Ing. Michael Schaub, Dr.-Ing. Konrad Bamberger, Dennis Derwein, Dr.-Ing. Kai Rewitz und Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

Im Verlauf der Corona-Pandemie wurden verschiedene theoretische Bewertungsverfahren vorgestellt [1], [2], die eine Klassifizierung von unterschiedlichen Aufenthaltsräumen hinsichtlich des absoluten oder relativen Risikos für eine aerogene Infektion mit COVID-19 oder anderen grippeähnlichen Erkrankungen ermöglichen. Wie bereits im ersten Teil dieses Beitrags [5] erläutert, geht aus den genannten Methoden hervor, dass eine Reduktion des Infektionsrisikos insbesondere durch eine Verringerung der Konzentration von potenziell virenhaltigen Aerosolen in der Atemluft erfolgen kann. Die Bilanzierungen gehen vereinfachend von einer ideal durchmischten Raumluft aus, es wird jedoch auf die Relevanz der tatsächlich zu erwartenden lokalen Lüftungswirksamkeit hingewiesen. Dabei ist Letztere entschei-

dend für den eigentlichen Nutzen, das heißt, die Verringerung des Infektionsrisikos mit Hilfe einer maschinellen Frischluftzufuhr oder Luftreinigung.

So beruht beispielsweise das Prinzip der idealen Mischlüftung auf einer Verdünnung aller Belastungen in der Raumluft, wohingegen zum Beispiel bei Quelllüftung oder einer personennahen Luftzufuhr (englisch: personal ventilation) möglichst viel frische beziehungsweise gereinigte Luft direkt in die Atemzone transportiert werden soll.

Ziel dieses Beitrags ist es daher, die Belastung der Atemluft mit potenziell virenhaltigen Aerosolen bei Verwendung einer quellluftartigen Luftführung im Vergleich zur idealen Mischlüftung aufzuzeigen. Dazu wurde der Transport von Zuluft in die Atemzonen der Raumnutzenden sowohl qualitativ mit Hilfe von Strömungsvisuali-

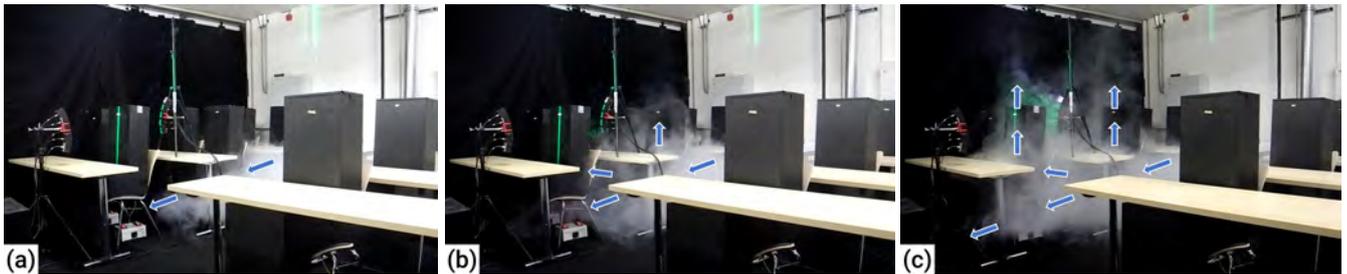
sierungen als auch quantitativ auf der Basis von Spurengasmessungen untersucht.

## Quellluftartige Luftführung

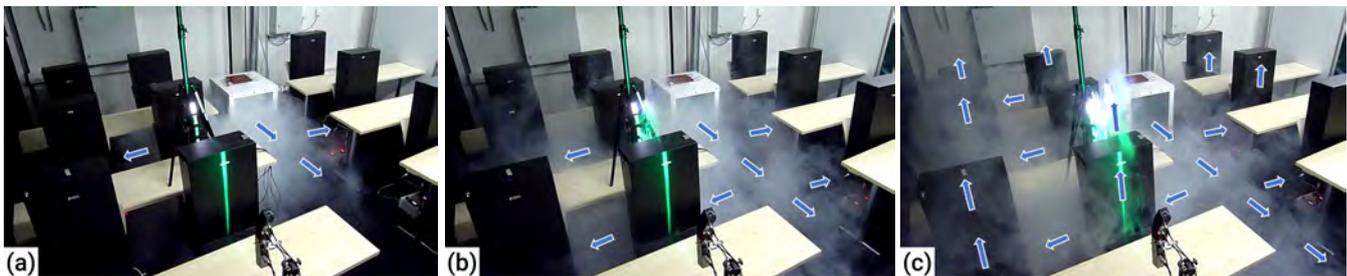
Betrachtet wurde ein hybrides Lüftungs- und Luftreinigungssystem der Viessmann Climate Solutions SE (Vitovent 200-P, Kasten). Das Gerät kombiniert eine Außenluftzufuhr von bis zu 400 m<sup>3</sup>/h mit einer zusätzlichen Umluft-Reinigung (Sekundärluft-Reinigung) von bis zu 400 m<sup>3</sup>/h. Dabei bewirkt die im Außenluftanteil integrierte Wärme- und Feuchterückgewinnung in der dem Raum zugeführten Gesamtluftmenge von bis zu 800 m<sup>3</sup>/h je nach Temperaturrandbedingungen eine geringe Untertemperatur von etwa 1 bis 3 K im Vergleich zur Raumluft. Die Luftzuführung in den Raum erfolgt mit einer vergleichsweise geringen Aus-



**Bild 1:** Visualisierung der Frischluftsee-Ausbreitung im Feldversuch bei einer Luftmenge von etwa  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  und einer Untertemperatur von etwa  $1 \text{ K}$ ; (a) etwa  $50 \text{ s}$  – invasives Stadium, (b) etwa  $135 \text{ s}$  – konsolidierende Verdrängung, (c) etwa  $320 \text{ s}$  – vollständige Raumerfassung. Bilder: Viessmann Climate Solutions SE



**Bild 2:** Visualisierung der Quellluftströmung im Laborversuch bei einer Luftmenge von etwa  $20 \text{ m}^3/(\text{h Person})$  und einer Untertemperatur von etwa  $2 \text{ K}$ ; (a) etwa  $15 \text{ s}$  – invasives Stadium, (b) etwa  $25 \text{ s}$  – beginnende Auftriebsströmungen, (c) etwa  $45 \text{ s}$  – konsolidierende Verdrängung und ausgeprägte Auftriebsströmungen. Bilder: Viessmann Climate Solutions SE



**Bild 3:** Visualisierung der Quellluftströmung im Laborversuch bei einer Luftmenge von etwa  $30 \text{ m}^3/(\text{h Person})$  und einer Untertemperatur von etwa  $2 \text{ K}$ ; (a) etwa  $15 \text{ s}$  – invasives Stadium, (b) etwa  $30 \text{ s}$  – konsolidierende Verdrängung und beginnende Auftriebsströmungen, (c) etwa  $45 \text{ s}$  – ausgeprägte Auftriebsströmungen. Bilder: Viessmann Climate Solutions SE

trittsgeschwindigkeit von etwa  $0,2 \text{ m/s}$  nach dem Prinzip einer Quelllüftung, auch wenn die Untertemperatur der Zuluft im Vergleich zu üblichen Quellluftinstallationen durch den hohen Umluftanteil und die effiziente Wärmerückgewinnung teilweise geringer ausfällt.

## Strömungsvisualisierungen

Im Rahmen eines Feldversuchs in einem rund  $72 \text{ m}^2$  großen und etwa  $2,94 \text{ m}$  hohen Klassenzimmers der Hans-Viessmann-Schule in Frankenberg (Eder) im Oktober 2020 [5] wurde die Quellluftströmung des beschriebenen Lüftungs- und Luftreinigungsgeräts visualisiert. Dazu wurde ein Glykol-Dampfgemisch bei der maximalen Gesamtluftmenge von etwa  $800 \text{ m}^3/\text{h}$  in die Außenluftansaugung eingebracht und mit dem Umluftanteil

vermischt. Folglich repräsentiert das sichtbare Glykol-Dampfgemisch in **Bild 1** die Ausbreitung der frischen beziehungsweise gereinigten Zuluft.

Bild 1 zeigt beispielhaft, dass sich der Frischluftsee trotz einer im Versuchszeitraum verhältnismäßig geringen Untertemperatur der Zuluft gegenüber der Raumluft von etwa  $1 \text{ K}$  innerhalb von etwa fünf Minuten vollständig im unbelegten Klassenraum ausbreitet. Dabei ist ausgehend von den Quellluftdurchlassflächen des Vitovent 200-P zunächst eine gerichtete beziehungsweise invasive Ausbreitung entlang der freien Gänge zwischen den Tischreihen zu beobachten. Im Anschluss erfolgt eine konsolidierende Verdrängung der übrigen Raumluft in der Höhe der Aufenthaltszone. Eine Stabilisierung der Frischluftschicht kann aufgrund der fehlenden Wärmequellen nicht erfolgen.

Um eine Exposition der Schülerinnen und Schüler mit dem verwendeten Glykol-Dampfgemisch im laufenden Unterrichtsbetrieb zu vermeiden, wurden am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen zusätzlich Laborversuche zur Visualisierung einer vergleichbaren Quellluftströmung bei vorhandener Personenbelegung durchgeführt. Die Laborversuche fanden in einem Prüfraum mit einer Größe von etwa  $25 \text{ m}^2$  und einer lichten Raumhöhe von etwa  $2,67 \text{ m}$  statt. Im Prüfraum wurden während der Visualisierungen zehn thermische Manikins (Personenemulatoren) mit einer Gesamtwärmeabgabe von jeweils etwa  $100 \text{ W}$  eingesetzt (**Bild 2** und **Bild 3**).

Der dabei verwendete Quellluftdurchlass wies eine dreiseitige Lochung von je etwa  $450 \times 450 \text{ mm}$  mit einem freien ►

Querschnitt von etwa 65 Prozent auf. Die Luftzufuhr erfolgte durch eine raumlufttechnische Anlage mit einer kontrollierten Untertemperatur von etwa 2 K. Die insgesamt zugeführte Luftmenge betrug rund 200 beziehungsweise 300 m<sup>3</sup>/h, was einer mittleren Austrittsgeschwindigkeit von etwa 0,14 beziehungsweise 0,21 m/s entspricht.

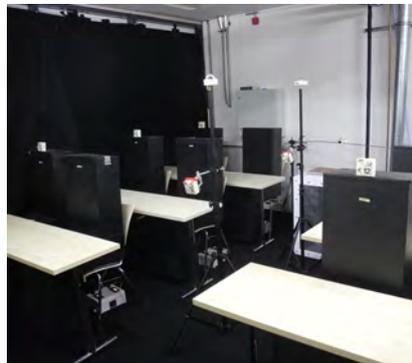
Die in den Bildern 2 und 3 sichtbare Entwicklung der Quellluftströmung steht in guter Übereinstimmung mit der im Feldversuch beobachteten Ausbreitung des Frischluftsees (Bild 1). So zeigt sich zunächst eine invasive Strömung entlang des freien Gangs mit anschließender Konsolidierung in die Sitzreihen. Im Unterschied zum Feldversuch stellen sich hierbei jedoch auch frühzeitig Auftriebsströmungen ein, die im weiteren Verlauf eine immer stärkere Ausprägung zeigen.

Im Vergleich von Bild 2 und Bild 3 ist darüber hinaus erkennbar, dass die Ausbreitung des Frischluftsees bei einer Luftmenge von 20 m<sup>3</sup>/(h Person) deutlich langsamer erfolgt als bei einer Luftmenge von 30 m<sup>3</sup>/(h Person). Eine stabile Ausprägung der Strömung gelingt bei 20 m<sup>3</sup>/(h Person) auch im späteren Verlauf (nicht dargestellt) nicht vollständig. Es liegt daher nahe, dass die von den Auftriebsquellen aus dem Frischluftsee entnommene Luftmenge in Bild 2 zu groß beziehungsweise die eingebrachte Luftmenge von 20 m<sup>3</sup>/(h Person) zu gering ist.

Zur Bestimmung des Auftriebsvolumenstroms durch Wärmequellen bei Quelllüftung sind verschiedene semi-empirische Methoden bekannt, die zumeist auf der Annahme eines virtuellen Ursprungs eines runden Freistrahls innerhalb der Wärmequelle beruhen und daher nur für zylindrische Wärmequellen gültig



**Bild 4:** Visualisierung der „körpereigenen“ Auftriebsströmung am Personenemulator. Bild: Viessmann Climate Solutions SE



**Bild 5:** Positionierung der CO<sub>2</sub>-Sensoren im Laborversuch. Bild: Viessmann Climate Solutions SE

sind. Eine Zusammenfassung findet sich zum Beispiel in [3]. Die berechneten Auftriebsvolumenströme sind dabei insbesondere stark abhängig von der angenommenen Lage des virtuellen Ursprungs. Bei einer geometrischen Transformation der verwendeten Personenemulatoren in einen Zylinder mit gleicher Oberfläche und gleicher Höhe (hier 2,08 m<sup>2</sup> beziehungsweise 1,2 m) resultiert der berechnete Auftriebsvolumenstrom für eine ange-

strebte Frischluftseehöhe von etwa 1 m beispielsweise in einer Größenordnung von etwa 20 bis 30 m<sup>3</sup>/h pro Wärmequelle. [6] weisen jedoch darauf hin, dass der Auftriebsvolumenstrom einer realen Körpergeometrie etwas höher ist als bei einem Zylinder mit gleicher Oberfläche und gleicher Wärmeabgabe. Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Beobachtungen des oben beschriebenen Vergleichs der Strömungsvisualisierungen mit 20 beziehungsweise 30 m<sup>3</sup>/(h Person).

**Bild 4** zeigt die Visualisierung der Auftriebsströmung an einem der verwendeten Personenemulatoren bei Beleuchtung durch einen Lichtschnitt. Dabei befinden sich der zugehörige Tisch auf der linken Seite beziehungsweise der „Rücken“ des Personenemulators rechts im Bild. Wie deutlich zu erkennen ist, erfolgen durch die „körpereigene“ Auftriebsströmung ein direkter Transport von frischer beziehungsweise gereinigter Luft (hier Glykol-Dampfgemisch) aus dem Frischluftsee in die „Atemzone“ und ein gerichteter Abtransport der Luft aus der „Atemzone“ in die oberen Raumbereiche.

## Bewertung der Atemluftqualität

Um die Wirksamkeit eines Lüftungssystems quantitativ zu bewerten, kann beispielsweise die Konzentration eines Schadstoffs in der Zu- und Abluft im Vergleich zur lokalen Konzentration des Schadstoffs in der Atemzone betrachtet werden, wie in Gleichung 1 in Form der Lüftungseffektivität ausgedrückt.

$$\varepsilon = \frac{c_{ABL} - c_{ZUL}}{c_p - c_{ZUL}} \quad (1)$$

Darin sind  $c_{ABL}$  die mittlere Schadstoffkonzentration in der Abluft,  $c_{ZUL}$  die mittlere Schadstoffkonzentration in der Zuluft und  $c_p$  die lokale Schadstoffkonzentration in der Atemzone. Die Lüftungseffektivität eignet sich insbesondere für eine Bewertung der Wirksamkeit des Abtransports von Schadstoffen aus dem Raum, die von einer Schadstoffquelle im Raum emittiert werden [4]. Für eine Bewertung des aerogenen Infektionsrisikos bietet sich zudem eine Betrachtung der tatsächlich in der Atemluft vorhandenen Schadstoff beziehungsweise Frischluftanteile an. Daher wird im Folgenden die Bewertungsgröße des lokalen Zuluftaufnahmeanteils gemäß Gleichung 2 eingeführt.

## VISSMANN VITOVENT 200 - P

- hybrides Lüftungs- und Luftreinigungsgerät
- CO<sub>2</sub>-abhängige Luftmengenregelung (bis 400 m<sup>3</sup>/h Außenluft + bis 400 m<sup>3</sup>/h Umluft)
- Umluftanteil mit H14 HEPA-Filter
- Außenluftanteil mit Wärme- und Feuchterückgewinnung
- Schalldruckpegel < 40 dB(A) (Nachhallzeit 1 s)
- konventioneller 230 V Anschluss
- Außen- und Fortluftanschlüsse DN 180
- L x B x H: 675 x 1 700 x 2 000 mm (B: 2 x 850 mm)



Bild: Viessmann Climate Solutions SE

$$\gamma = \frac{c_p - c_{ABL}}{c_{ZUL} - c_{ABL}} \quad (2)$$

Dabei quantifiziert  $\gamma$ , wie viel (virenfreie) Zuluft unmittelbar in die Atemzone der Raumnutzenden transportiert wird. Bei einem Wert von 100 Prozent würde in der Atemzone der Raumnutzenden folglich ausschließlich Zuluft vorliegen. Je mehr umgebende Raumluft auf dem Weg vom Quellluftdurchlass zur Atemzone in die Zuluft eingemischt wird, desto geringer wird der Wert von  $\gamma$ . Im Fall einer idealen Mischlüftung nimmt  $\gamma$  einen Wert von 0 an. Eine Umrechnung von lokalem Zuluftaufnahmeanteil  $\varepsilon$  und Lüftungseffektivität  $\gamma$  kann gemäß Gleichung 3 erfolgen.

$$\varepsilon = \frac{1}{1-\gamma} \quad (3)$$

### Spurengasmessungen

Eine experimentelle Quantifizierung der Atemluftqualität beziehungsweise der lokalen Zuluftaufnahmeanteile erfolgte an-

hand von Spurengasmessungen im oben beschriebenen Laborversuch. Dazu wurden mobile CO<sub>2</sub>-Sensoren in den „Atemzonen“ der Personenemulatoren sowie an verschiedenen Raumpositionen, an denen keine Auftriebsströmung vorlag, installiert, wie **Bild 5** zeigt. Mithilfe einer Dostierstrecke wurde CO<sub>2</sub> als Spurengas in die Zuluftleitung emittiert und die Konzentrationsanstiege an den verschiedenen Messpunkten verglichen („step-up“-Versuche). Nach dem Erreichen eines stationären Zustands wurde die CO<sub>2</sub>-Zugabe in der Zuluft beendet und die Abklingkurven der Messpunkte betrachtet („step-down“-Versuche).

Die **Bilder 6** und **7** zeigen beispielhaft die resultierenden Konzentrationsverläufe der Zuluft (rechteckige Markierungen) sowie der Messstellen an den Personenemulatoren (rautenförmige Markierungen) im Vergleich zu den übrigen Raumpositionen beziehungsweise der Abluft (runde Markierungen) bei einem Zuluftvolumenstrom von etwa 30 m<sup>3</sup>/(h Person). Wie aus **Bild 6** hervorgeht, steigen die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen an den Messstellen

der Personenemulatoren deutlich schneller und stärker an als es an den Raumpositionen ohne Auftriebsströmung beziehungsweise in der Abluft der Fall ist. Auch im stationären Zustand liegen die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den „Atemzonen“ der Personenemulatoren deutlich näher am Zuluftniveau als die gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der übrigen Raumpositionen und der Abluft. Für eine sprungartige Reduktion der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Zuluft zeigen sich sehr ähnliche Verläufe, wie in **Bild 7** zu sehen ist.

Die lokalen Zuluftaufnahmeanteile liegen für die beschriebene Versuchsreihe im stationären Zustand bei einem Median von 52 Prozent mit einem Minimum von 35 Prozent und einem Maximum von 85 Prozent. Dies steht in guter Übereinstimmung mit Literaturangaben zu einer Lüftungseffektivität von  $\gamma = 2$  (entspricht  $\varepsilon = 50\%$ ) bei Quelllüftung [3].

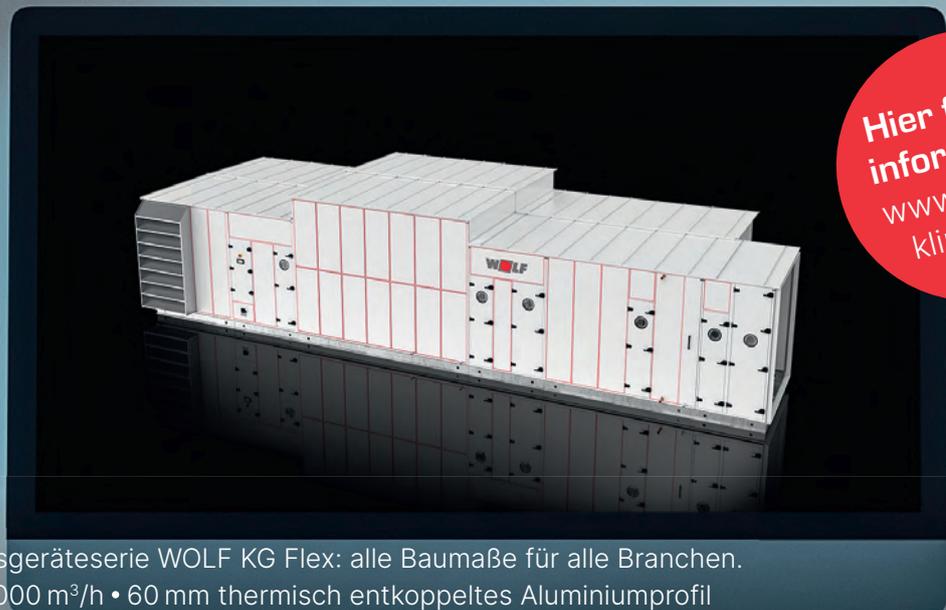
Entsprechend der Definition des lokalen Zuluftaufnahmeanteils in Gleichung 2 kann beispielsweise ein Wert von  $\varepsilon = 50\%$  dahingehend interpretiert werden, dass der zugeführte

# Challenge us!

Sie planen es, wir bauen es: Ihr individuelles WOLF KG Flex.



KG Flex Filmpremiere  
auf YouTube. Gleich  
hier anschauen!



Hier flexibel  
informieren:  
[www.wolf.eu/](http://www.wolf.eu/)  
klima-profi

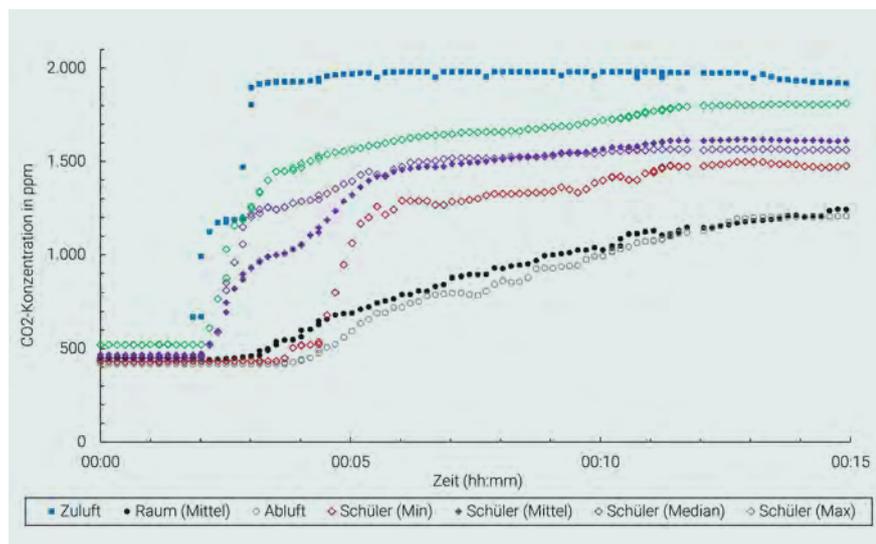
Die neue individuelle Lüftungsgeräteserie WOLF KG Flex: alle Baumaße für alle Branchen.

- Für Luftvolumen bis zu 350.000 m<sup>3</sup>/h • 60 mm thermisch entkoppeltes Aluminiumprofil
- gewährleistet alle Anforderungen (L1, D1, T2, TB2) • TÜV-geprüft (DIN EN 1886)

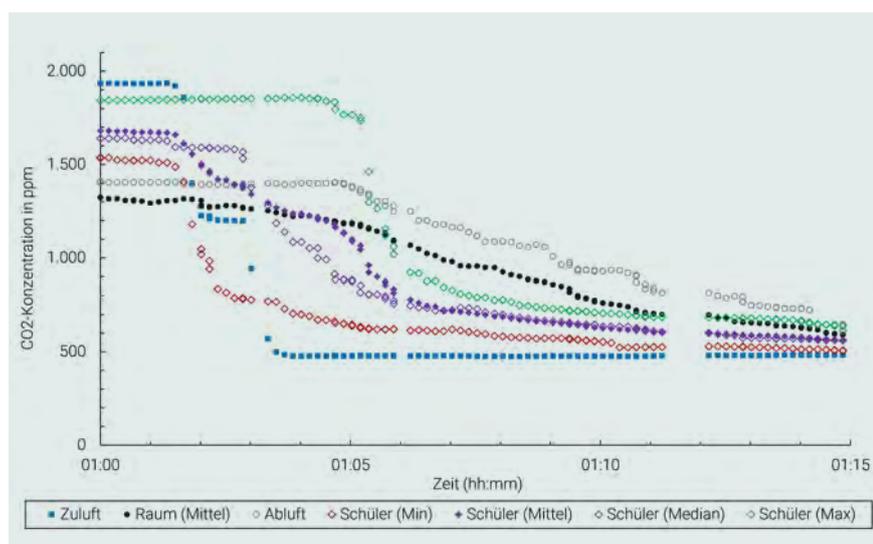


WOLF ist Partner der





**Bild 6:** Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den „Atemzonen“ der Personenemulatoren im Vergleich zur umgebenden Raumluft bei sprunghafter Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Zuluft.  
Grafik: Viessmann Climate Solutions SE



**Bild 7:** Verläufe der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den „Atemzonen“ der Personenemulatoren im Vergleich zur umgebenden Raumluft bei sprunghafter Reduktion der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Zuluft.  
Grafik: Viessmann Climate Solutions SE

Volumenstrom in etwa die doppelte Schutzwirkung im Vergleich zur idealen Mischlüftung hat, da dann die eine Hälfte der Atemluft unmittelbar aus der Zuluft stammt (also virenfrei ist) und nur die andere Hälfte der Atemluft aus der umgebenden (verdünnten) Raumluft stammt. Die Ergebnisse der Spurengasmessungen an den verschiedenen Raumpositionen deuten somit auf einen wirksamen und direkten Transport der Zuluft durch den Frischluftsee und die körpereigene Auftriebsströmung in die Atemzonen der Raumnutzenden hin.

## Zwischenfazit

Die durchgeführten Strömungsvisualisierungen und Spurengasmessungen legen nahe, dass eine quellluftartige Luftführung auch mit vergleichsweise geringen Untertemperaturen gelingen kann und somit einen direkten Transport der Zuluft in die Atemzonen der Raumnutzenden ermöglicht. Im hier betrachteten Szenario eines Klassenzimmers bestand im Mittel in etwa die Hälfte der Atemluft unmittelbar aus virenfreier Zuluft. ■

## FORTSETZUNG FOLGT

Im dritten Teil dieses Beitrags in der HLH 07-08/2021 werden die Betrachtungen zum Infektionsschutz durch Lüftungsgeräte und Luftreiniger anhand von numerischen Strömungssimulationen mit variierenden Randbedingungen und durch eine rechnerische Beurteilung der relativen aerogenen Infektionsrisiken abgeschlossen.

## LITERATUR

- [1] Kriegel, M. et al.: Predicted infection risk for aerosol transmission of SARS-CoV-2. medRxiv Preprint, 2020: <https://doi.org/10.1101/2020.10.08.20209106>, zuletzt abgerufen am 22.02.2021.
- [2] Müller, D. et al.: Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen. 2. überarbeitete und korrigierte Auflage. RWTH-EBC White Paper, 2021: <https://doi.org/10.18154/RWTH-2021-02417>, zuletzt abgerufen am 23.03.2021.
- [3] Skistad, H. et al. (Hrsg.): Displacement ventilation in non-industrial premises. REHVA Guidebook 1, 2002.
- [4] Rietschel, H.; Fitzner, K.: Raumklimattechnik. Band 2: Raumluf- und Raumkühltechnik. 16. Aufl. Springer Verlag, Berlin und Heidelberg 2008.
- [5] Schaub, M. et al.: Infektionsschutz durch Lüftungsgeräte und Luftreiniger. Teil 1: Praxiserfahrungen zur Messung von Aerosolen. In: HLH Bd. 72 (2021) Nr. 4, S. 50–55.
- [6] Zukowska, D. et al.: Impact of thermal plumes generated by occupant simulators with different complexity of body geometry on airflow pattern in rooms. In: 7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting – University of Coimbra, September 2008.

**Dr.-Ing.  
Michael Schaub**

Innovation- & IP-Management, Viessmann Climate Solutions SE, Allendorf.

**Dr.-Ing.  
Konrad Bamberger**

Numerical Simulation Service, Viessmann Climate Solutions SE, Allendorf.

**Dennis Derwein,  
M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimattechnik des E.ON Energieforschungszentrums an der RWTH Aachen.

**Dr.-Ing.  
Kai Rewitz**

leitet das Team Nutzerverhalten und Komfort am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimattechnik des E.ON Energieforschungszentrums an der RWTH Aachen.

**Univ.-Prof.  
Dr.-Ing.  
Dirk Müller**

ist Inhaber des Lehrstuhls für Gebäude- und Raumklimattechnik des E.ON Energieforschungszentrums an der RWTH Aachen.

Lösungen und deren technische Umsetzung in Ventilatoren

# Luft-Volumenstrom bestimmen und regeln

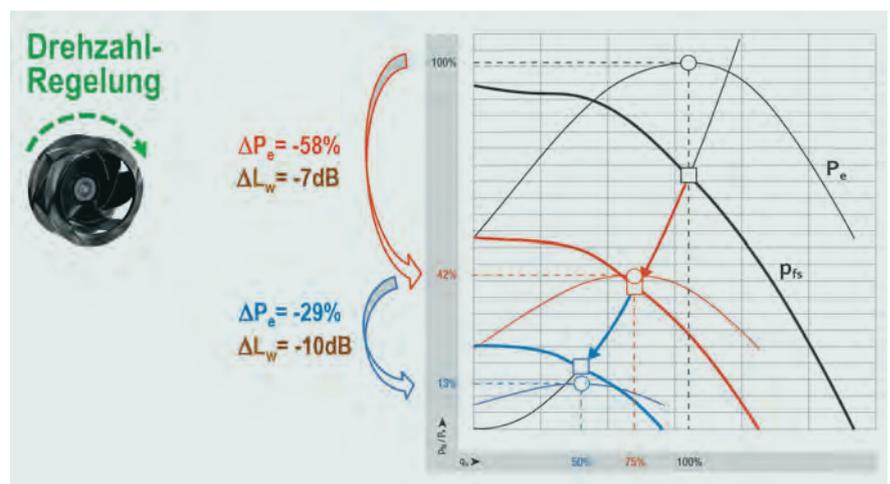
Eine Anpassung des Luft-Volumenstroms eines Ventilators an den tatsächlichen Bedarf ermöglicht in der Praxis erhebliche Energieeinsparungen und Geräuschreduktionen. Zunächst betrifft dies den Ventilator selbst; in vielen Anwendungen wie zum Beispiel RLT-Anlagen wirkt sich dies zudem positiv auf den Energiebedarf anderer Anlagenkomponenten wie Erhitzer, Kühler oder Befeuchter aus. Für eine energiesparende und leise Lüftung sollte der Volumenstrom der in der Luft-, Kälte- und Klimatechnik eingesetzten Ventilatoren deshalb möglichst genau und effizient auf einen vorgegebenen Sollwert regelbar sein. Je nach Ventilatortyp und Anwendungsbereich kommen dafür unterschiedliche Methoden in Frage.

TEXT: Dr.-Ing. Erik Reichert und Daniel Gebert

Die Regelung des Volumenstroms auf einen vorgegebenen Sollwert bietet in vielen Anwendungen die Möglichkeit den Energieverbrauch und die Geräuschemissionen wesentlich zu reduzieren (**Bild 1**). Darüber hinaus sind oft anwendungsspezifische und regionale gesetzliche Vorgaben einzuhalten, beispielsweise bei der Belüftung von Wohngebäuden.

## Vorgaben bei Wohngebäuden

Für Abluftventilatoren in fensterlosen Bädern und Toiletten gilt beispielsweise die DIN 18017-3. Nach dieser darf sich der Abluftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz von  $\pm 40$  Pa beziehungsweise  $\pm 60$  Pa um maximal 15 Prozent ändern. Bei Einzellüftungsanlagen mit gemeinsamer Abluftleitung ist eine Verringerung des Abluftvolumenstroms des untersten Geräts bei Betrieb aller Geräte um höchstens zehn Prozent erlaubt. Da-



**Bild 1:** Die bedarfsgerechte Anpassung des Volumenstroms ermöglicht eine deutliche Energieeinsparung und Geräuschreduktion. Grafik: ebm-papst

mit soll sichergestellt werden, dass sich der Abluftvolumenstrom bei äußeren Windlasten, die auf die Gebäudehülle wirken, möglichst wenig ändert.

Ähnliche gesetzliche Vorgaben gibt es für die dezentrale Lüftung einzelner Räume oder für zentrale Wohnungslüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung

(WRG). Bei dezentralen Systemen greift die DIN EN 13141-8. Hier sind die Geräte abhängig von der sich einstellenden Änderung des Volumenstroms bei einer Druckdifferenz von  $\pm 20$  Pa in drei Güteklassen unterteilt (**Bild 2**). Bei zentralen Lüftungssystemen muss der Abluft-Volumenstrom gemäß der ▶

DIBT-Zulassung (Deutsches Institut für Bautechnik) stets höher sein als der Zu- luft-Volumenstrom; der Abluftüberschuss darf aber maximal zehn Prozent betragen. Zufriedenstellende Werte lassen sich hier nur erreichen, wenn der Volumenstrom der eingesetzten Ventilatoren in der Anwendung genau bestimmt und über eine Anpassung der Drehzahl bedarfsgerecht geregelt werden kann.

### Methoden im Vergleich

Grundsätzlich gibt es verschiedenste physikalische Messverfahren, um einen Volumen- oder Massendurchfluss zu bestimmen; allerdings sind nicht alle für Gase und somit für Ventilatoren geeignet. Magnetisch-induktive Messverfahren oder solche, die auf der Corioliskraft basieren, scheiden beispielsweise aus, da sie entweder nur bei elektrisch leitfähigen Medien funktionieren beziehungsweise die entstehenden Kräfte bei Gasen viel zu klein sind. Massendurchfluss-Messverfahren mit thermischen Sensoren eignen sich zwar prinzipiell für Ventilatoren, allerdings nur unter Laborbedingungen, da die dünnen Messdrähte sehr empfindlich sind.

Andere Messverfahren sind hochgenau und robust, aber relativ teuer in der Umsetzung und deshalb eher für Prüfstände geeignet. Bei einem Ultraschall-Durchflussmesser erfassen zwei versetzt angeordnete Detektoren die zur mittleren Fließgeschwindigkeit proportionale Laufzeitdifferenz zweier Ultraschallwellen (**Bild 3**, links). Alternativ können Strömungsgeschwindigkeiten mit einem Flügelrad-Anemometer oder nach dem Vortex-Prinzip mit einem Wirbelgenerator erfasst werden (**Bild 3**, rechts). Bei einem Vortex-Generator wird die zur Strömungsgeschwindigkeit proportionale Ablösefrequenz der Wirbel detektiert. Beim Anemometer verhalten sich Drehzahl und Volumenstrom proportional.

### Was ist praktikabel?

Was prinzipiell möglich ist, erweist sich nicht zwangsläufig als praktikabel. So sind Geschwindigkeitsmessungen in der Zu- oder Abströmung eines Ventilators zwar bei allen Ventilatorarten anwendbar und die relativ kleinen Sensoren verursachen keine relevanten Druckverluste. Wesentliche Hemmnisse ergeben sich in vielen Anwendungen aber durch die Zusatzkos-

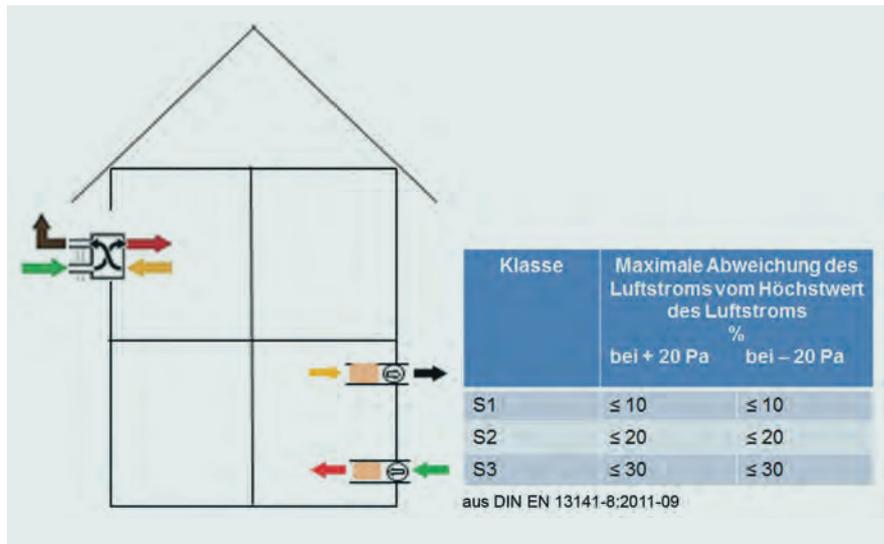


Bild 2: Vorgaben der DIN EN 13141-8 für dezentrale Lüftungssysteme mit WRG. Grafik: ebm-papst

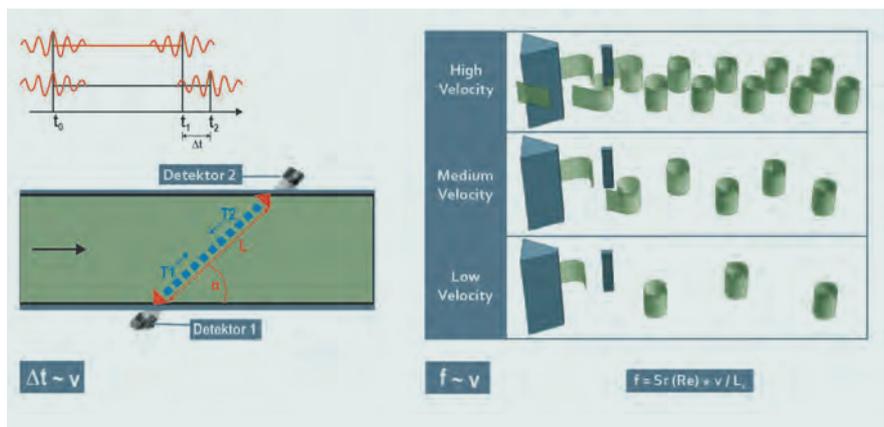


Bild 3: Links: Geschwindigkeitsmessung mittels Ultraschall; rechts: Vortex-Wirbelgenerator. Grafik: ebm-papst

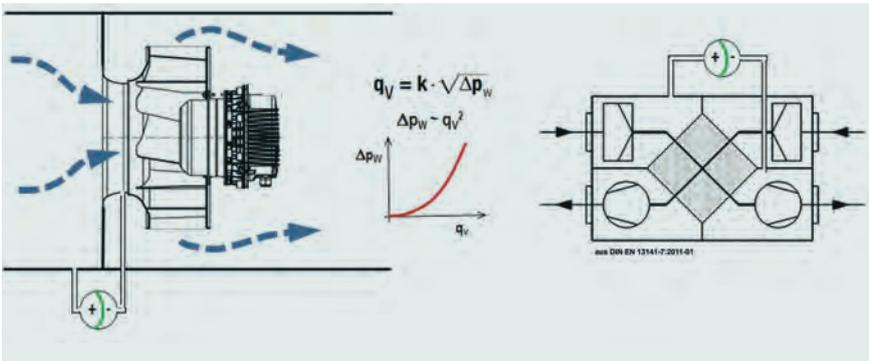
ten für die Sensoren, deren Installation sowie durch Alterungs- oder Verschmutzungseffekte. Zudem erfordern „lokal“ – also an einer Stelle – gemessene Strömungsgeschwindigkeiten zur Bestimmung des Volumenstroms eine genaue Kenntnis der betriebspunkt- oder installationsabhängigen Geschwindigkeitsverteilung in der durchströmten Querschnittsfläche oder eine entsprechende gerätespezifische Kalibrierung.

Demgegenüber findet man Volumenstromregelungen, die auf der Messung des Differenz- oder Wirkdrucks basieren, heute relativ häufig in RLT-Anlagen oder Lüftungsgeräten (**Bild 4**). Auch hier wird ein Sensor zur Druckmessung benötigt. Die Messstellen können jedoch in vielen Fällen so appliziert werden, dass keine rein lokale Geschwindigkeitsmessung erfolgt, sondern über das Drucksignal wenigstens annähernd eine „integrale“ Mes-

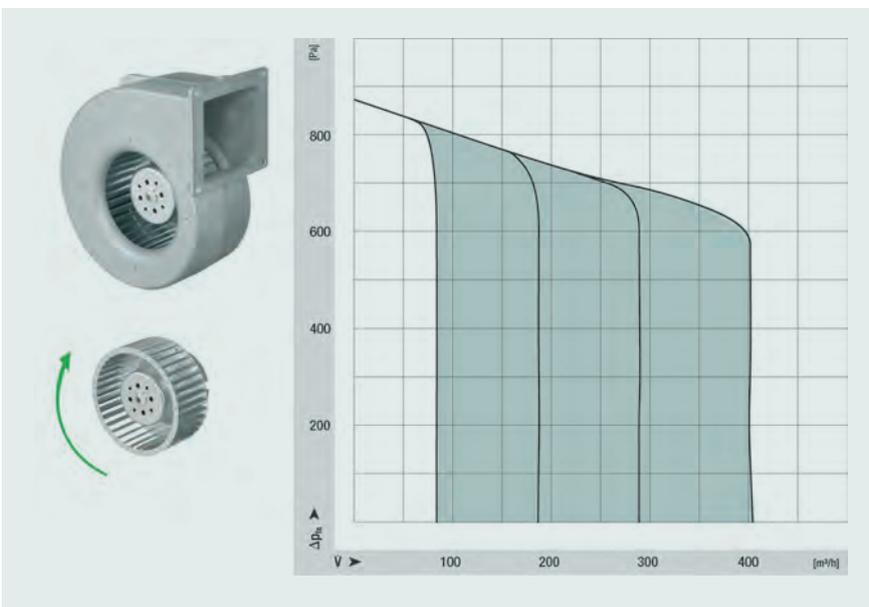
sung des Volumenstroms möglich ist. Zudem entstehen in der Regel keine zusätzlichen Druckverluste und die Verfahren sind relativ unabhängig von der Zu- und Abströmung und vom Betriebspunkt. Größter Nachteil der Differenz- und Wirkdruck-Verfahren ist, dass die Messgenauigkeit bei kleinen Volumenströmen durch den quadratischen Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Druck sehr stark reduziert wird. Dazu kommen anwendungsspezifische Schwierigkeiten: Nutzt man beispielsweise in einem Wohnungslüftungsgerät die Druckdifferenz über einen Wärmetauscher oder Filter, hängt das Messsignal stark von Verschmutzungen und Bypassströmen ab.

### Sensorlos regeln

Besteht bei konstanter Drehzahl ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Auf-



**Bild 4:** Links: Wirkdruckmessung an der Einlaufdüse eines Radialrades in einer RLT-Anlage; rechts: Differenzdruckmessung in einem Wohnungslüftungsgerät. Grafik: ebm-papst



**Bild 5:** Sensorlose Volumenkonstanz-Regelung eines vorwärtsgekrümmten ebm-papst Radialventilators. Grafik: ebm-papst

nahmeleistung und Volumenstrom, kann eine Betriebspunktbestimmung über die Messung des Motorstroms und der Drehzahl realisiert werden. Diese Kennliniencharakteristik findet man nur bei vorwärtsgekrümmten Radiallaufrädern. Bei elektronisch kommutierten Gebläsen spricht man in diesem Zusammenhang oft von „sensorloser“ Regelung, weil nur interne Motorgrößen verwendet werden und keine externen Druck- oder Geschwindigkeits-Sensoren erforderlich sind. Verschiedene ebm-papst Gebläse nutzen zur Volumenkonstanz-Regelung eine auf der Elektronik integrierte sensorlose Regelung (**Bild 5**). Diese greift zur Betriebspunktbestimmung auf ein gebläse- und in manchen Fällen auch gerätespezifisches Kalibrierpolynom zurück. Der in erster Näherung kubische Zusammenhang zwischen Aufnahmeleistung und Luftleistung führt allerdings auch bei diesem An-

satz bei kleinen Luftleistungen zu stark ansteigenden Regelgenauigkeiten. Zudem bewirkt eine Änderung der Luftdichte einen Fehler bei der Volumenstrombestimmung.

### Effiziente Lösung für rückwärtsgekrümmte Radialventilatoren

Bei rückwärtsgekrümmten Radialventilatoren ist aufgrund ihrer Kennliniencharakteristik eine sensorlose Volumenstrombestimmung nicht möglich. Für diese sehr effiziente Ventilatorbauart hat ebm-papst eine einbaufertige Plug & Play Lösung entwickelt: Ein im Ausblasstutzen des Spiralgehäuses positioniertes Flügelrad-Anemometer. Es erfasst kontinuierlich den tatsächlichen Volumenstrom ohne nennenswerte Druckverluste und Zusatzgeräusche zu erzeugen. Die Daten

werden an die integrierte zentrale Steuer-elektronik des Ventilators übermittelt. Diese passt die Drehzahl des EC-Motors dem gewünschten Sollwert an und regelt die Luftmenge des Gebläses unabhängig von Luftdichteinflüssen auf den vorgegebenen Sollwert. Da die Drehzahl des Flügelradanemometers nicht mehr quadratisch, sondern nur noch linear vom Volumenstrom abhängt, und die Drehzahl des EC-Motors als zusätzliche interne Korrekturgröße verwendet wird, können auch bei kleinen Volumenströmen noch sehr hohe Regelgenauigkeiten erreicht werden. Zudem wird die Betriebspunktbestimmung durch die Erfassung des kompletten Volumenstroms kaum negativ von Einbaueffekten beeinflusst.

Mit dieser vollständig integrierten Volumenkonstanz-Regelung lässt sich über den kompletten Regelbereich eine sehr genaue und effiziente Lösung realisieren. Für Wohnraumlüftungsgeräte bedeutet das zum Beispiel ganzjährig ausgeglichene Zu- und Abluftströme. Zum einen lässt sich dadurch die unerwünschte Zufuhr kalter Außenluft vermeiden, zum anderen lässt sich damit verhindern, dass im Winter warme Raumluft über Undichtigkeiten durch die Gebäudehülle nach außen strömt, sich abkühlt und so in den Außenwänden Kondenswasser entsteht. Dabei entstehen durch das zusätzliche Flügelrad weder Einbußen bei der Luftleistung noch störende Geräusche, sodass die Gesamtleistung des Ventilators unverändert bleibt. Auch Verschmutzungen sind kein Problem, wie Tests unter extremen Bedingungen mit Staub und erhöhter Luftfeuchtigkeit bewiesen haben.



**Dr.-Ing. Erik Reichert**  
ist Abteilungsleiter Vorentwicklung bei ebm-papst Muldingen. Bild: ebm-papst



**Daniel Gebert**  
ist Mitarbeiter in der Funktionsentwicklung Ventilatoren bei ebm-papst Muldingen. Bild: ebm-papst

## Höhere Investitionssicherheit in PV-Anlagen durch PPA

# Eine Nische dehnt sich aus

Mitte vergangenen Jahres, als das Förder-Aus für ältere EE-Anlagen drohte, ergriffen klimabesorgte Institutionen die Initiative. Im Januar war es dann soweit: Die „Marktoffensive Erneuerbare Energien“ startete. Die Mitglieder setzen sich für eine verstärkte Implementierung direkter Stromlieferverträge, den sogenannten Power Purchase Agreements (PPAs), ein. Diese PPAs sollen neben dem EEG ein zweiter zentraler Pfeiler des künftigen Erneuerbare-Energien-Ausbaus sein. Was verbirgt sich dahinter?

TEXT: Dipl.-Ing. Bernd Genath

**D**en Anstoß gaben die Deutschen Energie-Agentur (Dena), der Deutsche Industrie- und Handelskammertag (DIHK) und das Netzwerk Klimaschutz-Unternehmen e.V. Nach draußen sichtbar taucht das Kürzel PPA für Power Purchase Agreement in Wirtschaft und Politik erst seit etwa zwei Jahren auf. In der Bundestags-Drucksache BT 19/23329 steht unter dem Punkt „Erleichterungen für den ungeforderten Ausbau erneuerbarer Energien“: „Die gesetzlich festgelegte Netzanschlussgarantie und der prinzipielle Einspeisevorrang bestehen auch für Anlagen, die keine Förderung nach dem EEG in Anspruch nehmen. ... Die Bundesregierung begrüßt es ausdrücklich, dass sich außerhalb der EEG-Förderung am Markt PPA etablieren ... Diese Marktentwicklungen sind zu beobachten.“ Verschiedene damalige Veröffentlichungen in den Medien zu den Entwürfen des EEG gingen ebenfalls auf den PPA-Vertrag als Anschlussfinanzierung für die Ü20-Solaranlagen ein. Die standen vor dem Auslaufen der staatlichen Förderung. PPA zog in die Versorgungstechnik ein. Das verabschiedete EE-Gesetz verlängerte dann jedoch die Laufzeit der staatlichen Zahlungen.



**Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien** kann sich auch ohne Förderung lohnen.

Bild: Genath

## Herkunftsnachweis eingeschlossen

Trotzdem werden die „Agreements“ mehr und mehr zum Thema. Zwar bewerte das Kabinett die Finanzierung von Erneuerbare-Energien-Projekten mit Hilfe von PPAs in Deutschland derzeit als Nische, doch deutete für die nächsten Jahre einiges darauf hin, dass zunehmend langfristige bilaterale Stromlieferverträge mit Windenergieanlagen nach Ablauf der 20-jährigen EEG-Förderung sowie für Photovoltaik-Neuanlagen abgeschlossen werden. „Der marktgetriebene Ausbau von erneuerbaren Energien, also derjenige Ausbau, der sich vollständig aus Markterlösen ohne zusätzliche Förderung aus dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) re-

finanziert, trägt zum Teil bereits heute und künftig zur Erreichung der Erneuerbare-Energie-Ziele bei“, heißt es aus Altmaiers Ministerium.

Das PPA-Modell – ein direkter Kauf/Verkauf-Vertrag für grünen elektrischen Strom (mit Herkunftsnachweis) zwischen einem Erzeuger und einem Nutzer, also in der reinen Form ohne Zwischenhändler – nimmt wegen auslaufender Förderung, fallender Gestehungskosten für erneuerbare Energien, steigender Strompreise und der CO<sub>2</sub>-Bepreisung moderat Fahrt auf. Fahrt deshalb, weil laut Marktmonitor 2030 der Dena Deutsche Energieagentur „das Interesse der Abnehmer an einem direkten Dialog mit Energieerzeugern und Stadtwerken überdurchschnittlich hoch ausfällt.“ Moderat statt rasch deshalb: geringe Erfahrung in Deutschland, Komplexität des Vertragswerkes, Ungewissheit über die zukünftige staatliche Regulierung – der private Lieferant wird zum Energieerzeuger –, Belieferungs- beziehungsweise Abnahmerisiken in Abhängigkeit von der Länge der Vertragslaufzeit, Preisgestaltung.

Im PPA werden alle Konditionen geregelt: Laufzeit, der Umfang der zu liefernden Strommenge, die ausgehandelten Preise, die bilanzielle Abwicklung und die Pönale bei Nichteinhaltung des Vertrags.

Da es sich um einen bilateralen Vertrag handelt, kann ein PPA viele Formen annehmen und auf die Vertragspartner abgestimmt werden. Stromlieferungen können physisch oder nach einem synthetischen Modell erfolgen.

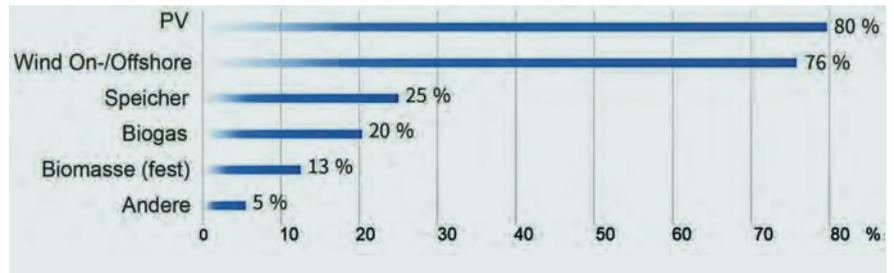
## Physische PPAs

Physisch heißt, ein Kunde verpflichtet sich zur langjährigen Abnahme einer definierten Strommenge von der Solaranlage auf dem Flachdach einer Halle seines Vertragspartners. Die Lieferung selbst kann nach drei Modellen erfolgen:

- **On-site PPA:** Bei einem On-site Power Purchase Agreement findet eine direkte Stromlieferung über ein eigenes Netz statt. Nachteil: Eine räumliche Nähe muss notwendigerweise vorhanden sein. Bei einem On-site PPA entfallen Abgaben wie zum Beispiel Netzentgelte, da die Lieferung eben über eine direkte Stromleitung und nicht über das öffentliche Netz an den Abnehmer fließt.
- **Off-site PPA:** Off-site PPAs basieren auf keiner unmittelbaren physischen Stromlieferung von den PV-Zellen zum nahegelegenen Verbraucher, sondern auf der Vereinbarung über die bilanzielle Abnahme einer im PPA definierten physischen Strommenge. Der Strom fließt durch das öffentliche Stromnetz. Daher ist eine zusätzliche Abwicklung über die Bilanzkreise der stromerzeugenden Anlage und des abnehmenden Verbrauchers nötig. Vorteil: Die Erzeugungsanlage muss nicht in räumlicher Nähe zum Stromabnehmer errichtet sein. Das erhöht die Chance, einen Käufer zu finden.
- **Sleeved PPA** – ein Dienstleistungsvertrag als Variante des Off-site PPA. Ein Energiedienstleister wickelt verschiedene Prozesse für Erzeuger und Verbraucher ab. Er übernimmt zum Beispiel die Bilanzkreisführung, schließt verschiedene Stromproduzenten zu einem Anlagenportfolio zusammen, sorgt für die Lieferung von Reststrommengen oder dem Verkauf von Überschussmengen und anderes mehr.

## Synthetische PPAs

Sie entkoppeln die physischen Stromflüsse von den finanziellen Stromflüssen und er-



In ihrem Marktmonitor 2030 hat die Dena Deutsche Energieagentur nachgefragt: Für welche Anlagen technologiebezogen werden PPAs aus Ihrer Sicht besonders interessant? Bild: Dena-Marktmonitor 2030

lauben somit noch flexiblere Vertragsausgestaltungen. Bei synthetischen Power Purchase Agreements (auch SPPA) einigen sich wie bei physischen PPAs Erzeuger und Abnehmer auf einen Preis pro Kilowattstunde Strom. Allerdings wird der Strom nicht direkt von der energieerzeugenden Anlage an den Verbraucher geliefert. Stattdessen nimmt der Energiedienstleister des Erzeugers (etwa ein Stromhändler) den produzierten grünen Strom in seinen Bilanzkreis und handelt ihn weiter. Der Energielieferant des Verbrauchers (etwa ein Stadtwerk) beschafft für den PPA-Partner auf Verbraucherseite exakt das Einspeiseprofil, das der Erzeuger an seinen Energiedienstleister geliefert hat. Im Contract for Difference verpflichten sich die PPA-Vertragspartner, zusätzliche finanzielle Ausgleichszahlungen zu leisten und zwar in dem Maße, in dem der Spot-Preis von ihrem bilateral ausgehandelten Preis abweicht. Somit hat jeder PPA-Vertragspartner zwei Zahlungsströme: einmal mit dem jeweiligen Energiedienstleister und einmal mit dem PPA-Vertragspartner.

## Vorteile und Nachteile

Die Vorteile eines PPA: langfristige Preis-sicherheit, Möglichkeiten zur Finanzie-

rung von Investitionen in neue Stromerzeugungskapazitäten oder Reduzierung von Risiken bei Stromverkauf und -einkauf. Außerdem kann eine spezifische physische Lieferung von Strom mit bestimmten regionalen Eigenschaften und Herkunftsnachweisen erfolgen. Dadurch ergeben sich für Abnehmer Möglichkeiten ihre Marke nachhaltiger und grüner zu gestalten. PPAs sind allerdings komplexe Verträge mit Laufzeiten zwischen fünf und 25 Jahren. Dies kann zu Nachteilen führen, wenn sich die Preise für eine der beiden Parteien negativ entwickeln. Ebenfalls ist die Stromproduktion insbesondere von Wind und Photovoltaik fluktuierend. Sollten eventuell nicht die lange im Voraus abgesprochenen Strommengen zum Lieferzeitpunkt zur Verfügung stehen, muss der Anlagenbetreiber dies finanziell oder physisch ausgleichen können oder an eine dritte Partei, etwa einen Stromhändler, auslagern. ■



Dipl.-Ing.  
Bernd Genath

ist Fachjournalist mit Büro in Düsseldorf.  
Bild: Autor

PELLET-SILO  
 + PELLET-SAUGER  
 + PELLET-BOX





DIE PERFEKTE KOMBINATION

A.B.S. Silo- & Förderanlagen GmbH | 06291 6422-0 | [www.abs-silos.de](http://www.abs-silos.de)

## Speicherlösungen

# Heizen mit Holzpellets im Wohnungsbau

Im kommunalen Wohnungsbau sind erneuerbare Energien in den Wärmeversorgungskonzepten längst angekommen. Der Brennstoff Holzpellets zählt dabei allerdings nach wie vor zu den Exoten. Wie eine erfolgreiche Integration gelingen kann, zeigt das Wohnbauprojekt „Sonnenhöfe“ in Freiburg.

TEXT: Dipl.-Ing. (FH) Matthias Petzl

**M**it der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) hat am 1. Januar 2021 eine neue Ära in der energetischen Gebäudeförderung begonnen. Die BEG ersetzt die bisherigen Förderinstrumente und bündelt die Förderung von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien zentral unter einem Dach. Die Komplexität der Förderlandschaft soll auf diese Weise reduziert, der bürokratische Aufwand minimiert werden. Davon können auch Nutzer profitieren, die im Bereich der Wärmeversorgung auf Holzpellets setzen möchten – und das sogar bei größeren Wohnungsbauprojekten.

Im (kommunalen) Wohnungsbau wie auch bei gewerblichen Vorhaben beginnen die Projekte meist bei einem Pelletkessel-Leistungsspektrum ab 50 kW. Nach Zahlen des Deutschen Energieholz- und Pelletverbands (DEPV) gibt es in Deutschland pro Jahr um die 500 „Großprojekte“, die leistungsmäßig über 50 kW liegen. Dies belegt, dass die Pelletbranche sehr wohl in der Lage ist, auch sehr große Leistungsanforderungen technisch erfolgreich zu realisieren.

## Die Suche nach dem passenden Lager

Was sich bei Angeboten und Projektierungen in diesem Segment allerdings häufig als Hindernis erweist, sind Vorbehalte wie



**Das Wohnungsbauprojekt „Sonnenhöfe“ in Freiburg:** In vier Häusern sind hier insgesamt mehr als 10 000 Quadratmeter Wohnfläche entstanden. Holzpellets werden für die Wärmeversorgung genutzt. Bild: A.B.S.

die Mengen an Brennstoff unterzubringen sind, die in solchen Fällen benötigt werden (**Bild 1**). Der Bedarf an Holzpellets summiert sich hier auf 20 bis 30 Tonnen, teilweise ist es noch deutlich mehr. Vor diesem Hintergrund erfolgt die individuelle Dimensionierung eines ausreichenden Lagers im Zusammenspiel der Faktoren Fassungsvermögen, Nutzvolumen und Nennleistung. Ziel ist, möglichst Komplettlösungen unterzubringen, um die Versorgungssicherheit permanent sicherzustellen. Dafür kommen unterschiedliche Lagersysteme zum Einsatz: Gänge, am

Markt verfügbare Systeme sind Pelletbunker und Fertigsilos. Pelletbunker werden vor Ort individuell angefertigt. Sie können in den Varianten „Schrägböden mit Austragungsschnecke“ oder als Flachlager in Kombination mit Saugsonden oder einem Rührwerk realisiert werden. Fertigsilos hingegen sind industriell vorgefertigte Lagersysteme, die in einem Lagerraum aufgestellt werden. Eine weitere vorgefertigte Lageralternative sind Erdtanks.

Das Thema Lagerung ist für die Branche eine große Herausforderung. Es gibt nicht viele Anbieter am Markt, die Pellet-

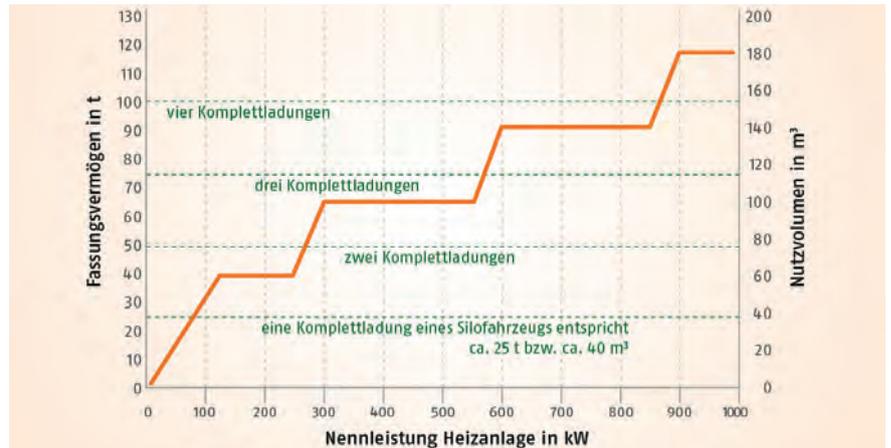
bunker in Größenordnungen für 20 Tonnen und mehr, fachgerecht zu bauen beherrschen. Selbst bei einem Einfamilienhaus ist zu empfehlen, den Bau des Pelletspeichers einem Fachmann zu überlassen. Zwar gibt es gute Handreichte von Seiten des DEPV, doch aufgrund der möglichen hohen Fehlerquoten im Eigenbau empfiehlt auch der Verband den Einbau von Fertiglagern. Die Fehlerquote ist gering – auch, weil Fertiglager Komplettlösungen mit Befüll- und Entnahmeeinheit bieten. Sie sind staubdicht und zeichnen sich durch ihren geringen Planungs- und Montageaufwand aus.

### Alternative: Gewebesilos

Gewebesilos sind vorgefertigte Lagersysteme, die sich bereits langjährig auch in anderen Bereichen wie Landwirtschaft oder Industrie bewährt haben. Flexible Silos gibt es in quadratischen oder rechteckigen Formen. Der konische Auslauf kann entweder aus Gewebe oder Metall gefertigt sein, der Silosack wird wahlweise in ein Gestell aus Metall oder Holz eingehängt. Die Befüllung erfolgt meist seitlich, um einen besseren Füllgrad zu erreichen. Bei einer rechteckigen Form sollte man – wenn möglich – immer auf der schmalen Seite befüllen.

Ein Hilfsmittel, Qualitäten am Markt zu unterscheiden, ist das Zertifizierungsprogramm „Industriell gefertigte Pelletlagerung beim Endkunden“ der DIN Certco. Als unabhängige Zertifizierungsstelle untersucht DIN Certco anhand von Prüfkriterien wie Brandschutz, Feuchteschutz oder Statik, ob sich ein Gewebesilo für die Lagerung von Holzpellets eignet. Um das Gütezeichen „DIN geprüft“ zu bekommen, müssen die Lagerhersteller sicherstellen, dass bei der Befüllung keine Feuchtigkeit in das Pelletlager eindringt. Dies ist wichtig, da Pellets durch eindringende Feuchtigkeit aufquellen und somit unbrauchbar werden.

Hohe Anforderungen werden auch an das Gewebe selbst gestellt. Sowohl der Silokorpus als auch der integrierte Prallschutz müssen antistatisch sein. Deshalb verwendet A.B.S. bei einer Heizleistung ab 50 kW ein hochfestes Hightech-Gewebe. Damit können große Pelletmengen gelagert werden und auch höheren Befüllintervallen hält es problemlos stand. Für die Standsicherheit der Gestelle, in welche die Sacksilos eingehängt werden, sind statische Berechnungen erforderlich.



**Bild 1:** Empfohlenes Lagervolumen/ Fassungsvermögen für Großlager in Abhängigkeit von der Nennleistung der Heizanlage. Grafik: Deutsches Pelletinstitut



**Bild 2:** Ein Zwischenbehälter mit Doppelabsaugtopf ermöglicht die Kombination aller Gewebesilos mit den zwei Pelletkesseln. Bild: A.B.S.

In den Häusern A, B und C wurde die zentrale Wärmeversorgung zuvor analog umgesetzt wie in Haus D + E, nur dass hier mit 33 t die größte Lagerkapazität entstand. Sie verteilt sich auf vier A.B.S. Flexilo Gewebesilos. Das Ziel war, bei einer optimalen Raumausnutzung ein maximales Lagervolumen zu erreichen. Auf diese Weise kann die Anzahl der Brennstoff-Anlieferungen auf ein Minimum reduziert werden. Hinzu kam die Herausforderung, dass die beiden Pelletkessel von allen vier Gewebesilos versorgt werden sollen.

Die Lösung: Durch Einsatz eines Zwischenbehälters ist es möglich, alle vier Gewebesilos mit den beiden Pelletkesseln zu kombinieren (**Bild 2**). Der Zwischenbehälter wird jeweils mit einer Förderspirale aus einem Lagersilo befüllt. Da jedes Gewebesilo mit einem Leermelder ausgestattet ist, erfolgt die Weiterschaltung auf das nächste Silo, wenn dieses einen festgelegten Füllstand erreicht. An der Steuerung werden die vier Leermelder visualisiert. Dies ermöglicht dem Hausverwalter einen schnellen Überblick über den Pelletbestand. Die Montagezeit für die 33 t-Lagerkapazität in den Häusern D + E betrug übrigens nur rund drei Tage. In dieser Zeit wurden die Silos aufgebaut, Befüllleitungen und Spirale verlegt und alles elektrisch verkabelt.

### Das Projekt „Sonnenhöfe“

Wie der Energieträger Holzpellets erfolgreich bei größeren Wohnbauprojekten eingesetzt und gelagert werden kann, stellt das Projekt „Sonnenhöfe“ unter Beweis. Die „Sonnenhöfe“ sind ein architektonisch gehobenes Stadtquartier in zentrumsnaher Lage von Freiburg. Seit 2016 sind hier in drei Bauabschnitten vier Häuser mit insgesamt 120 als Eigentumswohnungen konzipierten Einheiten entstanden. Die Gesamtwohnfläche beträgt mehr als 10 000 m<sup>2</sup>. In jedem Gebäude sind Pelletanlagen des Herstellers Rennergy Systems installiert. In Haus A und B Pelletkessel mit einem Leistungsbereich von 120 kW, in den Häusern C sowie D + E jeweils zwei Pelletkessel in Kaskade mit je 70 kW (Gesamt 140 kW). Die Siloanlagen wurden von A.B.S. in Abstimmung mit dem zuständigen Ingenieurbüro geplant. Die Lagerkapazität beläuft sich in Summe auf rund 100 t Holzpellets (Haus A: 19 t, Haus B: 20 t, Haus C: 27 t, Haus D + E: 33 t).

Der Schluss-Abschnitt mit Haus D + E wurde im vergangenen Jahr fertiggestellt.



**Dipl.-Ing. (FH) Matthias Petzl**

ist technischer Geschäftsführer der A.B.S. Silo- und Förderanlagen GmbH, Osterburken.  
Bild: A.B.S.

Forschungsprojekt „SmartAdapt“

# Entwicklung moderner Prüfstände für Forschung, Lehre und Technologietransfer

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Forschungsprojektes „SmartAdapt“ (FK-03ET1431A) [1] werden an der Beuth Hochschule für Technik Berlin mehrere Prüfstände für hydraulische und thermische Untersuchungen an heiztechnischen Anlagen entwickelt und betrieben. Neben der Anwendung in der Forschung ermöglichen die Prüfstände den Einsatz sowohl in der Lehre als auch für Technologietransfer/Dienstleistungen. Im Fokus der aktuellen Forschung stehen insbesondere die Praxiserprobung und die Weiterentwicklung eines adaptiven Regelalgorithmus zur Betriebsoptimierung von Heizungsanlagen. Dieser wurde bereits im Vorgängerprojekt (FK-03ET1150A) entwickelt und umfassend validiert [2], [3].

TEXT: Jack Anisits, Thomas Scheunemann und Prof. Dr.-Ing. Huu-Thoi Le

**M**oderne Prüfstände mit umfangreicher Steuerungs- und Sensortechnik eignen sich zur Untersuchung und Optimierung des Betriebsverhaltens von Gesamtsystemen und einzelner Komponenten beziehungsweise Produkte. Die Verknüpfung mit der Systemsimulation ergibt eine effiziente Entwicklungsmethode, da sie die Vorteile der Simulation und der Messung verbindet. Für den Einsatz in der Heizungstechnik bietet sich als Simulationswerkzeug die gekoppelte Gebäude-Anlagen-Simulation an. Sie ermittelt insbesondere die Wechselwirkungen zwischen:

- der Gebäudehülle (Wände, Decken, Fenster, Verschattung, Möbel, usw.)
- der Heizungsanlage (Kessel, Pumpe, Heizkörper, Ventile, usw.)
- dem Nutzerverhalten (Mensch)

– der Umwelt (Wetterdaten)  
Die realen Komponenten stellen dabei Teilsysteme dar, deren Betriebsverhalten allen möglichen (realen) Einflüssen unterliegt. Die Reproduzierbarkeit von Randbedingungen ermöglicht unter anderem die Analyse unter kritischen Betriebsbedingungen. Das hilft, ein Produkt auf seine Praxistauglichkeit zu prüfen, ohne dass es aufwendige und kostspielige Feldmessungen erfordert. Auch ist ein objektiver Vergleich beziehungsweise die Bewertung unterschiedlicher Produkte oder Konzepte möglich, indem energetische oder wärmephysiologische Kennzahlen ermittelt werden. Eine weitere Anwendung ist die Validierung und Verifizierung von Simulationsmodellen.

## Konzept

Die Verbindung realer Komponenten (Hardware) mit einer virtuellen Umgebung im Rahmen einer Simulation (Soft-

ware) wird auch als HiL-Simulation (Hardware-In-The-Loop) bezeichnet. Je nach Untersuchungsschwerpunkt kann die reale Komponente zum Beispiel ein einzelnes Ventil, eine Umwälzpumpe oder ein Wärmeerzeuger sein; auch ist ein zusammenhängendes Heizungsrohrnetz mit mehreren Ventilen und Umwälzpumpen denkbar. Als Schnittstelle zwischen der Hard- und Software dient der SPS-Controller. Dieser übersetzt die verschiedenen analogen Signale der Aktoren und Sensoren, mithilfe von sogenannten Busprotokollen, in digitale Größen. Das geschieht in beide Richtungen, wodurch ein Informationsaustausch zwischen der Simulation und den realen Komponenten ermöglicht wird. **Bild 1** zeigt ein Beispiel der Wirkungsweise in einem Prüfaufbau für hydraulische Untersuchungen einer Radiatorenheizung. Hierbei wird die Thermik (Temperaturen, Wärmeströme) mithilfe der Gebäude-Anlagen-Simulation auf der Softwareseite berechnet. Als Eingang

dienen die Messwerte der Volumenströme in den einzelnen Teilstrecken des realen Rohrnetzes. Diese beeinflussen die Wärmeabgabe an den Radiatoren und somit auch die Raumtemperaturen im virtuellen Gebäude. Ist die Einzelraumregelung ein Teil der simulierten Umgebung, berechnet sie die erforderlichen Ventilhube und gibt die Stellsignale an die realen Regelventile zurück. Denkbar ist auch die Einbindung der Einzelraumregelung in die Realität. Die Simulation übergibt dann lediglich die Ist-Raumtemperaturen.

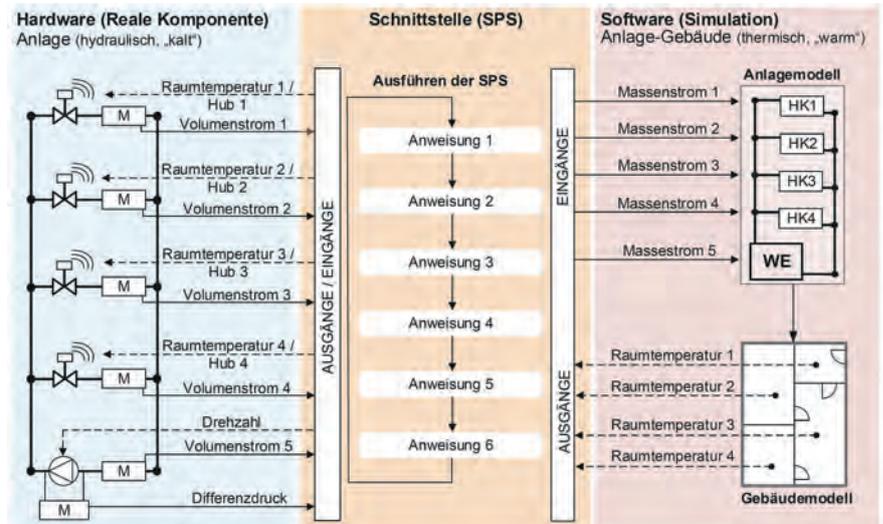
### Entwicklung der Demonstratoren

Im genannten Forschungsprojekt geht es um die Validierung und Verifikation eines adaptiven Regelalgorithmus für Heizungsanlagen. Von besonderem Interesse dafür sind das reale Betriebsverhalten der Wärmeerzeugung (Thermik), der Radiatoren sowie der Fußbodenheizung (Hydraulik). Entsprechende HiL-Prüfstände wurden für die jeweilige Zielstellung entwickelt und errichtet. Im Folgenden werden die Prüfstände vorgestellt und ausgewählte Funktionalitäten beziehungsweise Ergebnisse präsentiert.

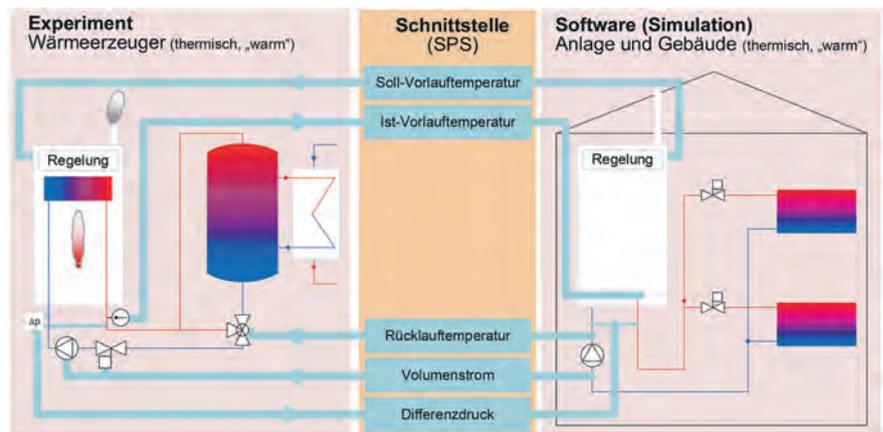
### Untersuchung des thermischen Verhaltens von Wärmeerzeugern

Der sogenannte Thermische Prüfstand dient der Untersuchung des Betriebsverhaltens einer realen Wärmeerzeugung wie beispielsweise eines Gas-Brennwertkessels oder einer Wärmepumpe. Durch das beschriebene HiL-Konzept gelingt sowohl die Integration der Komponente als auch die Interaktion mit einer gekoppelten Gebäude-Anlagen-Simulation. Dabei bedient sich die Simulation der gemessenen Ist-Vorlauftemperatur, die wiederum beeinflusst wird durch die Soll-Vorlauftemperatur sowie der Leistungsanforderung (Rücklauftemperatur, Massestrom) aus der virtuellen Heizungsanlage. Diese Größen berechnet die Simulationsumgebung und gibt sie entsprechend über die Schnittstelle an die realen Komponenten weiter. Auch in diesem Fall resultiert ein geschlossener Wirkungskreis (**Bild 2**).

Die Soll-Vorlauftemperatur ergibt sich in der Regel anhand der Heizkurve. Aufgrund der Wetterdaten existiert eine virtuelle Außentemperatur, die einer Soll-Vorlauftemperatur zugeordnet werden



**Bild 1:** Prinzip der HiL-Simulation am Beispiel einer Radiatorenheizung (vereinfacht). Grafik: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]



**Bild 2:** Prinzip der HiL-Simulation mit einem Wärmeerzeuger (vereinfacht). Grafik: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]

kann. Dies geschieht unter Berücksichtigung der modellierten Heizungsanlage und der eingesetzten Wärmeerzeugung. Am Prüfstand erfolgt die Vorgabe der Soll-Vorlauftemperatur über eine analoge Schnittstelle (0 bis 10 V) an den realen Wärmeerzeuger.

Um die geforderte Rücklauftemperatur in der Realität einzustellen, muss sie erst zur Verfügung gestellt werden. Das Einregulieren dieser Temperatur am Prüfstand gelingt in einem nachgeschalteten Prozess, der sich aus einem Kühlwasserspeicher bedient. So wird gering temperiertes Wasser mit heißem Vorlaufwasser gemischt (Mischventil). Ein entsprechender Regler bestimmt das aktuelle Mischungsverhältnis und stellt die Rücklauftemperatur gemäß der Simulation ein.

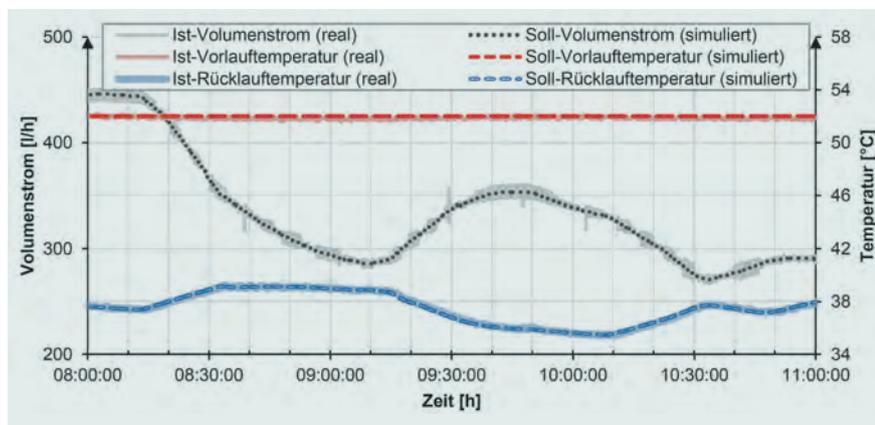
Der geforderte Massestrom ergibt sich aufgrund der virtuellen Anlagenhydraulik,

auch bekannt als hydraulischer Widerstand, und der aktuellen Drehzahl der Umwälzpumpe. Ausschlaggebend für den hydraulischen Anlagewiderstand sind die Hubstellungen der Regelventile entsprechend der simulierten Versorgungszustände der Räume, des geförderten Massestroms und des Druckverlustes des realen Wärmeerzeugers. Dieser kann direkt über den Vor- und Rücklaufstutzen gemessen und an die Simulation weitergegeben werden. Die Einstellung des Massestroms erfolgt durch das Hinzuschalten einer (optionalen) externen Pumpe und eines Drosselventils.

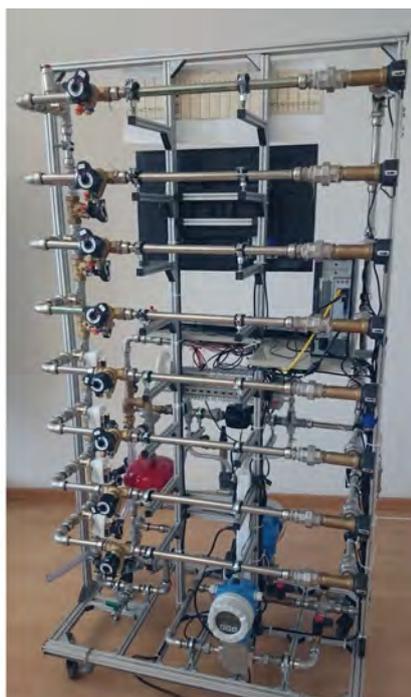
Sowohl das Misch- als auch das Drosselventil verfügen über einen hoch auflösenden Stellantrieb mit kurzer Stellzeit und einem großem Stellverhältnis. Damit ermöglichen sie höchste Genauigkeit in ihrem jeweiligen Regelkreis. ▶



**Bild 3:** Ansichten des Thermischen Prüfstands für die Wärmeerzeugung. Bild: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]



**Bild 4:** Zusammenwirken der Volumenstrom- und Temperaturregelung am Thermischen Prüfstand. Grafik: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]



**Bild 5:** Vorder- und Rückseite des Hydraulischen Prüfstands für Radiatorenheizungen. Bild: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]

**Bild 3** zeigt den realen Aufbau des Thermischen Prüfstands. Dabei lässt sich ein modular gewählter Aufbau erkennen. Wesentliche Vorteile dieses Aufbaus sind die flexible Anordnung der Module entsprechend der Gegebenheiten am Aufstellungsort und die vereinfachten Transportmöglichkeiten. Zudem lassen sich mit geringem Aufwand weitere Module integrieren (Erweiterung). Auch sind bereits Platzhalter für weitere Wärmeerzeuger wie Wärmepumpe vorgesehen.

Das Ergebnis einer ausgewählten Messreihe mit erfolgreicher Temperatur- und Massestromregelung, sowie der Vorgabe der Soll-Vorlauftemperatur zeigt **Bild 4**. Über einen Zeitraum von drei Stunden werden die Soll- und Ist-Kurven verglichen, um die Abweichungen zwischen der Simulation und der Realität sichtbar zu machen. Es ist zu erkennen, dass die Änderungen des Massestroms unverzüglich der Sollvorgabe folgen. Lediglich bei größeren Änderungen des Soll-Massestroms ist eine Verzögerung um wenige Sekunden zu verzeichnen. Für die Beurteilung des grundlegenden Betriebsverhaltens der Wärmeerzeugung ist diese Verzögerung vernachlässigbar. Auch bei der Temperaturregelung zeigen sich Verzögerungen, die aufgrund der thermischen Trägheit des Systems nicht vermeidbar sind. Diese sind für die Aussagekraft der Ergebnisse zu vernachlässigen, sodass insgesamt eine gute Übereinstimmung zwischen der simulierten und der realen Anlage resultiert.

## Untersuchung des hydraulischen Verhaltens von Radiatorenheizungen

Der sogenannte Hydraulische Prüfstand für die Radiatorenheizung dient der Abbildung einfacher und komplexer beziehungsweise verschachtelter Rohrnetzstrukturen von Zweirohr-Heizungsanlagen. In diesem Fall stellt die reale Komponente ein gesamtes Rohrnetz mit Ventilen und Umwälzpumpe dar. Die Aufgabe des Prüfstands ist es, die Hydraulik abzubilden und als Eingabe in die gekoppelte Gebäude-Anlagen-Simulation zurückzuführen. Diese berechnet daraufhin die Wärmebilanzen in der Wärmeerzeugung, den Rohrleitungen, den Heizflächen und den Räumen. Als Rückgabe dient der Ventilhub der Stellantriebe und gegebenenfalls die Drehzahl der Umwälzpumpe. Ausschlaggebend sind die sich ergebenden

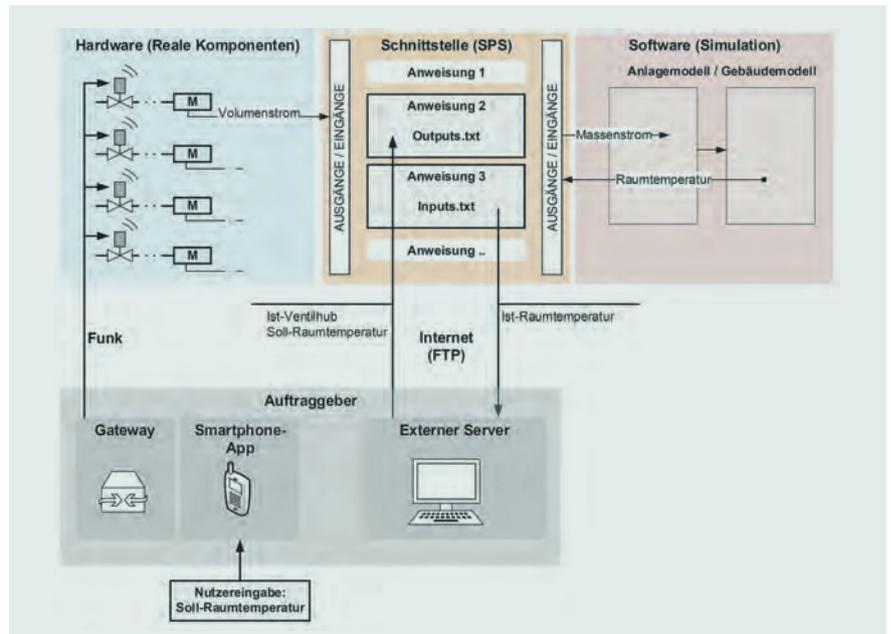
Masseströme in den einzelnen Teilstrecken aufgrund der oben genannten Eingriffe (in der Simulation). Damit die Messergebnisse verwertbar sind, ist zunächst die hydraulische Kalibrierung der Teilstrecken am Prüfstand notwendig. Darunter versteht man die einmalige Angleichung der hydraulischen Widerstände aller realen Teilstrecken auf den Vergleichswert des modellierten Rohrnetzes beziehungsweise der modellierten Teilstrecken. Denn das modellierte Heizungsrohrnetz kann je nach Größe unterschiedliche Rohrlängen und -durchmesser aufweisen, die sich wesentlich von der realen Hydraulik unterscheiden. Für das Kalibrieren eignen sich Strangreguliertventile in den jeweiligen Teilstrecken. Die wesentlichen Arbeitsschritte bei der Kalibrierung sind:

1. Messen der hydraulischen Kenngrößen (Massestrom, Differenzdruck) aller Teilstrecken (einzeln/parallel)
2. Berechnung der realen hydraulischen Widerstände aller Teilstrecken
3. Angleichung der Widerstände zwischen Simulation und Realität durch Variation des Einstellwertes (kv-Wert) an den jeweiligen Strangreguliertventilen
4. Überprüfung der hydraulischen Kenngrößen durch wiederholtes Messen

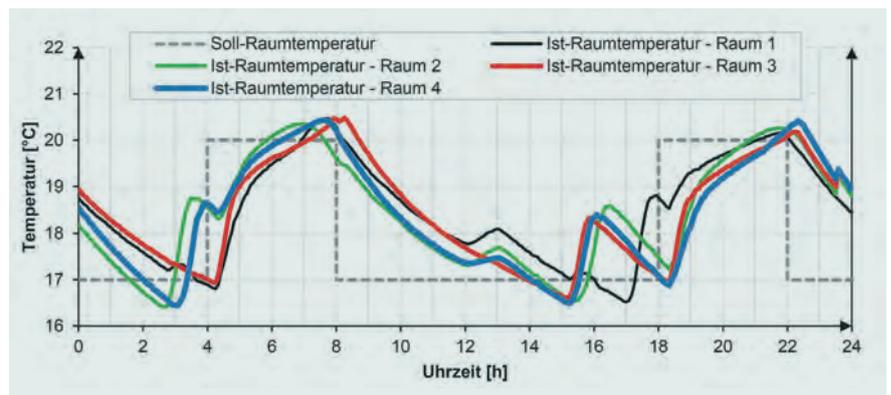
Erst nach Durchführung der Kalibrierung kann die Untersuchung der individuellen Problemstellung erfolgen. Es ist zu beachten, dass bei jeder Änderung an der Hydraulik im Simulationsmodell oder am Prüfstand eine erneute Kalibrierung durchgeführt werden muss.

**Bild 5** zeigt den realen Aufbau des Hydraulischen Prüfstands für Radiatorenheizungen. Eine zentrale Umwälzpumpe versorgt bis zu acht Radiatoren. Die Hydraulik der Wärmeerzeugung berücksichtigt ein optionales Überströmventil. So können auch ältere Wärmeerzeuger (hydraulisch) abgebildet werden. Das Messen der hydraulischen Kenngrößen erfolgt mittels Durchfluss- und Differenzdrucksensoren. Jeder „Wärmeverbraucher“ verfügt über einen elektronischen Stellantrieb. Weiterhin ist die Ansteuerung der Umwälzpumpe vorgesehen.

Besonderer Wert wird auf die Kompaktheit und das vom Aufstellort unabhängige Arbeiten gesetzt. Vorbereitete Rohranschlüsse ermöglichen die Erweiterung der Hydraulik, zum Beispiel um einen weiteren Heizkreis mit einem Fußbodenheizungssystem.



**Bild 6:** Prüfaufbau für die Betriebsanalyse proprietärer Regelgeräte und Stellantriebe. Grafik: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]



**Bild 7:** Simulierte Raumtemperaturverläufe am Hydraulischen Prüfstand für die Radiatorenheizung. Grafik: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]

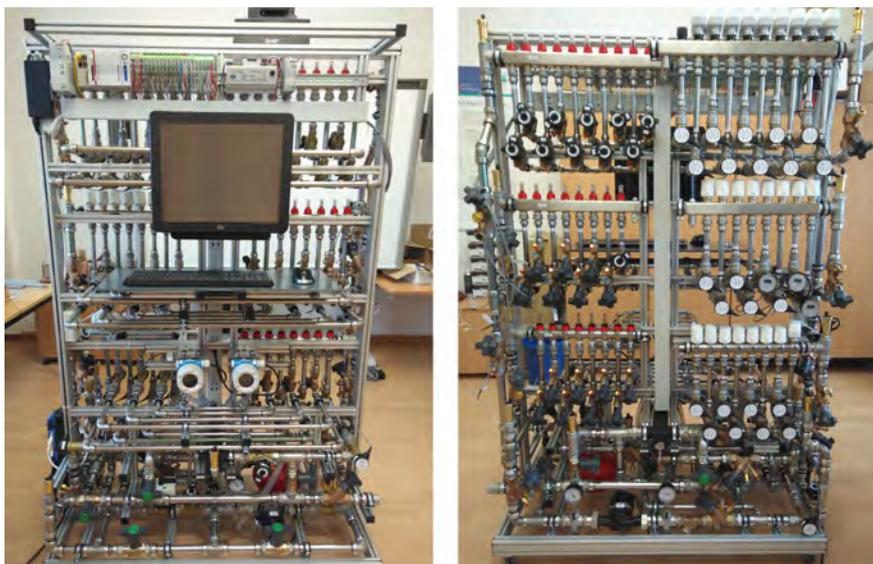
Neben der Funktionalität des Datenaustausches zwischen der Simulation und der Realität ermöglicht der vorhandene SPS-Controller auch die Anwendung externer Steuerungs- und Regelungsmethoden. Die Kommunikation nutzt dann eine Internet-Schnittstelle. So gelang es bereits, die Komponenten und Systeme von Firmendpartnern zu prüfen. Ein Beispiel für den Prüfaufbau zur Analyse des Betriebsverhaltens von proprietären Regelalgorithmen und Stellantrieben mit besonderer Regelaufgabe zeigt **Bild 6**.

Als Ergebnis der HiL-Simulation mit dem entwickelten Algorithmus für den adaptiven hydraulischen Abgleich zeigt **Bild 7** einen ausgewählten Tagesgang der Raumtemperaturen für ein Gebäude mit vier Radiatoren. Jeder Radiator beheizt einen separaten Raum. Gewählt wird der

09.12. mit den Wetterdaten im Testreferenzjahr (TRY4).

## Untersuchung des hydraulischen Verhaltens von Fußbodenheizungen

Der erst kürzlich fertiggestellte Hydraulische Prüfstand für Fußbodenheizungssysteme dient der realen Abbildung der gebräuchlichsten hydraulischen Netzstrukturen. Dabei sind drei Heizkreisverteiler mit insgesamt 26 Heizkreisen vorgesehen. Die Wärmeerzeugung integriert ein optionales Überströmventil und eine hydraulische Weiche. In der Verteilung kann eine einfache beziehungsweise Doppel-Beimischschaltung mit entsprechender Primär- und Sekundärpumpe betrieben werden. Als weitere Eigenschaften sind zu nennen: ▶



**Bild 8:** Vorder- und Rückseite des Hydraulischen Prüfstands für Fußbodenheizungen. Bild: Le, Anisits, Scheunemann, entnommen aus [1]

- Ansteuerung der Heizkreis-Stellantrieben und Umwälzpumpen möglich
- Messgeräte für Volumenstrom und Differenzdruck vorhanden
- Hydraulische Widerstände der Netz-Teilstrecken können durch Abgleichventile einreguliert werden (gemäß abzubildender Heizungsanlage)
- Erweiterung des Hydrauliknetzes möglich (zum Beispiel Kombination mit dem Radiator-Prüfstand)

Die kommunikative Verbindung mit dem SPS-Controller wird analog zum oben genannten Prüfstand für die Radiatorenheizung vorgenommen. Auch gelten hier die Hinweise beziehungsweise die Vorgehensweise zur notwendigen Kalibrierung der hydraulischen Widerstände gemäß der

Vorgabe aus der Gebäude-Anlagen-Simulation. **Bild 8** zeigt den Prüfstands Aufbau für Fußbodenheizungssysteme. Auch hier gelten dieselben oben genannten Grundsätze für die Kompaktheit, das mobile Arbeiten und die Erweiterbarkeit des hydraulischen Systems.

### Fazit

Die Anwendung der oben genannten HiL-Methode in der Heizungstechnik ermöglicht nicht nur die Validierung und Bewertung von innovativen Regelalgorithmen im Gesamtsystem, sondern auch die spezifische Prüfung von Einzelkomponenten. Mithilfe der an der Beuth Hochschule für Technik Berlin entwickelten Prüfstände gelingt die – je nach Anwendungs-

schwerpunkt – hydraulische oder thermische Untersuchung der interessierenden Systeme. Eine Erweiterung des Anwendungsbereiches lässt sich noch durch eine zukünftige (virtuelle) Verknüpfung der HiL-Plattformen erreichen. Aber schon jetzt eröffnen sich unterschiedliche Einsatzbereiche, wie **Tabelle 1** zusammenfassend zeigt. ■



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

### LITERATUR

- [1] Le, H.-T.; Anisits, J.; Scheunemann, T.: SmartAdapt: Entwicklung eines Demonstrators für ein adaptives Heizungssystem mit anschließendem Feldtest, Abschlussbericht (FK-03ET1431A), 2021.
- [2] Le, H.-T.; Anisits, J.; Scheunemann, T.: IN-NOHEAT : Entwicklung eines innovativen Heizungssystems nach dem Plug & Play-Prinzip mit umfangreichen Adaptionfunktionen, Abschlussbericht (FK-03ET1150A), 2017.
- [3] Le, H.-T.; Anisits, J.; Scheunemann, T.: Adaptives Heizungssystem nach dem Plug-and-Play-Prinzip, HLH Bd. 69 (2018) Nr. 6, S. 38–42.



**Jack Anisits, M. Eng.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Beuth Hochschule für Technik, Berlin. Bild: Anisits



**Thomas Scheunemann, M. Eng.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Beuth Hochschule für Technik, Berlin. Bild: Scheunemann

**Prof. Dr.-Ing. Huu-Thoi Le**

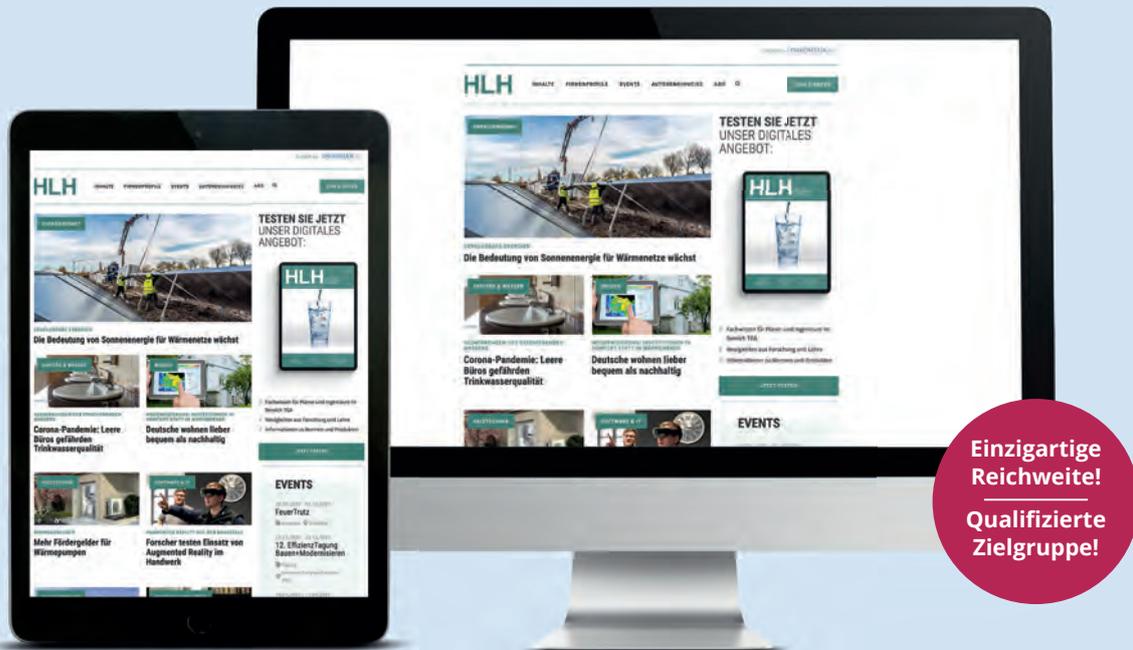
ist Professor für Heizungs-, Energie- und Umwelttechnik an der Beuth Hochschule für Technik, Berlin.

Forschung	Lehre	Technologietransfer / Dienstleistung
Vertiefende Validierung von Regelalgorithmen im realen Heizungsnetz	Abschlussarbeiten mit individuellen Aufgabenstellungen	Validierung von Regelalgorithmen unter Einsatz proprietärer Regelgeräte und Stellantriebe
Messung der Kennlinien von Stell-Komponenten (Pumpe, Ventile, Wärmeerzeuger)	Durchführung von Laborübungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydraulischer Abgleich</li> <li>• Kennlinienmessungen von Thermostatventilen, Pumpen, Wärmeerzeugern</li> </ul>	Untersuchung des Betriebsverhaltens von proprietären Komponenten bei kritischen Betriebssituationen
Entwicklung von Kommunikations-Schnittstellen zur Ansteuerung von Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhalten von hydraulischen Schaltungen</li> <li>• Thermisches Verhalten von Wärmeerzeugern</li> </ul>	Prüfung von Komponenten/ Algorithmen unter normativen Anforderungen

**Tabelle 1:** Anwendungsbereiche der HiL-Prüfstände

# ARTIKEL-SPONSORING – WIR BRINGEN IHR THEMA IN DEN MARKT

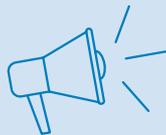
Ihr Beitrag auch auf [www.hlh.de](http://www.hlh.de)



In unserer Fachzeitschrift ist ein Beitrag von Ihnen erschienen? Oder wurde über Sie, Ihre Produkte und Systeme berichtet? Stellen Sie Ihren Fachbeitrag einem noch breiteren Publikum zur Verfügung und lassen Sie die hochkarätige Zielgruppe des Online-Portals von Ihrem Know-how profitieren.



- Erweiterte Leserschaft: Ihr Beitrag erscheint öffentlich zugänglich auf [www.hlh.de](http://www.hlh.de) und ist somit für das breite Fachpublikum und auch für Nicht-Abonnenten zugänglich.



- Große Reichweite: Ihr Beitrag wird zusätzlich auf der Startseite von [www.ingenieur.de](http://www.ingenieur.de), dem reichweitenstärksten Ingenieurportal Deutschlands, ausgespielt.



- Der Artikel wird individuell nach Ihren Wünschen modifiziert oder ergänzt und um Logo und Kontaktdaten erweitert.

Wir beraten Sie gerne. Ihr direkter Kontakt für Informationen oder ein Angebot:  
Joanna Klingbiel | Telefon: +49 40 881449-370 | [jklingbiel@cmc-web.de](mailto:jklingbiel@cmc-web.de)



**Bild 1:** Rohrschlangen-Erdwärmekollektor nach Verlegung im Erdreich.  
Bild: Erdwärme PLUS



**Bild 2:** Kapillarrohrmatten-Erdwärmekollektor nach Verlegung im Erdreich.  
Bild: Institut für Solarenergieforschung ISFH

### Teil 1: Modellbeschreibung der Sole/Wasser-Wärmepumpe

# Die elektrische Sole/ Wasser-Wärmepumpe mit Erdwärmekollektoren

Im Gegensatz zur Luft/Wasser-Wärmepumpe, bei der die Außenluft als Wärmequelle dient, nutzt die Sole/Wasser-Wärmepumpe das Erdreich als Wärmequelle. Um diese Wärme mit Hilfe der flüssigen Sole entziehen zu können, setzt man Erdwärmekollektoren oder Erdwärmesonden als Wärmeübertrager ein. Im Nachfolgenden wird modellmäßig das Teillastverhalten der Kopplung von Erdwärmekollektor und drehzahlgesteuerter Wärmepumpe beschrieben.

*Text: Prof. Dr.-Ing. Hans-Herbert Vogel*

Zurückgegriffen wurde dabei auf das Simulationsmodell „Erdwärmekollektoren“ von Glück [1]. Die Wärmepumpe wurde mit dem konstanten Gütegrad modelliert. Abhängig von dem Standort, der Erdbodenbeschaffenheit, dem Kollektortyp und der Kollektor-Auslegungsleistung lässt sich die Arbeitszahl, die flächenspezifische maximale Heizleistung, die minimale Soletemperatur und die Gefrierdicke des Erdreiches an einem Stichtag des Jahres abschätzen. Im Teil 2 dieses Aufsatzes werden die Auslegung und die Simulationsergebnisse an den Standorten Bremerhaven, Kassel und Mühlendorf vorgestellt.

Als Erdwärmekollektoren werden überwiegend Flachkollektoren eingesetzt, auf die sich dieser Aufsatz beschränkt. Bei diesen handelt es sich um erdverlegte Rohrschlangen mit relativ großem Rohrdurchmesser, beispielsweise 32 x 2,9 mm (Bild 1), oder Kapillarrohrmatten (parallel durchströmte Rohre mit Verteil- und Sammelrohr) mit relativ kleinem Durchmesser, beispielsweise 4,3 x 0,8 mm (Bild 2). In den Rohrschlangen strömt die Sole (Wasser-Propylenglykol-Gemisch) turbulent, in den kleinen Rohren der Matten laminar. Die Flachkollektoren liegen parallel zur Erdoberfläche in einer Verlegetiefe von etwa 1,2 Meter. Das Erdreich arbeitet prinzipiell als Wärmespeicher, der in der Heizperiode von der Wärmepumpe entladen und vor allem im Sommer von der Sonne durch Strahlung und Luftkonvektion beladen wird. Ein geringer Anteil der Beladung entfällt auf das in rund fünf Metern Tiefe gelegene Erdreich (Erdsohle), dessen Temperatur durch das fließende Grundwasser beeinflusst wird. Mathematisch führt der Be- und Entladeprozess im Verlauf eines Jahres auf die Fouriersche Differenzialgleichung für die zweidimensionale instationäre Wärmeleitung, die numerisch mit dem Simulationsmodell „Erdwärmekollektoren“ von Glück [1], das auf der Finite-Volumen-Methode basiert, gelöst werden kann. Die genannte Methode wurde von Glück gewählt, um die Latentspeichereigenschaften des gefrierenden feuchten Erdreiches als Quelleneigenschaft berücksichtigen zu können. Das kostenlose Programm ist in Visual Basic geschrieben und der verfügbare Quellcode kann vom Nutzer geändert werden.

Bild 3 zeigt den Solekreislauf mit den Wärmeübertragern, dem Erdwärmekollektor und Verdampfer der Wärmepumpe, welche außerdem aus dem Verdichter, dem Verflüssiger (Kondensator) und dem Expansionsventil (Drossel) besteht. Die Solepumpe pumpt die vom Erdreich erwärmte Sole vom Kollektor in den Verdampfer, wo das Kältemittel des Wärmepumpenkreises verdampft und überhitzt wird. Dadurch kühlt sich die Sole ab und gelangt zurück zum Kollektor zur Aufwärmung.

### Das Teillastverhalten des Erdreiches und des Erdwärmekollektors

Um beim Wärmeübergang der Außenluft an den Erdboden die direkte und diffuse Sonnenstrahlung zu berücksichtigen, wurde in Näherung auf den Ansatz der Sonnenlufttemperatur

$$t_{SL} = t_a(\tau) + \frac{a \dot{I}_{ges}(\tau)}{\alpha_a} \tag{1}$$

zurückgegriffen [1]. Es bedeuten  $t_a(\cdot)$  den Jahresgang der Außenlufttemperatur bezüglich der Zeit,  $\dot{I}_{ges}(\cdot)$  den Jahresgang der Globalstrahlung,  $a$  den Absorptionskoeffizienten des Erdbodens für die Globalstrahlung und  $\alpha_a$  den äußeren Gesamtwärmeübergangskoeffizienten. Die benötigten meteorologischen Daten können beispielsweise dem jeweiligen Testreferenzjahr nach DIN 4710 [3] gemäß zutreffender Klimazone entnommen werden. Gewählt wurden für den Teil 2 dieses Aufsatzes die Standorte Bremerhaven (Klimazone 1), Kassel (Klimazone 7) und Mühlendorf (Klimazone 13), für welche die Testreferenzjahre TRY 2010 (Bezugszeitraum: 1988-2007) über das Programm GEBSIMU 7.31 von Rouvel [4] vorlagen. Für den Absorptionskoeffizienten wurde  $a = 0,3$  und für den Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha_a = 15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  angenommen. Diese Werte repräsentieren etwa einen unverschatteten Erdboden mit Rasen.

Die Temperatur der Erdsohle in der Tiefe von fünf Metern wurde als Konstante mit 10 °C vorgegeben. Dieser Wert entspricht etwa der Grundwassertemperatur. Als Erdreich wurde Sand mit Lehmantilen und dem Wasseranteil  $x_W = 10 \text{ Vol.-%}$  angenommen. Tabelle 1 enthält die Dichte  $\rho_E$ , die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_E$ , die spezifische Wärmekapazität  $c_E$  und die spezifische Schmelzenthalpie  $r_E$  dieser feuchten Erde nach [1].

Die Attribute fest und flüssig bezeichnen den Aggregatzustand des in der Erde enthaltenen Wassers. Die spezifische Schmelzenthalpie  $r_E$  der feuchten Erde berechnet sich aus

$$r_E = r_W \frac{\rho_W}{\rho_E} x_W \tag{2}$$

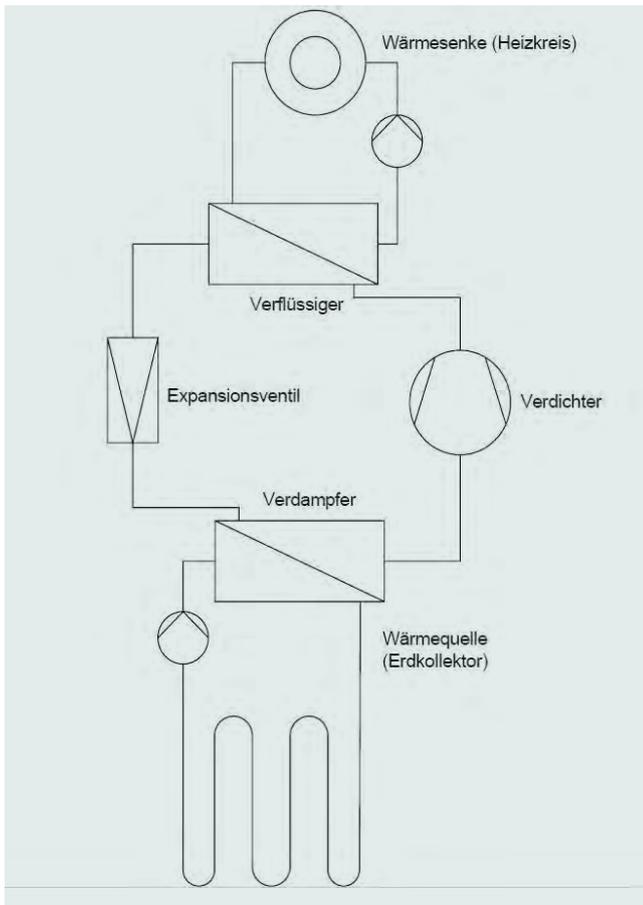
mit  $r_W = 333,5 \text{ kJ}/\text{kg}$  als spezifische Schmelzenthalpie und  $\rho_W = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$  als Dichte des Wassers. Bezüglich des Erdwärmekollektors wurde die flächenspezifische Kollektorleistung

$$\dot{q}_0(\tau) := \frac{\dot{Q}_0(\tau)}{A_K} \tag{3}$$

als Eingangsgröße des Programms gewählt. Es bezeichnet  $A_K$  die Kollektorfläche und  $\dot{Q}_0(\cdot)$  die Verdampferleistung, die bei

Eigenschaft	E		E		c <sub>E</sub>		r <sub>E</sub>
Einheit	kg/m <sup>3</sup>		W/(m K)		J/(kg K)		kJ/kg
Aggregatzustand	fest	flüssig	fest	flüssig	fest	flüssig	
Größe	1630	1630	1,66	1,5	917	1046	20,5

Tabelle 1: Stoffeigenschaften der feuchten Erde (E) mit dem Wasseranteil  $x_W = 10 \text{ Vol.-%}$ . Erklärung der abgekürzten Eigenschaften siehe Text.



**Bild 3:** Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Sole- und Heizkreis.  
Grafik: Ramming [2]

einem adiabaten Verdampfer gleich der Kollektorleistung ist. Bei einer drehzahleregelten Wärmepumpe folgt die Wärmepumpenleistung  $\dot{Q}_{WP}$  der von der Außenlufttemperatur  $t_a(\tau)$  abhängigen Heizleistung

$$\dot{Q}_H(\tau) = \dot{Q}_{WP}(\tau) = \dot{Q}_{H,\max} \frac{t_R - t_a(\tau)}{t_R - t_{a,\min}} \quad \text{mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (4)$$

worin  $\dot{Q}_{H,\max}$  die maximale Heizlast nach DIN EN 12831 [5] bei der Auslegungstemperatur  $t_{a,\min}$  (kältester Tag),  $t_R = 16 \text{ °C}$  die fiktive Rauminnentemperatur nach DIN EN 14825 [6] und  $t_{a,G}$  die Heizgrenztemperatur bedeuten. Die Leistungszahl der Wärmepumpe

$$\text{COP}(\tau) := \frac{\dot{Q}_H(\tau)}{P_{el}(\tau)} = \frac{\dot{Q}_0(\tau) + P_{el}(\tau)}{P_{el}(\tau)} \quad (5)$$

vergleicht die Heizleistung mit der elektrischen Antriebsleistung  $P_{el}(\tau)$  des Verdichters. Bei einem adiabaten Verdichter ist nach der Energiebilanz mit der Systemgrenze um die Wärmepumpe die Heizleistung gleich der Summe aus Verdampferleistung und elektrischer Antriebsleistung. Löst man Gleichung 5 nach der Verdampfer- beziehungsweise Kollektorleistung auf, und ersetzt  $P_{el}(\tau)$  durch die Leistungszahl  $\text{COP}(\tau)$ , folgt

$$\dot{Q}_0(\tau) = \dot{Q}_H(\tau) \left( 1 - \frac{1}{\text{COP}(\tau)} \right) \quad (6)$$

Mit

$$\dot{q}_{H,\max} := \frac{\dot{Q}_{H,\max}}{A_K} \quad (7)$$

als flächenspezifischer maximaler Heizleistung ist mit Gleichung 4 die flächenspezifische Kollektorleistung

$$\dot{q}_0(\tau) := \frac{\dot{Q}_0(\tau)}{A_K} = \dot{q}_{H,\max} \frac{t_R - t_a(\tau)}{t_R - t_{a,\min}} \left( 1 - \frac{1}{\text{COP}(\tau)} \right) \quad \text{mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (8)$$

eine Funktion der Außenlufttemperatur  $t_a(\tau)$  und der Leistungszahl  $\text{COP}(\tau)$ . Wird in Näherung die Leistungszahl  $\text{COP}(\tau)$  durch die konstante Arbeitszahl  $\text{SCOP}$ , die noch erläutert wird, ersetzt, ist mit der maximalen Kollektorleistung (Kollektor-Auslegungsleistung)

$$\dot{q}_{0,\max} := \frac{\dot{Q}_{0,\max}}{A_K} = \dot{q}_{H,\max} \left( 1 - \frac{1}{\text{SCOP}} \right) \quad (9)$$

die flächenspezifische Kollektorleistung

$$\dot{q}_0(\tau) := \frac{\dot{Q}_0(\tau)}{A_K} = \dot{q}_{0,\max} \frac{t_R - t_a(\tau)}{t_R - t_{a,\min}} \quad \text{mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (10)$$

nur von der Außenlufttemperatur  $t_a(\tau)$  abhängig. Die Zeitabhängigkeit folgt aus den meteorologischen Daten eines Testreferenzjahres. Gleichung 10 ist nach entsprechender Programmänderung die Randbedingung für den Kollektor. Nach Vorgabe der geometrischen Abmessungen des Kollektors und der Auslegungsgröße  $\dot{q}_{0,\max}$  berechnet das Programm die Soletemperatur  $t_s(\tau)$ , die Temperaturverteilung im Erdreich nebst des eventuell auftretenden Gefrierbereiches, die Sonnenleistung am Erdboden und die Leistung an der Erdsohle als Funktion der Zeit sowie die Jahreswärmemengen für Kollektor, Erdboden und Erdsohle. Im eingeschwungenen Zustand, der sich nach zwei bis drei Jahreszyklen einstellt, ist die Summe der Jahreswärmemengen gemäß der Energiebilanz null.

## Das Teillastverhalten der Wärmepumpe

Die Wärmepumpe arbeitet zwischen der Soletemperatur  $t_s(\tau)$  und der Heiztemperatur

$$t_H(\tau) := t_R + (t_{H,\max} - t_R) \left( \frac{t_R - t_a(\tau)}{t_R - t_{a,\min}} \right)^{1/m} \quad \text{mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (11)$$

vergleiche Gleichung 13 in [7]. In der Regel gibt man in dieser Gleichung die Raumtemperatur  $t_R = 20 \text{ °C}$  vor. Für die Niedertemperaturheizung, auf die sich dieser Aufsatz beschränkt, beträgt die maximale Heiztemperatur als Mittelwert  $t_{H,\max} = 32,5 \text{ °C}$ , vergleiche Tabelle 8 in DIN EN 14825 [6]. Für diese Heizung gilt der Heizkörperexponent  $m = 1,1$ . Der Kollektor liefert die Soletemperatur  $t_s(\tau)$ , wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, und Gleichung 11 die Heiztemperatur als Funktion der Zeit. Dies erlaubt es, die reversible Leistungszahl

$$\text{COP}_{\text{rev}}(\tau) = \frac{T_H(\tau)}{T_H(\tau) - T_S(\tau)} \quad (12)$$

zu berechnen, wobei in Gleichung 12 thermodynamische Temperaturen zu setzen sind. Der Gütegrad der Wärmepumpe

$$\zeta := \frac{\text{COP}(\tau)}{\text{COP}_{\text{rev}}(\tau)} \quad (13)$$

ist bei drehzahlgeregelten Wärmepumpen etwa konstant. Repräsentativ für eine gute Sole/Wasser-Wärmepumpe wurde  $\zeta = 0,475$  angenommen. Damit lässt sich die Leistungszahl  $\text{COP}(\tau)$  als Funktion der Zeit abschätzen. Die Jahresheizlast ist mit Gleichung 4 und dem gewählten Testreferenzjahr

$$Q_H := \sum_{\tau=0}^{8760\text{h}} \dot{Q}_H(t_a(\tau)) \Delta\tau \text{ mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (14)$$

Das Zeitintervall beträgt  $\Delta\tau = 1$  h. Analog folgt für den Jahresstromverbrauch

$$W_{\text{el}} := \sum_{\tau=0}^{8760\text{h}} \frac{\dot{Q}_H(t_a(\tau))}{\text{COP}(t_a(\tau))} \Delta\tau \text{ mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (15)$$

Die Heizgrenztemperatur ist mit  $t_{a,G} = 12$  °C festzulegen, da die Testreferenzjahre Stunden- und keine Tagesmittelwerte beinhalten. Die Arbeitszahl

$$\text{SCOP} := \frac{Q_H}{W_{\text{el}}} \quad (16)$$

vergleicht die Jahresheizlast mit dem Jahresstromverbrauch. Sie hängt nicht von der maximalen Heizlast ab, da sich diese Größe im Quotienten kürzt. Mit dem Primärenergiefaktor

$$\text{CC} := \frac{m_B H_o}{W_{\text{el}}} \quad (17)$$

nach DIN EN 14825 [6] folgt schließlich die Heizzahl (Energieeffizienz)

$$\eta_s := \frac{Q_H}{m_B H_o} = \frac{Q_H}{W_{\text{el}}} \frac{W_{\text{el}}}{m_B H_o} = \frac{\text{SCOP}}{\text{CC}} \quad (18)$$

In Gleichung 17 ist  $m_B H_o$  der fossile Jahres-Primärenergieverbrauch, gebildet aus dem Produkt von Brennstoffmasse  $m_B$  und dem spezifischen Brennwert  $H_o$  des Brennstoffes. Der Primärenergiefaktor hat nach DIN EN 14825 den Wert  $\text{CC} = 2,5$ . Die Volllastbetriebszeit wird gemäß den Gleichungen 4 und 14 abgeschätzt durch

$$\tau_H := \frac{Q_H}{\dot{Q}_{H,\text{max}}} = \frac{1}{t_R - t_{a,\text{min}}} \sum_{\tau=0}^{8760\text{h}} (t_R - t_a(\tau)) \Delta\tau \text{ mit } t_a(\tau) \leq t_{a,G} \quad (19)$$

Die flächenspezifische Kollektorjahreswärme ist damit

$$q_0 := \frac{Q_0}{A_K} = \dot{q}_{0,\text{max}} \tau_H \quad (20)$$

und die flächenspezifische Jahresheizlast

$$q_H := \frac{Q_H}{A_K} = \frac{\dot{q}_{0,\text{max}}}{1 - 1/\text{SCOP}} \tau_H = \dot{q}_{H,\text{max}} \tau_H \quad (21)$$

## Zusammenfassung

Die Leistungszahl  $\text{COP}(\tau)$  hängt bei konstant angenommenem Gütegrad gemäß Gleichung 13 über Gleichung 12 von der Heiztemperatur  $t_H(\tau)$  nach Gleichung 11 ab sowie von der Soletemperatur  $t_S(\tau)$ , die das Programm „Erdwärmekollektoren“ von Glück [1] durch die Vorgabe der zeitabhängigen Kollektorleistung nach Gleichung 10 liefert. Dazu sind die Kollektor-Auslegungsleistung nach Gleichung 9, der Kollektortyp (Kollektor-Geometrie), die Erdbodenbeschaffenheit und der Standort vorzugeben. Mit dem Jahresgang der Außenlufttemperatur  $t_a(\tau)$  und der niedrigsten Außentemperatur  $t_{a,\text{min}}$  folgt mit den Gleichungen 4, 12, 13, 14 und 15 die Arbeitszahl SCOP. Aus Gleichung 9 folgt damit die flächenspezifische maximale Heizleistung. Die Gefrierdicke des Erdreiches als Funktion der Zeit ist ein weiteres Ergebnis des Programmes „Erdwärmekollektoren“. Um mit der Arbeitszahl und der Kollektor-Auslegungsleistung die erforderliche Kollektorfläche  $A_K$  zu bestimmen, nutzt man die Gleichungen 7 und 9. ■

### F O R T S E T Z U N G F O L G T

In Teil 2 dieses Aufsatzes wird die Auslegung des Kollektors an einem Beispiel beschrieben. Weiterhin werden die Simulationsergebnisse für den Kapillarrohrmatten- und den Rohrschlangen-Kollektor an den Standorten Bremerhaven, Kassel und Mühlendorf mit dem Erdreich der Tabelle 1 vorgestellt.

### L I T E R A T U R

- [1] Glück, B.: Wärmetechnischer Vergleich von Erdwärmekollektoren unterschiedlicher Bauart und zusätzliche Nutzung eines Luft-Sole-Wärmeübertragers, In: HLH Bd. 58 (2007), Nr. 12 sowie In: <http://berndglueck.de/erdwaermekollektor.php>
- [2] Ramming, K.: Bewertung und Optimierung obenflächennaher Erdwärmekollektoren für verschiedene Lastfälle, Dissertation, TU Dresden 2007.
- [3] DIN 4710: Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland, Beuth Verlag, Berlin Januar 2003.
- [4] Rouvel, L.: Thermische Gebäudesimulation, In: <http://www.gebsimu.de>
- [5] DIN EN 12831-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast, Beuth Verlag, Berlin September 2017.
- [6] DIN EN 14825: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern zur Raumbeheizung und Raumkühlung – Prüfung und Leistungsbeurteilung unter Teilastbedingungen und Berechnung der saisonalen Arbeitszahl, Beuth Verlag, Berlin März 2016.
- [7] Vogel, H.-H.: Leistungszahl und Heizzahl drehzahl geregelter Luft/Wasser-Wärmepumpen, In: HLH Bd. 70 (2019), Nr. 3, S. 66-70.



**Prof. Dr.-Ing.  
Hans-Herbert Vogel**

war Professor an der Hochschule Ostfalia Wolfenbüttel. Schwerpunkte: Energietechnik, Thermodynamik.  
Bild: Autor

## Teil 2: Kältemittelauswahl

# Kältemittelkreisläufe als Wegbereiter für eine nachhaltige Gebäudeenergieversorgung

In Teil 1 dieses Beitrags (HLH Bd. 72 (2021) Nr. 3) wurde bereits erläutert, dass Wärmepumpen zukünftig eine wesentliche Rolle zur nachhaltigen Energieversorgung in allen Sektoren spielen werden. Maßgeblich dafür sind hohe Effizienzen der Energiewandlung. Die Wärmepumpeneffizienz hängt dabei insbesondere von den äußeren Randbedingungen der Wärmequelle und -senke ab. Zudem ist die Auswahl des richtigen Kältemittels von entscheidender Bedeutung, da jenes die Auslegung der einzelnen Kreislaufkomponenten sowie die Prozessführung festlegt. Die Wahl des Kältemittels ist daher eine der ersten und gleichermaßen wichtigsten Entscheidungen bei der Entwicklung von Wärmepumpen [1],[2].

**TEXT:** Christian Vering, Christoph Höges, Jonas Klingebiel, Tim Klebig, Thomas Henn, Dr.-Ing. Valerius Venzik und Univ. Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

**D**ie Wahl des Kältemittels ist aufgrund von Wechselwirkungen im Prozess und insbesondere aufgrund der zusätzlichen Nichtlinearitäten komplex. Zusätzlich existiert eine enorme Anzahl potenzieller Fluide, welche wiederum einer Vielzahl an Anforderungen gerecht werden müssen. Im Wesentlichen können diese Anforderungen auf drei Bereiche aufgeteilt werden: politisch (1), thermo-

dynamisch-technisch (2) und ökonomisch-ökologisch (3).

## Steigende politische Anforderungen

Bereits seit den 1990er Jahren sind Fluide, welche ein Ozonabbaupotenzial (kurz ODP) besitzen, durch das Montrealer Protokoll und darauf aufbauenden Beschlüssen verboten [3]. Mit der F-Gas Verordnung von 2015 wird derzeit zu-

sätzlich eine stufenweise Reduktion der Verkaufsmenge von fluorierten Kältemitteln um 79 Prozent bis 2030 umgesetzt [4]. Seit diesem Jahr ist die Reduktionsmenge auf 55 Prozent im Vergleich zu 2015 angestiegen. Zusätzlich werden sukzessive Verbote für Kältemittel mit hohem GWP bei definierten Anwendungen für spezifische Füllmengen und Nachfüllungen erlassen. Um nachhaltig sowie langfristig gesetzeskonforme Wärmepumpen zur Bereitstellung von Nutzwärme für Wohn-

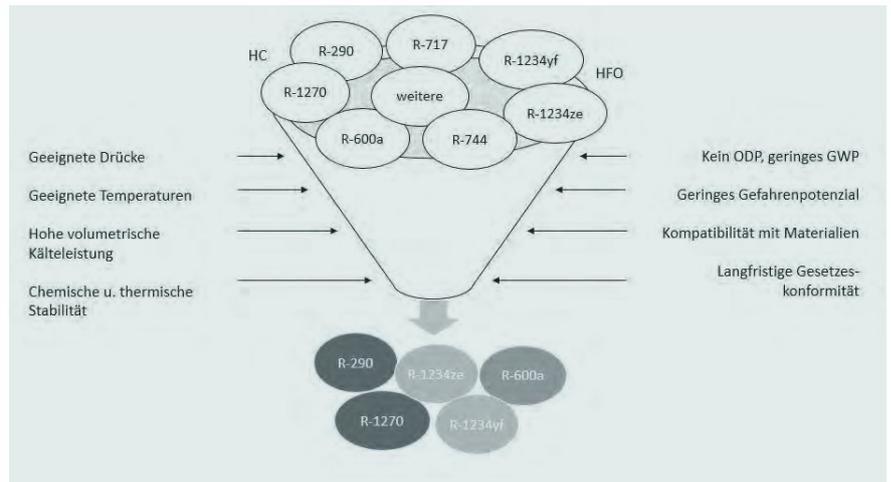
häuser anbieten zu können, sollten zukünftig nur noch Kältemittel mit einem GWP von maximal 150 eingesetzt werden.

### Thermodynamisch-technische Anforderungen

Trotz der zunehmenden politischen Randbedingungen müssen Kältemittel verschiedene, teilweise gegenläufige thermodynamisch-technische Anforderungen erfüllen. Allgemein müssen Kältemittel sowohl thermisch als auch chemisch stabil sein [5]. Weiterhin muss das Kältemittel hinreichend gut in Öl lösbar sein, da eine ausreichende Schmierung des Verdichters sonst nicht sichergestellt werden kann. Darüber hinaus müssen sowohl die Temperatur- als auch die Druckniveaus für den jeweiligen Anwendungsfall geeignet sein. Hierbei sollte ein Kältemittel beispielsweise nicht unterhalb des Umgebungsdrucks betrieben werden. Dies kann zu einer unerwünschten Diffusion von Außenluft in den Kältekreis führen, wodurch ein störungsfreier Betrieb nicht gänzlich sichergestellt werden kann. Ebenso wird dadurch die Effizienz des Wärmepumpensystems stark reduziert. Abschließend sollte ein Kältemittel – insbesondere in der häuslichen Anwendung – nicht toxisch für den Menschen sein.

### Zukünftige ökonomisch-ökologische Anforderungen

Als letztes sind ökonomisch-ökologische Anforderungen zu nennen. In diesem Zusammenhang ist die Effizienz der Energieumwandlung (elektrische Energie in Wärme) einer Wärmepumpe eine relevante Kenngröße. Trotz der zuvor genannten Einschränkungen sollte die Effizienz einer Wärmepumpe nicht negativ von einem Kältemittelwechsel beeinflusst werden, da dies das Potenzial für eine nachhaltige Technologie reduziert. Beispielsweise können zwar durch einen Austausch des Kältemittels mit einem niedrigen GWP-Kältemittel die direkten Emissionen, die lediglich im Falle der Kältemittelleckage auftreten, vergleichsweise einfach reduziert werden. Gleichzeitig können allerdings die indirekten Emissionen einer Wärmepumpe durch einen erhöhten Strombezug bei einer geringeren Effizienz drastisch zunehmen. Das gilt analog für die Kosten, die ebenfalls vom Strombezug abhängen. Zusätzlich sollten



**Bild 2:** Anforderungen an Kältemittel und Reduktion potenziell geeigneter Kandidaten durch äußere Vorgaben. Grafik: Christian Vering

die Kosten des Kältemittels möglichst niedrig sein, um die Marktdurchdringung von Wärmepumpen nicht zu hemmen.

### Vollautomatisierte Kältemittelauswahl für Wärmepumpen im Gebäudesektor

Aufgrund der enormen Anzahl an Anforderungen, die zum Teil nicht linear und gegenläufig sein können, wurde am Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik der RWTH Aachen eine vollautomatisierte Methodik entwickelt, die eine rigorose Untersuchung der Kältemittel unter gegebenen Randbedingungen erlaubt. Dabei werden die Kältemittel automatisiert nach den verschiedenen Anforderungen

untersucht, gefiltert und damit vorausgewählt. Nach der Vorauswahl wird durch eine detaillierte Analyse des Wärmepumpenkreislaufs eine Bewertung der Kältemittel vorgenommen. Zur vereinfachten Darstellung dieser Methodik wird im Folgenden am Beispiel einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser die entwickelte Methodik vorgestellt.

Zur Kältemittelauswahl müssen zunächst die Randbedingungen für die auszuliegende Anlage festgelegt werden. Die verwendeten Randbedingungen in der vorgestellten Studie sind in **Tabelle 1** dargestellt. Innerhalb der ersten Vorauswahl werden die allgemeinen

### Stellenangebot



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN  
University of Applied Sciences

**Zukunftsorientiert, praxisnah, forschungsstark:** Im Herzen der Hauptstadt bietet die Beuth Hochschule für Technik Berlin das größte ingenieurwissenschaftliche Studienangebot in der Region. Unter dem Motto „Studiere Zukunft“ bilden wir in 80 technischen, natur-, lebens- und wirtschaftswissenschaftlichen Studiengängen mehr als 12.000 Studierende stets am Puls der Zeit aus und engagieren uns in der beruflichen Weiterbildung. Mit 300 Professor\*innen, 400 Beschäftigten in Verwaltung und Wissenschaft und unseren Lehrbeauftragten sind wir ein starker Wissenschaftspartner – auch in internationalen Netzwerken.

Wir suchen Sie für eine unbefristete Stelle an unserer traditionsreichen Hochschule:

### Professur Heiztechnik

BesGr. W2, Kennnummer 1105

Die Stellenbeschreibungen und Bewerbungsfristen finden Sie auf unserer Webseite:

[www.beuth-hochschule.de/berufungsportal](http://www.beuth-hochschule.de/berufungsportal)

Eigenschaften des Kältemittels überprüft. Hierbei wird ein maximal erlaubter GWP von 150 angesetzt, welcher ab dem kommenden Jahr gesetzlich vorgeschrieben sein wird. Weiterhin darf das Kältemittel kein ODP besitzen. Bezüglich der Brennbarkeit werden alle Stufen der ASHRAE Klassifizierung – von 1 (nicht brennbar) bis 3 (hoch entzündlich) – zugelassen. Allerdings werden toxische Kältemittel, wie beispielsweise Ammoniak, durch die Vorauswahl ausgeschlossen. Diese Aspekte sind in der Sicherheitsklasse (A: nicht toxisch, B: toxisch) zusammengefasst.

Anschließend werden Grenzwerte des Betriebsbereiches überprüft. Dafür werden minimale und maximale Betriebstemperaturen und -drücke definiert, welche während des Betriebs auftreten können. Für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser sind Kondensationstemperaturen von bis zu 70 °C notwendig, um die thermische Desinfektion zu ermöglichen. Gleichzeitig dürfen aufgrund von Materialeigenschaften maximale Betriebsdrücke über 50 bar nicht überschritten werden, da die Haltbarkeit der meisten Werkstoffe sonst verkürzt wird. Als untere Grenze für die Verdampfungstemperatur wird in dieser Studie –20 °C, was einen sehr kalten Wintertag in Deutschland darstellt, angesetzt. Bei diesen geringen Temperaturen muss das System wie eingangs beschrieben weiterhin im Überdruck betrieben werden. Daher wird ein minimaler Betriebsdruck von 1,1 bar angesetzt.

$GWP_{max}$	150
$ODP_{max}$	0
Sicherheitsklassen	A1, A2L, A2, A3
Minimale Verdampfungstemperatur	-20 °C
Minimaler Betriebsdruck	1,1 bar
Maximale Kondensationstemperatur	70 °C
Maximaler Kondensationsdruck	50 bar

**Tabelle 1:** Verwendete Randbedingungen für die Studie.

Nach der Vorselektion wird eine Kreislaufberechnung durchgeführt, auf deren Basis verschiedene Parameter wie beispielsweise die Effizienz (COP) und die volumetrische Heizenergie ( $q_{vol}$ ) berechnet werden [1],[2]. Die Kreislaufberechnung basiert dabei auf einem validierten Verdichtermodell [1] und einem zusätzlich implementierten Optimierungsprozess, sodass die bei einem definierten Betriebspunkt maximale Effizienz individuell für jedes Kältemittel berechnet wird. Dafür werden die optimalen Druckniveaus im Kondensator und Verdampfer sowie die optimale Überhitzung am Verdichtereintritt und Unterkühlung nach dem Kondensator bestimmt. Dies stellt

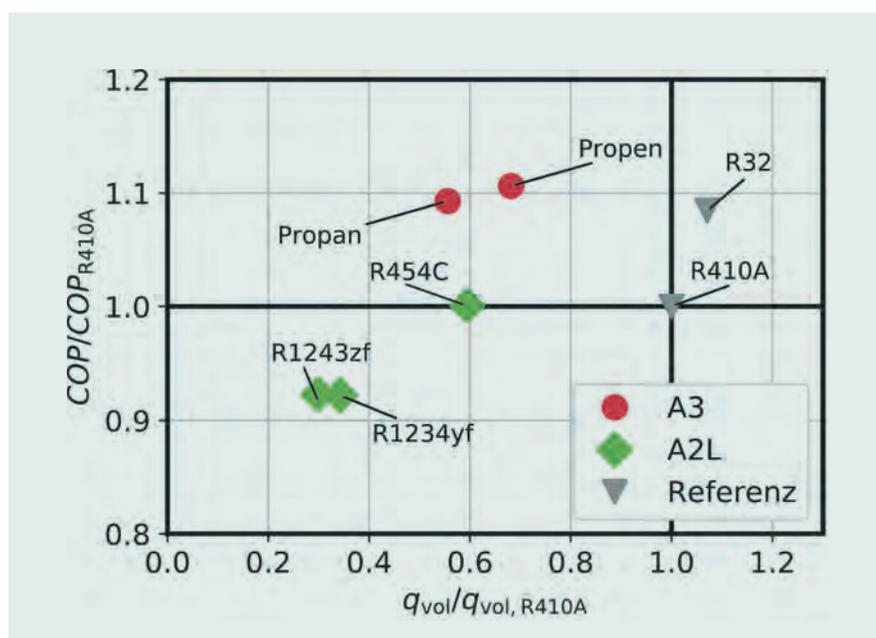
durch verschiedene Nebenbedingungen eine physikalisch und technisch realisierbare Prozessführung sicher. Dazu zählt neben der Berücksichtigung der sekundären Fluide (in diesem Fall Luft und Wasser) auch die Einhaltung einer minimalen Überhitzung sowie Unterkühlung. Die Art der Berechnung stellt sicher, dass für einen Betriebspunkt immer die optimalen Betriebsbedingungen für jedes einzelne Kältemittel eingestellt werden. Dadurch ist ein direkter Vergleich der Kältemittel in der gegebenen Anlage zulässig.

## Bewertung für dedizierten Anwendungsfall

Die vorgestellte Methodik wird im Folgenden auf 268 Fluide, welche auf dem Markt erhältlich sind und zur gängigen RefProp-Datenbasis gehören [6], angewandt. Mit Hilfe der verschiedenen Selektionsstufen wird die Anzahl sukzessive auf 31 Fluide reduziert, welche sowohl die politischen als auch die betriebsbedingten Vorgaben für Luft-Wasser-Wärmepumpen erfüllen [7]. Darunter befinden sich lediglich Kältemittel der Sicherheitsklassen A2L bis A3. Nicht-brennbare Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 können entweder die politischen Vorgaben oder die technischen Anforderungen für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zukünftig nicht erfüllen. Innerhalb dieser Studie wurde CO<sub>2</sub> als potenzielles Kältemittel wegen seines überkritischen Betriebs nicht berücksichtigt.

**Bild 3** zeigt das Ergebnis der Studie für derzeit häufig verwendete Kältemittel. Dargestellt ist die Effizienz der Wärmepumpe über der volumetrischen Heizenergie, beide normiert auf einen Vergleichsprozess mit dem Kältemittel R410A für die übrigen Kandidaten. Weiterhin wurde R32 in der Studie als Benchmark herangezogen, da es derzeit in einigen Anlagen Anwendung findet. Darüber hinaus sind zwei natürliche Kältemittel, Propan und Propen, der A3 Klasse und drei HFOs der A2L Klasse dargestellt. Bei R454C handelt es sich dabei um ein Gemisch aus R1234yf und R32.

Auffällig ist, dass keines der alternativen Kältemittel die volumetrische Heizenergie von R410A oder R32 erreicht. Bei beiden Kältemitteln handelt es sich um Hochdruckfluide, welche hauptsächlich in der Kältetechnik Anwendung finden. Aufgrund des hohen Drucks liegt eine höhere Dichte am Verdichtereintritt



**Bild 3:** Effizienz über volumetrischer Heizenergie für potenzielle, alternative Kältemittel normiert auf R410A für den Betriebspunkt A2/W35. Grafik: Christoph Höges

vor, welche sich wiederum positiv auf den geförderten Massenstrom und damit die Wärmeleistung im Kondensator auswirkt. Folglich müssen zukünftige Wärmepumpen, welche alternative Kältemittel verwenden, mit größeren Komponenten ausgestattet werden, um dieselbe Wärmeleistung bereitstellen zu können. Dabei steht insbesondere der Verdichter als Herzstück einer Wärmepumpe im Vordergrund.

Zusätzlich kann gezeigt werden, dass die A3-Kältemittel tendenziell höhere Effizienzen aufweisen. Im Vergleich zu HFOs (A2L) erreichen die hier betrachteten natürlichen Kältemittel (A3) eine um bis zu 20 Prozent höhere Effizienz. Interessant ist außerdem, dass die Entwicklung von Gemischen – hier am Beispiel von R454C – positive Auswirkungen auf das Potenzial eines Kältemittels haben kann. Mit Hilfe der Mischung eines Hocheffizienzfluides (R32) und eines Fluides mit geringem GWP können die Gesamteigenschaften so angepasst werden, dass zum einen die politischen Vorgaben erfüllt und zum anderen die Effizienz der Wärmepumpe gesteigert werden. Allerdings liefert selbst die gezeigte Mischung noch in etwa zehn Prozent niedrigere Effizienzen bei mäßig höherer volumetrischer Kälteleistung als beispielsweise Propan auf.

Insgesamt bleibt die Frage bestehen, welches Kältemittel zukünftig in welchem Bereich eingesetzt werden sollte. Für Luft-Wasser-Wärmepumpen zeigen natürliche Kältemittel – zumindest auf thermodynamischer Ebene – ein geeignetes Verhalten. Im Vergleich zu den HFOs können höhere Effizienzen erzielt werden. Dies wiederum reduziert den Gesamtenergieverbrauch einer Anlage und damit auch die indirekten Emissionen. Zusätzlich können prinzipiell höhere volumetrische Heizenergien erzielt werden. Dies wirkt sich wiederum positiv auf die Größe der einzelnen Komponenten aus und kann damit ökonomisch vorteilhaft sein. Weiterhin sind natürliche Kältemittel aufgrund ihrer hohen Verfügbarkeit in der Beschaffung ebenfalls günstiger als HFOs.

Allerdings bilden HFOs, welche in die Atmosphäre gelangen, während ihres Abbauprozesses Trifluoressigsäure (kurz TFA). TFA ist sehr stark wasserlöslich und nur schwer abbaubar. Nach der Bildung von TFA in der Atmosphäre kann jenes über Niederschläge in das Grund-

wasser gelangen. Dort ist es über herkömmliche Reinigungsmethoden nicht mehr aus dem Wasser entfernbar, wodurch das Grundwasser kontaminiert wird. Daher hat das Umweltbundesamt bereits in 2019 die Empfehlung ausgegeben, den Einsatz von HFOs zu minimieren [8]. An dieser Stelle ist fraglich, ob diese Empfehlung innerhalb der nächsten Jahre in politische Vorgaben formuliert wird, weshalb der langfristige Einsatz von HFOs zumindest unsicher ist.

Im Rahmen dieser Studie kann daher gezeigt werden, dass bei aktuellen Randbedingungen die Vorteile von natürlichen Kältemitteln gegenüber synthetischen Kältemitteln überwiegen, weshalb eine Forcierung des Einsatzes jener sinnvoll erscheint. Die Wahl eines geeigneten natürlichen Kältemittels hängt allerdings wiederum stark vom Anwendungsfall ab. Für Luft-Wasser-Wärmepumpen haben in der gezeigten Studie die Reinstoffe Propan und Propen sehr gute Ergebnisse gezeigt. Dabei liefert Propan um etwa zehn Prozent höhere volumetrische Heizleistungen, was allerdings mit einer um 5-10 K erhöhten Verdichteraustrittstemperatur einhergeht. Um weiterhin den nachhaltigen Einsatz von Wärmepumpen zu beschleunigen, müssen unter gegebenen Randbedingungen die theoretisch besten Kältemittel ausgewählt und in realen Anlagen angewandt werden. Die vorgestellte Methodik unterstützt diesen Prozess und wird in folgenden Projekten weiterentwickelt. ■

#### LITERATUR

- [1] Roskosch, D.: Spezielle Methoden der Fluidauswahl und ihre Anwendungsmöglichkeiten am Beispiel von Wärmepumpen und Strom-Wärme-Strom-Speichersystemen, 2018.
- [2] Venzik, V.: Experimentelle Untersuchung des Fluideinflusses auf die Thermodynamik der Wärmepumpe: Kohlenwasserstoffe und deren Gemische, 2019.
- [3] Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen. Deutsche Fassung: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19870179/202005270000/0.814.021.pdf>
- [4] Europäische Union: Verordnung über fluoridierte Treibhausgase: (EU) Nr. 517/2014, 2014.
- [5] McLinden, M. O.; Brown, J. S.; Brignoli, R.; Kazakov, A. F.; Domanski, P. A.: Limited options for low-global-warming-potential refrigerants, In: Nature Communications, Vol. 8, Nr. 1, pp. 14476, April 2017, doi: 10.1038/ncomms14476

- [6] Lemmon, E. W.; Huber, M. L.; McLinden, M. O.: NIST Standard Reference Database 23: Standard Reference Data Program. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2013.
- [7] Vering, C.; Streblow, R.; Höges, C.; Venzik, V.; Göbel, S.; Klingebiel, J.; Mehrfeld, P.; Müller, D.: 14th IIR-Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, GL2020: Kyoto, Japan, 07-09 Dezember 2020.
- [8] Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/auf-umweltfreundliche-kaeltemittel-umsteigen>



**Christoph Höges, M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.  
Bild: Höges



**Christian Vering, M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.  
Bild: Vering



**Dr.-Ing. Valerius Venzik**

ist Postdoktorand am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.  
Bild: Venzik

**Jonas Klingebiel, M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.

**Tim Klebig, M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.

**Thomas Henn**

ist technischer Angestellter am E.ON Energy Research Center, Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatechnik, RWTH Aachen.

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller**

ist Inhaber des Lehrstuhls für Gebäude- und Raumklimatechnik an der RWTH Aachen.



Bild: Messe Frankfurt Exhibition GmbH / Petra Welzel

ISH digital: Fachmesse unter ungewöhnlichen Bedingungen

# Kein vollwertiger Ersatz, aber ...

277 Live- und Digital-Events, 290 Stunden Programm und über 47 000 Zuschauer: Es fällt schwer diese Zahlen in Relation zu setzen, da die ISH unter normalen Umständen ganz andere Superlative für sich reklamiert. Dennoch: Die Branche braucht auch in der Pandemie eine Möglichkeit ihre neu entwickelten Produkte sichtbar zu machen. Auf den folgenden Seiten stellt die HLH einige davon vor.

Green Deal, Luft als Lebensmittel oder Hygienewelle im Bad: Die erste digitale Ausgabe der ISH, Weltleitmesse für Wasser, Wärme und Klima, platzierte gesellschaftlich, politisch und wirtschaftlich relevante Themen. Insgesamt präsentierten 373 Unternehmen vom 22. bis 26. März ihre Produktinnovationen. Wolfgang Marzin, Vorsitzender der Geschäftsführer der Messe Frankfurt zeigte sich im Nachgang zufrieden: „Natürlich kann eine digitale Veranstaltung die Kraft einer physischen ISH nicht ersetzen, aber darum ging es uns bei der Durchführung der ISH digital auch nicht. Wir wollten eine qualitativ hochwertige Netzwerkplattform an den Start bringen und die wichtigen Branchenthemen gebündelt abbilden. Ich

denke, das ist uns gelungen.“ Auch die ideellen Träger zogen ein positives Fazit: „Wir sind alle insgesamt mehr als zufrieden mit dem Verlauf der ISH digital. Unsere Themen fanden auch international Resonanz. Uns war immer klar: Eine digitale Messe kann im Ergebnis nicht mit einer Präsenzmesse verglichen werden oder diese gar ersetzen. Gleichwohl waren die internationalen Marktführer als Aussteller präsent und haben den Status der ISH als Weltleitmesse in schwierigen Corona-Zeiten bestätigt.

Auf der Besucherseite bildete das Handwerk erneut die stärkste Gruppe, aber auch sehr viele Planer, Ingenieure, Architekten und der Handel nutzten die Angebote. Im Zentrum der Veranstaltung

standen von Anfang an Vernetzung, Wissensaustausch, hochkarätiger Content, ein umfangreiches Rahmenprogramm sowie neueste Lösungen und Produktinnovationen der Aussteller. Während des Live-Events wurden insgesamt 290 Stunden Content gesendet. Es fanden 277 Live- und Digital-Events statt, die von über 47 000 Zuschauern aufgerufen wurden. Insgesamt 69 000 Teilnehmer besuchten die Plattform, davon 42 Prozent aus dem Ausland. ■

## A U S B L I C K

Die nächste ISH findet vom 13. bis 17. März 2023 auf dem Frankfurter Messegelände statt.



**Luftentfeuchter der Serie Condair DC 270 bis 450.**  
Bild: Condair

## Luftentfeuchtung für die Industrie

Die Luftfeuchte zu kontrollieren ist bei vielen Prozessen in der Industrie von äußerster Wichtigkeit. In der Pharmaindustrie oder auch im Maschinenbau sichert eine konstante Luftfeuchte die maßgebliche Fertigungsqualität. Zudem sorgen Luftentfeuchter für den Schutz von Rohrleitungen, Installationen, Betriebsmitteln und technischen Einrichtungen vor Rost und Feuchteschäden. Luftentfeuchter der Serie Condair DC 270 bis 450 sind mit Entfeuchtungsleistungen von 263,1 bis 418,8 l/Tag erhältlich. Die leistungsstarken Geräte decken damit ein großes Spektrum ab und eignen sich auch für hohe Anforderungen, wie beispielsweise in großen Lagerhallen. Das Gehäuse ist äußerst robust und hält auch aggressiven Umweltbedingungen stand. [www.condair.de](http://www.condair.de)



**Die Deckengeräte der AIR1 XC Serie** sind in einem Luftleistungsbereich von 500 bis 3200 m<sup>3</sup>/h erhältlich. Bild: Helios

## Programm an Deckengeräten erweitert

Für noch mehr Flexibilität bei der Installation werden die Deckengeräte Helios AIR1 jetzt auch in einer Links- und Rechts-Ausführung angeboten. Die Differenzierung in „links“ und „rechts“ definiert hierbei die Anschlussposition des Außenluftstutzens – alle anderen technischen Features der beiden Geräteversionen sind identisch. Die Deckengeräte der AIR1 XC Serie sind in einem Luftleistungsbereich von 500 bis 3200 m<sup>3</sup>/h erhältlich. Neben den kompakten Einbaumaßen stehen für die Wartung und den Austausch der Filter zwei Wartungszugänge zur Verfügung. Für einen komfortablen Ganzjahresbetrieb ist jedes Deckengerät standardmäßig mit einer elektrischen Vorheizung ausgestattet und kann bei Bedarf mit einem internen Elektrobeziehungsweise Warmwasser-Nachheizregister oder einem externen Kühlmodul ausgestattet werden. [www.air1select.com](http://www.air1select.com)



**Durch das integrierte Hybrid-Mischventil und einen Pufferspeicher je nach Anwendungsfall lassen sich unterschiedliche Systemkombinationen umsetzen.**  
Bild: Buderus

## Hybride Lösung mit geringem Montageaufwand

Ob mit Solarthermie, Kaminofen oder Wärmepumpe – das Hybrid-system Logamax plus GBH172iT von Buderus kombiniert Gas-Brennwerttechnik mit regenerativen Energien besonders effizient. Durch das integrierte Hybrid-Mischventil und einen Pufferspeicher je nach Anwendungsfall lassen sich unterschiedliche Systemkombinationen mit geringem Montageaufwand umsetzen. Der Logamax plus GBH172iT löst den Logamax plus GBH172 ab und ist ab dem dritten Quartal 2021 in den Leistungsgrößen 17 und 24 kW erhältlich, die Warmwasserleistung liegt jeweils bei 30 kW. [www.buderus.de](http://www.buderus.de)



**Regudis W-HTE mit Durchlauferhitzer-Modul.**  
Bild: Oventrop

## Energieeffizient und hygienisch versorgt

Die Wohnungsstation „Regudis W-HTE“ von Oventrop mit werkseitig vormontierter elektronischer Regelung und kupfergelötetem vollversiegeltem Edelstahl-Plattenwärmeübertrager ermöglicht die energieeffiziente und hygienische Versorgung einer Wohnung mit heißem und kaltem Trinkwasser sowie Heizungswasser. Die einfach zu installierende Systemlösung lässt sich modular auf neue Anwendungsfälle oder um weitere Funktionen erweitern. Beispielsweise mit einem neuen Durchlauferhitzermodul oder einem neuen Duo-Heizkreistrennmodul – zur Systemtrennung des wohnungsseitigen vom gebäudeseitigen Heizkreis. Montiert auf einer wärmeisolierten Unterschale eignet sie sich für eine Unterputz- oder Aufputzwandmontage. In der Dämmoberschale integrierte steckbare Elemente ermöglichen Aussparungen für Wasserzähler, Wärmezähler, sowie den Wärmeübertrager, um eine schnelle Auskühlung des Wärmeübertragers nach einem Zapfvorgang zu gewährleisten. [www.ventrop.com](http://www.ventrop.com)

## Monoblock für die Modernisierung

Viessmann hat drei Geräte für die Heizungsmodernisierung im Bestand vorgestellt: Die Vitocal 250-A ist als platzsparendes Wandgerät ausgeführt, Vitocal 252-A ist das bodenstehende Kompaktgerät mit integriertem 190 l fassenden Warmwasserspeicher. Die Hybridausführung Vitocal 250-AH dient der Ergänzung einer bestehenden Heizungsanlage. Die Wärmepumpe stellt die Grundlast bereit. Der Bestandskessel wird lediglich bei besonders niedrigen Außentemperaturen zugeschaltet. Alle Varianten stehen mit Leistungen von 10 und 13 kW (bei A7/W35) zur Verfügung. Ihre neue Elektronik-Plattform mit 7-Zoll-Farb-Touch-Display erlaubt die einfache komfortable Bedienung direkt am Gerät oder per ViCare App. Die neuen Luft/Wasser-Wärmepumpen in Monoblockbauweise werden Ende 2021 in den Markt eingeführt. [www.viessmann.de](http://www.viessmann.de)



Die neue Generation der Viessmann Luft/Wasser-Wärmepumpen in Monoblock- und Split-Bauweise. Bild: Viessmann

## Kompakte Sole/Wasser-Wärmepumpen

Die neuen Sole/Wasser-Wärmepumpen Geoblock WGB 8 und WGB 14 von Weishaupt verfügen dank Invertertechnik über eine modulierende Leistung bis 8 kW beziehungsweise bis 14 kW und sind damit eine ideale Lösung für Effizienzhäuser im Neubau. Die hohe Effizienz der Sole/Wasser-Wärmepumpen wird durch den modulierenden Betrieb mit Scroll-Verdichter und Invertertechnik erreicht. Ein Pufferspeicher ist nicht notwendig. Der innovative Kältekreis ermöglicht Vorlauftemperaturen bis zu 65 °C. Das gekapselte Gehäuse der Wärmepumpen ist hochwertig schallgedämmt. [www.weishaupt.de](http://www.weishaupt.de)



Die Sole/Wasser-Wärmepumpe Geoblock in Verbindung mit dem Trinkwasserspeicher WAS LE/Eco. Bild: Max Weishaupt



Mit ihren leistungsstarken Frischwasserstationen eignen sich die Wärmepumpensysteme besonders gut für die Wohnungswirtschaft und Gewerbeimmobilien. Bild: Vaillant

## Wärmepumpensysteme für große Immobilien

Mit der Sole/Wasser-Wärmepumpe geoTherm perform und der Luft/Wasser-Split-Wärmepumpe aroTherm perform ergänzt Vaillant sein Wärmepumpen-Angebot um zwei Modelle. Die aroTherm perform ist in den Leistungsvarianten von 19 bis 26 kW erhältlich, die geoTherm perform wird in drei Versionen mit bis zu 78 kW angeboten. Für höhere Leistungen lassen sich beide Modelle in Kaskade schalten. Dies ermöglicht bis zu 624 kW Heizleistung bei der geoTherm perform sowie 208 kW bei der aroTherm perform. Selbst bei Klimabedingungen von -10 °C erreichen die neuen Wärmepumpen Vorlauftemperaturen von 65 °C. [www.vaillant-group.com](http://www.vaillant-group.com)



Der LipuLift Fettabscheider zum Erdeinbau mit integrierter Probenahme und Pumpstation in einem einzigen Behälter. Bild: Aco Haustechnik

## Fettabscheider: Probenahme und Pumpstation in einem

Der Aco LipuLift ist ein Fettabscheider zum Erdeinbau mit integrierter Probenahme und Pumpstation in einem einzigen Behälter. Die integrierte Pumpstation mit kombinierter Probenahmemöglichkeit dient zum Sammeln und automatischen Heben vom Abwasser über die Rückstauenebene – und somit auch zum Rückstauschutz. Das Abwasser wird dabei gefahrlos für Menschen und schadlos für Bauwerke in den Entwässerungskanal geleitet. Der LipuLift erfüllt alle entsprechenden Normen. Hauptbestandteil ist das monolithisch gefertigte Becken aus hochwertigem Kunststoff. Eine Trennwand unterteilt den Behälter in eine Fettabscheider-Kammer und eine Pumpstation-Kammer. [www.aco-haustechnik.de](http://www.aco-haustechnik.de)

## Neue Wärmepumpe für Neubau und Renovierung

Mit dem Wärmepumpenmodell Altherma 3 H MT (verfügbar ab August 2021) komplettiert Daikin sein Portfolio an Luft-Wasser-Wärmepumpen für Neubau und Renovierung. Mit einer Vorlauftemperatur von bis zu 65 °C ist das Gerät gut für den Austausch von Gas- und Ölheizgeräten geeignet und erbringt nach Herstellerangaben eine zuverlässige Heizleistung bei Außentemperaturen von bis zu -28 °C. Die Wärmepumpe arbeitet mithilfe der Bluevolution-Technologie mit dem klimaschonenden Kältemittel R-32 sehr effizient mit einer saisonalen Effizienz von A+++ sowie einem COP von 5,0 (7 °C/35 °C). Mit nur 35 dB(A) ist sie besonders geräuscharm. Sie wird in den Baugrößen 8, 10 und 12 erhältlich sein. [www.daikin.de](http://www.daikin.de)



Die Altherma 3 H MT eignet sich besonders für den Heizkesseltausch bei Häusern mit niedrigen Vorlauftemperaturen bis 65 °C sowie Neubauten mit gehobenem Anspruch. Bild: Daikin

## Große Wassermengen intelligent fördern

Eine der ersten smarten Trockenläufer-Inline-Pumpen auf dem Markt kommt aus dem Hause Wilo. Die Wilo-Stratos Giga2.0 bietet viele Schnittstellen für Multipumpensteuerung, eine Einbindung in die Gebäudeautomation, Betriebsdatenerfassung sowie Optionen für einen mobilen Zugriff via Wilo-Smart Connect. Dies ermöglicht unter anderem die Konfigurierung und Bedienung der Pumpen via Bluetooth mithilfe eines mobilen Endgeräts. Mithilfe des optionalen Wilo-CIF-Moduls bietet die Stratos Giga2.0 eine weitere Schnittstelle und ermöglicht über diese unter anderem eine sichere Ethernet-Kommunikation mit der Gebäudeautomation, die mit den marktgängigen Protokollen Bacnet IP und Modbus TCP hergestellt wird. [www.wilo.com](http://www.wilo.com)

Die Stratos Giga2.0 wurde für den Einsatz in großen Gebäuden entwickelt, in denen große Volumenströme mit zum Teil hohen Förderhöhen transportiert werden müssen. Bild: Wilo



Das Hydraulikmodul Hybrid HMH koppelt Wärmepumpentechnik mit bestehenden Heizsystemen. Bild: Stiebel Eltron

## Hydraulikmodul: Unabhängig vom Verteilsystem

Mit dem Hydraulikmodul Hybrid HMH von Stiebel Eltron können bestehende Heizungsanlagen um eine Wärmepumpe ergänzt werden. Das Modul fungiert dabei als Schnittstelle zwischen den beiden Systemen: Es ermöglicht nicht nur einen Umbau der Anlage zu einem Hybridsystem, es entkoppelt die neue Wärmepumpe auch von der bestehenden Hydraulik und macht sie so unabhängig vom Verteilsystem und der benötigten maximalen Vorlauftemperatur. Alle hydraulisch notwendigen Komponenten für das Zusammenführen von Alt und Neu sind im Hydraulikmodul bereits integriert. Die Wärmepumpe fungiert nach der Einbindung als vorgeschalteter Wärmeerzeuger. Das alte Heizsystem wird bei Bedarf automatisch zugeschaltet. Dabei kann über den Regler am HMH oder das Handy eingestellt werden, wie das Gesamtsystem ausgerichtet werden soll (Wirtschaftlichkeit/ Umweltfreundlichkeit). [www.stiebel-eltron.de](http://www.stiebel-eltron.de)



Das CFL Edu zur Montage unter der Decke. Bild: Wolf

## Dezentrales RLT-Gerät zur Nachrüstung

Mit dem CFL Edu erweitert Wolf sein Portfolio um ein dezentrales RLT-Gerät mit effizienter Wärmerückgewinnung. Das neue Gerät ist ideal zur Nachrüstung geeignet – es wird direkt im Raum manipulationssicher unter der Decke platziert. Ein weiterer Vorteil sind die niedrigen Schallemissionen, die für eine störungsfreie Lernatmosphäre sorgen. Zwei neue Leistungsgrößen stehen zudem bei der CKL-evo-Serie zur Verfügung. Die Modelle mit Luftleistungen von 4700 und 6100 m<sup>3</sup>/h komplettieren das Angebot an Kompaktgeräten. Im Vergleich zur bisherigen Produktlinie bieten die neuen Geräte bis zu zehn Prozent höhere Luftleistungen bei gleichen beziehungsweise sogar verkleinerten Geräteabmessungen. [www.wolf.eu](http://www.wolf.eu)

Das kompakte Innenmodul der Luft/Wasser-Wärmepumpe Elga Ace. Bild: Remeha GmbH



## Luft/Wasser-Wärmepumpe als Split-Variante

Remeha hat eine neue Hybrid-Wärmepumpe präsentiert. Das Modell Elga Ace ist zum Heizen und Kühlen geeignet und steht mit 4 und 6 kW zur Verfügung. Die kompakte elektrische Luft/Wasser-Wärmepumpe ist für den Einsatz in hybriden Systemen konzipiert und nur mit einem Spitzenlastkessel zu betreiben. Damit ist die Elga Ace bestens für die Modernisierung geeignet – vor allem wenn nicht sofort die gesamte Heizanlage ausgetauscht werden soll. Die Anlage besteht aus einer Außen-einheit und einer wandhängenden Inneneinheit (268 x 637 x 220 mm; BxHxT). Der maximale Abstand zwischen den Innen- und Außenkomponenten liegt bei 30 m (6 kW) beziehungsweise 20 m (4 kW). [www.remeha.de](http://www.remeha.de)



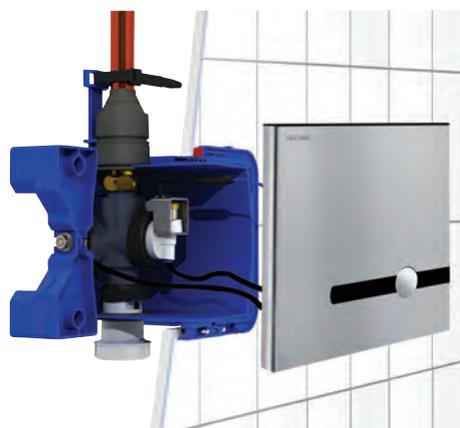
Die HygBox Connect kann als Einzelgerät oder als Duo (kalt/warm, im Bild) installiert werden. Bild: SYR

## Sichere Spülung bei längeren Stillstandszeiten

Die Einhaltung des bestimmungsgemäßen Betriebs einer Trinkwasseranlage ist eine Betreiberpflicht. Die HygBox Connect bietet besonders bei Bestandsobjekten eine schnelle, betriebssichere und hygienisch einwandfreie Lösung. Die Vermehrung unerwünschter Keime, Bakterien oder Legionellen wird nachhaltig vermieden, die Trinkwasserverordnung jederzeit eingehalten. Dabei misst die kleine Armatur Wassertemperatur, Durchfluss und Druck. Die Auslösung zu einer bedarfsgerechten Spülung erfolgt über die Stagnationszeit oder Wassertemperatur. Durch eine integrierte Turbine können so auch mehrfache Spülungen abgesetzt werden. Die HygBox Connect kann an allen gängigen Waschtischen oder direkt vor Entnahmestellen installiert werden – als Einzelgerät oder als Duo für Warm- und Kaltwasser. [www.syr.de](http://www.syr.de)

## WC-Druckspüler mit dualer Steuerung

Mit der elektronischen WC-Druckspülarmatur Tempomatic hat Delabie ein Produkt im Programm, das gänzlich ohne Spülkasten auskommt. Die Spülarmatur verfügt über einen direkten Wasseranschluss. Eine Zwischenspeicherung des Wassers im Spülkasten entfällt somit, was die Gefahr von Legionellen- und Bakterienbildung deutlich reduziert. Ein stoßfester Infrarotsensor mit Präsenzerfassung löst die Spülung aus. Alternativ kann ein Druckknopf mit Antiblockiersicherheit dazu genutzt werden. Die Anpassung der Spülmenge erfolgt nach Bedarf (drei Programme). Zudem ist eine regelmäßige Hygienespülung einstellbar. Erhältlich ist der Druckspüler im Laufe des Jahres. [www.delabie.de](http://www.delabie.de)



Der Druckspüler führt auf Wunsch auch Stagnationsspülungen durch. Bild: Delabie



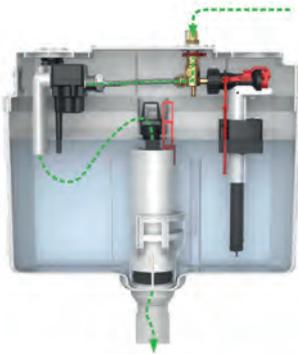
Der Duschwannenablauf ist für Mineralguss-Duschwannen mit direkter Auflage geeignet. Das elastische Flex-Element ist dabei das zentrale Bauteil des Duschwannenablaufs. Bild: Dallmer

## Flexible Lösung für den Duschwannenablauf

Eine Neuerung für Badezimmer aus dem Hause Dallmer ist der Duschwannenablauf Orio DallBox, eine Dichtmanschette mit Flex-Element. Die Produktneuheit ist ab Sommer 2021 in zwei Ausführungen erhältlich. Der Duschwannenablauf ist für Mineralguss-Duschwannen mit direkter Auflage auf dem Estrich, also ohne Gestell, geeignet. Eine Lösung, die vor allem die Arbeit für Planer im Objektbau einfacher macht. Das elastische Flex-Element kompensiert seitliche Abweichungen durch Maßungenaugigkeiten zwischen Ablaufgehäuse und Duschwanne um bis zu 2 cm von der Mitte aus in jede horizontale Richtung. Durch den Klickmechanismus wird es in die Einheit Schraubventil plus Anschlussmutter geklickt. [www.dallmer.de](http://www.dallmer.de)

## Hygienespülung für Kaltwasserinstallationen

Nachdem sich die vollständig im Spülkasten integrierte Tece-Trinkwasserhygienestation für Kalt- und Warmwasser im Markt erfolgreich entwickelt hat, hat der Sanitärtechnikspezialist aus Emsdetten nun eine reduzierte Variante mit nur einem Spülventil für reine Kaltwassersysteme auf den Markt gebracht. Wie die Hygienespülstation für Kalt- und Warmwasser, verschwindet auch die neue Spülung komplett im Spülkasten, weshalb eine zusätzliche Revisionsöffnung in der Wand nicht erforderlich ist. Elektronisch gesteuerte Ventile, die über eine App programmierbar sind, sorgen für einen regelmäßigen Wasser-austausch zur Verhinderung von Stagnation. Die App dokumentiert dabei jede Hygienespülung. Die neue Hygienespülung ist ab Juni 2021 lieferbar. [www.tece.de](http://www.tece.de)



**Die Hygienespülung** für Kaltwasserinstallationen vermeidet als letzter Verbraucher im Strang die Stagnation des Trinkwassers.  
*Bild: Tece GmbH*

## Spülstation mit hoher Leistung

Als wirksamen Baustein für den Erhalt der Trinkwasserhygiene in Gebäuden gemäß VDI/DVGW 6023 präsentiert Uponor die völlig neu konzipierte Spülstation Motion. Sie zeichnet sich vor allem durch ihr durchdachtes Design und eine hohe Spülleistung von bis zu 15 l pro Minute bei mindestens 1 bar Druck aus. Die Spülstation wird direkt unter dem Waschtisch an die Kalt- und Warmwasserleitungen angeschlossen. Je nach Einbausituation kann zwischen verschiedenen Varianten gewählt werden: Uponor Motion kann vormontiert in einem Waschtisch-Montagegestell geliefert werden und lässt sich mit Hilfe von Adaptern in verschiedene Vorwandsysteme integrieren. Darüber hinaus gibt es die Option, die Spülstation ohne Montagerahmen für eine Aufputz-Installation an einer Massivwand zu erhalten. [www.uponor.de](http://www.uponor.de)



**Die Spülstation** Uponor Motion zeichnet sich vor allem durch ihr kompaktes Design und eine hohe Spülleistung von bis zu 15 l pro Minute aus.  
*Bild: Uponor*



**Die Drucktasten** der zweiten Generation von Kludi Push schließen bündig mit der Rosette ab. *Bild: Kludi GmbH*

## Komfort durch Knopfdruck

Kludi hat die herkömmliche Zugumstellung an Unterputz-Einhebelmischern durch eine Technologie mit Tastknopf ersetzt. Unter Wasserdruck lässt sich durch Betätigen des Tasters der Verbraucher wechseln. Nach Abstellen des Wassers schaltet das Ventil automatisch wieder zurück. Der Armaturenspezialist setzt die Technologie sowohl an der Wanne ein, um zwischen Wannenauslauf und Handbrause zu wechseln, als auch in der Dusche, um die Umstellung zwischen Hand- und Kopfbrause einfacher und bequemer zu gestalten. Technologisch setzt Kludi dabei auf eine Ventillösung. Ihr Vorteil: Das rein mechanisch und hydraulisch arbeitende Ventil funktioniert – anders als etwa eine Feder-Konstruktion – zuverlässig ganz unabhängig vom jeweiligen Wasserdruck. Zudem besteht hier nicht die Gefahr, dass das Ventil wie die Feder mit der Zeit ausleiert. [www.kludi.com](http://www.kludi.com)

**Die Enthärtungsanlage** i-soft Safe+ bietet neben einem bedienerfreundlichen Display auch ein neues Feature: die Mikroleckageerkennung mit einer neuartigen Durchflussmessung.  
*Bild: Judo*



## Wassermanagement in neuem Look

Judo hat die Enthärter i-soft und i-soft Safe+ optisch neu aufgestellt. Seit März liefert der Spezialist für Wasseraufbereitung aus Winnenden die Anlagen mit intelligentem Wassermanagement in modifiziertem Design. Die Technik ist hingegen bewährt wie bekannt: Die Erfassung der relevanten Parameter des ankommenden Wassers erfolgt mit dem i-guard Sensor. Dessen gemessene Daten verarbeitet eine intelligente Anlagensteuerung. Sie regelt damit die Grundfunktionen der Anlage und kann so die Einstellungen in Echtzeit an die ankommende Wasserqualität anpassen. All das geschieht vollautomatisch, ohne Ungenauigkeiten durch manuelle Messungen oder pauschale Voreinstellungen und Annahmen. Der Vorteil: Härteschwankungen in der Rohwasserzufuhr gleichen die Enthärter selbstständig aus. [www.judo.eu](http://www.judo.eu)



Vernetzte Pumpen können spezifische Funktionalitäten ausführen und optional andere Prozessparameter über zusätzliche freie Schnittstellen mit überwachen. Bild: Grundfos

## Chancen der Digitalisierung

Der dänische Pumpenhersteller Grundfos nutzte die ISH digital, um zahlreiche Produkte vorzustellen. Im Vordergrund standen dabei die Chancen der Digitalisierung, insbesondere in Sachen Konnektivität. Die Geschäftseinheit DBS (Domestic Building Services) präsentierte Lösungen für Ein- und Zweifamilienhäuser und Wohngebäude: Heizungsanlagen, Warmwasser-Zirkulation, Druckerhöhung, Wasserversorgung, Entwässerung und Hebeanlagen. Die Geschäftseinheit CBS (Commercial Building Services) war mit Produkten für große Wohn- und Verwaltungsgebäude sowie gewerbliche Bauten vertreten: Klimatisierung, Warmwasser-Rezirkulation, Heizung, Abwasser, Druckerhöhung, Brandschutz und Fernwärme. [www.grundfos.de](http://www.grundfos.de)



Die Pumpy-Systeme erweitern das Programm im Bereich der City-Multi-Klimaaußengeräte. Bild: Mitsubishi Electric

## Geräteserie um drei Baugrößen erweitert

Mitsubishi Electric hat die Varianten seiner Pumpy-Systeme aus der City-Multi-Serie ergänzt. Die Geräte, die vielfach zur Versorgung von mehreren kleinen Räumlichkeiten verwendet werden, stehen ab sofort im Leistungsbereich von 12,5 bis 15,5 kW in drei Baugrößen zur Verfügung. Sie schließen damit die Lücke für VRF-R32-Geräte im unteren Leistungsbedarf. Als Innengeräte steht eine Vielzahl unterschiedlicher Gerätemodelle von 1,5 bis 10 kW zur Auswahl. Insgesamt lassen sich zwei bis zu acht Innengerätevariationen mit einer Pumpy-Außeneinheit kombinieren. Durch das Branchbox-Konzept ist eine nahezu grenzenlose Innengerätevielfalt realisierbar, da sich alle R32-Innengeräte aus der M-Serie und der Mr.-Slim-Reihe problemlos an die neuen R32-Pumpy-Geräte anschließen lassen. [www.mitsubishi-les.com](http://www.mitsubishi-les.com)



Der T-CAP Monoblock J-Serie. Bild: Panasonic

## Gleichbleibende Leistung trotz tiefer Temperaturen

Dank einer speziellen Technik im Kältekreislauf arbeiten die Monoblock-Geräte der T-CAP-Baureihe nach Herstellerangaben bis  $-20^{\circ}\text{C}$  ohne Leistungsabfall. Der Bivalenzpunkt könne bei der Auslegung deutlich niedriger gesetzt werden als bei Luft/Wasser-Wärmepumpen vergleichbarer Größe. Dank des verwendeten Kältemittels R 32 kommen die Monoblocksysteme der J-Serie mit weniger Kältemittel aus und heizen mit COPs von bis zu 3,81 bei A2W35 noch effizienter als die Vorgängermodelle. Mit Vorlauftemperaturen von bis zu  $65^{\circ}\text{C}$  eignen sich die Geräte ideal, um Gas- oder Ölheizungen im Bestand zu ersetzen. Selbst bei Außentemperaturen von  $-15^{\circ}\text{C}$  können noch Wassertemperaturen von  $60^{\circ}\text{C}$  erreicht werden. Die dreiphasigen Geräte mit bis 9, 12 und 16 kW sind ab Sommer lieferbar. [www.aircon.panasonic.de](http://www.aircon.panasonic.de)



Die Serie TA-Modulator wurde um zwei Modelle in den Baugrößen DN 125 und DN 150 ergänzt. Bild: IMI Hydronic Engineering

## Regulierventil für große Durchflussmengen

Mit zwei neuen Modellen in den Baugrößen DN 125 und DN 150, die für Kühl- und Heizanwendungen mit einem maximalen Differenzdruck bis 8 bar geeignet sind, ergänzt IMI Hydronic Engineering das bereits breite Sortiment seiner Serie TA-Modulator. Beide Größen sind auch als HF-Variante (High Flow) für sehr große Durchflussmengen bis zu 190 000 l/h erhältlich. Das druckunabhängige Regel- und Regulierventil verfügt über einen differenzdruckunabhängigen Regler mit einer gleichprozentigen Ventilkennlinie (EQM-Charakteristik) über den gesamten Regelbereich. Dadurch wird eine sehr präzise Temperaturregelung mit einer hohen Autorität und Regelgenauigkeit sichergestellt. Zudem lässt sich das Ventil mit stetigen Stellantrieben kombinieren, zum Beispiel mit dem individuell konfigurierbaren, motorischen Stellantrieb TA-Slider des Herstellers. [www.imi-hydronic.de](http://www.imi-hydronic.de)

Autonom handelnde Raum- und Gebäudeautomation

# Bedarfsgerechte und energieoptimierte Gebäudeautomation auf Basis des Verwaltungsschalenkonzeptes der Industrie 4.0

Mit dem Oberbegriff Industrie 4.0 (I4.0) wird die Digitalisierung der produzierenden Industrie bezeichnet. Das Konzept sieht eine intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen vor. Aufbauend auf diesen Grundlagen werden im Folgenden Möglichkeiten betrachtet und spezifiziert, I4.0 auf die Gebäudeautomation anzuwenden. Die theoretisch erarbeiteten Konzepte wurden exemplarisch im Labor der Technischen Hochschule Köln umgesetzt.

TEXT: Dominik Huhn und Prof. Dr. Jochen Müller

**D**ie Grundidee von Industrie 4.0 umfasst zwei Entwicklungen. Einerseits sollen durch vernetzte Systeme Daten und Informationen ausgetauscht werden und eine intelligente Reaktion auf ebene ermöglicht werden. Andererseits sollen Maschinen befähigt werden autonom zu handeln und nicht mehr übergeordnet gesteuert werden zu müssen. Erreicht werden soll dies durch die Nutzung von Industrie 4.0-Komponenten [1].

Eine solche Komponente besteht aus einem physikalischen Gegenstand (Asset) und seiner digitalen Repräsentanz. Die digitale Abbildung erfolgt mit Hilfe einer Verwaltungsschale (VWS). Diese enthält alle Informationen, die nötig sind, um ein Asset hinreichend zu beschreiben. Die Verwaltungsschale selbst besteht aus einem oder mehreren Teilmodellen. Sie repräsentieren verschiedene Aspekte des Assets und beinhalten entsprechende Informationen, beispielsweise seine Abmessungen. Assets vom gleichen Typ, zum Beispiel zwei Ventile, besitzen gleiche, standardisierte



**Bild 1:** Aufbau einer Verwaltungsschale mit Teilmodellen (rot) und Merkmalen (lila). Grafik: Huhn

Teilmodelle, können aber auch noch zusätzliche individuelle enthalten. Durch die Standardisierung sollen eine Vergleichbarkeit und Austauschbarkeit der Assets ermöglicht werden [2] (**Bild 1**).

Die Kommunikation der Verwaltungsschalen untereinander erfolgt über die I4.0-Sprache, welche in der Richtlinie VDI/VDE 2193 definiert ist. In dieser werden das Vokabular, die Struktur der Nachrichten und Interaktionsprotokolle beschrieben. Das Vokabular setzt sich aus den verschiedenen, standardisierten Merkmalen zusammen, die die verschiedenen Teilmodelle eines Assets bilden. Die Breite des Assets kann beispielsweise ein Merkmal des Teilmodells „Abmessungen“ sein. Wird eine Nachricht zwischen zwei Verwaltungsschalen ausgetauscht, werden die Merkmale und die entsprechenden Teilmodelle angesprochen. Um eine geregelte Kommunikation zu ermöglichen, wurden Interaktionsprotokolle entwickelt. Diese dienen als Regelwerk und legen die Rahmenbedingungen fest [3]. Eine Nachricht der ersten Verwaltungsschale kann eine Reaktion der zweiten auslösen, welche wiederum mit einer eigenen Nachricht antwortet. Die Nachrichten, deren Abfolge und das Verhalten der beteiligten Komponenten und ihrer Teilmodelle bilden ein Interaktionsmuster [4].

## Ziele einer bedarfsgerechten Gebäudeautomation

Das Ziel der Ausprägung von Interaktionsmuster im Gebäude ist die Schaffung neuer Möglichkeiten einer intelligenten, autonom agierenden Gebäudeautomation, die zwei Anforderungen erfüllen soll. Einerseits soll eine individuelle, bedarfsgerechte Gebäude- und Raumautomation für den Nutzer ermöglicht werden. Diese soll die verschiedenen Aspekte der Gebäudetechnik den Wünschen der Nutzer anpassen. Beispielsweise können die Temperatur, die Feuchtigkeit und die Beleuchtung sich entsprechend des Aufenthaltsortes des Nutzers anpassen. Aber auch außerhalb der „klassischen“ Gebäudetechnik können durch Individualisierung von Informationen und der Bereitstellung von benötigten Ressourcen ein Mehrwert für den Nutzer geschaffen werden.

Der zweite Aspekt ist die Optimierung der Energieerzeugung und des -verbrauchs innerhalb eines Gebäudes. Durch Hinzunahme von Informationen über das Gebäude, wie die aktuelle Anzahl an Nutzern, gebuchte Arbeitsplätze und Räume, sowie von externen Daten wie eine Wettervorhersage und Strompreise, kann die Effizienz der Gebäudetechnik verbessert werden. Energie wird zu günstigen Konditionen, wie niedrigen Außentemperaturen für die

Kälteerzeugung oder durch eine hohe Sonneneinstrahlung im Winter, gewonnen. Die einzelnen Bestandteile des Gebäudes, wie Räume oder Zonen, melden ihre Auslastung und ihren voraussichtlichen Verbrauch an die Erzeuger und reagieren auf Absagen von Raumbuchungen, indem sie den Bedarf eigenständig anpassen.

Für die Interaktion im Rahmen der Gebäudeautomation wurden zwei neue Teilmodelle definiert und spezifiziert. Das erste beinhaltet „TGA-spezifische Informationen“ wie das Gewerk und die Kostengruppe der Komponente, einen Anlagenkennzeichnungsschlüssel oder den zugehörigen Automationsschwerpunkt. Zwei der wichtigsten Elemente des Teilmodells sind „TGA-Anlage“ und „Versorgungsbereich“. Der Wert „TGA-Anlage“ definiert die Zugehörigkeit eines Assets zu der entsprechenden Anlage, in der es verbaut ist. Beispielsweise besitzt ein Heizkreis mehrere Heizkörper, die über das Gebäude verteilt sind. Diese sind mit stetig regelbaren Ventilen ausgestattet. Das Regelventil gehört entsprechend zur TGA-Anlage „Heizkreis“, sein Versorgungsbereich ist der entsprechende Raum. Anhand dieser Informationen kann die Verwaltungsschale des Raumes das zu ihm gehörige Heizkörperventil ermitteln.

Das zweite Teilmodell fügt der VWS Informationen für die Position von Nutzer und Komponenten im Gebäude hinzu. Dies sind zum einen Werte für die X-, Y- und Z-Achse, zum anderen Bezeichnungen von Bauteilen, Etagen und Räumen. Die meisten TGA-Komponenten, wie Ventile und Pumpen, sind ortsfest. Gebäudenutzer, die ebenfalls über Verwaltungsschalen erfasst werden sollen, sind hingegen ortsveränderlich. Durch eine Lokalisierung können sich die einzelnen Verwaltungsschalen gegenseitig finden und interagieren.

## Spezifizierung von Interaktionsmustern für die Gebäudeautomation

Die Interaktionsmechanismen der Gebäudeautomation sollen die zwei vorgestellten Ziele verfolgen. Diese werden im Interaktionsmanager der Verwaltungsschalen der Gebäudeautomationskomponenten hinterlegt. Der Interaktionsmanager ist für die Umsetzung der Mechanismen und den Aufruf von Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen zuständig, welchen die zuvor entwickelten Ziele zugrunde liegen [5] (**Bild 2**).

### Nutzerspezifische Automation

Den Mittelpunkt einer individuellen, bedarfsgerechten Gebäudeautomation bildet der Gebäudenutzer. Die Interaktion zwischen den Verwaltungsschalen soll folgende Kriterien erfüllen:

- Erfüllung der individuellen Wünsche (Sollwerte) an den visuellen und thermischen Komfort in einem Raum
- Einhaltung von gängigen Normen und Richtlinien
- wirtschaftliche und energieeffiziente Umsetzung

Der Nutzer kann seine gewünschten Werte für die Temperatur, die relative Feuchte und die Beleuchtung vorgeben. Da die meisten Gebäude mit einer ausgeprägten Gebäudeautomation Nicht-Wohngebäude sind, müssen die Sollwerte der Nutzer sich innerhalb eines durch Normen und Richtlinien festgesetzten Rahmens bewegen. Dieser wird unter anderem durch die „Technischen Regeln für Arbeitsstätten“ und weitere Normen und Richtlinien definiert. Den Beginn des Interaktionsmusters bildet das Betreten

eines Raumes durch den Nutzer. Die Raumnummer wird in der Verwaltungsschale des Nutzers hinterlegt. Bei Änderung dieses Wertes sucht die Nutzer-VWS die zum Raum gehörige Verwaltungsschale und startet die Interaktion. Die Sollwerte des Nutzers werden übermittelt und in den dafür zuständigen Teilmodellen des Raumes eingetragen. Wird eine Differenz zwischen den Soll- und den Ist-Werten ermittelt, startet die Regelung der entsprechenden Größen.

Die einzelnen Assets der Gebäudetechnik, welche dem Raum zugeordnet sind, können über das Merkmal „Versorgungsbereich“ im Teilmodell „TGA-spezifische Informationen“ ermittelt werden. Zusätzlich kann die Auswahl über das Merkmal „Gewerk“ verfeinert werden. Die für die Regelung erforderlichen Werte, wie Regeldifferenz und Stellgröße, werden in einem separaten Teilmodell hinterlegt. Ebenso wird für jede Zustandsgröße ein Teilmodell mit Soll- und Ist-Wert angelegt. Besteht eine Anforderung an das Heizkörperventil, müssen alle Assets die an der Wärmeverteilung und -übergabe beteiligt sind, angesprochen werden. Dies geschieht über das Merkmal „TGA-Anlage“, welches identisch ist für alle Assets, die zu der gleichen haustechnischen Anlage gehören. Für die Wärmeerzeugung können die Verwaltungsschalen der Anlagen bezüglich ihrer aktuellen Auslastung angefragt werden. Verlässt der Nutzer den Raum wieder, werden seine Sollwerte gelöscht oder mit vorher festgelegten Standardwerten überschrieben.

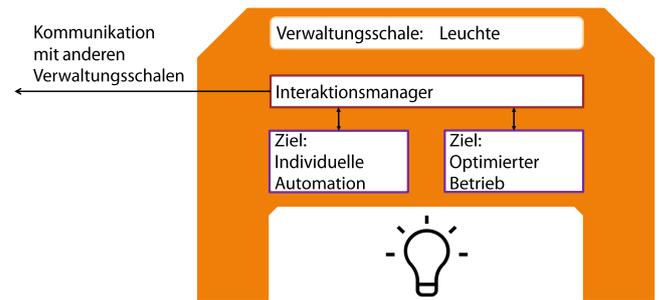
Durch die Trägheit der thermischen Systeme ist ein schneller Wechsel zwischen Soll-Werten nicht sinnvoll. Um die gewünschten Konditionen sicherzustellen und energieeffizient zu arbeiten, sollten entsprechende Festlegungen getroffen werden. In Gebäuden mit festen Arbeitsplätzen und Nutzungszeiten können die Räume morgens auf die von den Nutzern, mit einer Temperaturdifferenz von zwei Kelvin, gewünschten Werte gebracht und die Differenz erst bei Ankunft ausgeglichen werden. Besprechungsräume werden passend zu ihrer Belegung und der reservierten Zeiten frühzeitig auf die gewünschten Temperaturen geregelt. Bei mehreren Personen in einem Raum werden die Soll-Werte zwischen den Verwaltungsschalen der einzelnen Nutzer verhandelt. In die Verhandlung können dabei Faktoren, wie die Priorität oder die Grenzen, welche durch Normen und Richtlinien gesteckt sind, einfließen. Die verhandelten Werte können beispielsweise eine Person priorisieren, den Mittelwert aller Nutzer bilden oder den Mittelwert für einen bestimmten Bereich darstellen, der sich an normativen Vorgaben orientiert. Diese Festlegung kann individuell von jedem Betreiber getroffen werden.

### Energieoptimierter Gebäudebetrieb

Das zweite Ziel ist die Optimierung für einen energieeffizienten Gebäudebetrieb. Hierfür sind verschiedene Informationen notwendig:

- Anforderungen an die Innentemperaturen durch Normen/Richtlinien
- Bedarf der Nutzer/gewünschte Einstellungen
- Innere Lasten
- Wetterdaten (Außentemperatur, Sonneneinstrahlung et cetera)

Der Bedarf der einzelnen Nutzer, in Abhängigkeit ihres Anwesenheitsstatus, sowie die Anforderungen an die Einhaltung von bestimmten Temperaturen durch Normen und Richtlinien bilden



**Bild 2:** Interaktionsmanager mit Entscheidungs- und Optimierungsalgorithmen. Grafik: Huhn

den Bedarf des Gebäudes. Die gesetzlichen Vorgaben generieren die Grundlast, welche durch die Heizung beziehungsweise die Kühlung abgedeckt werden muss. Zusätzlich müssen die individuellen Wünsche der Nutzer, die eine zusätzliche Leistungsbereitstellung erfordern, berücksichtigt werden. Innere Lasten können sich sowohl positiv als auch negativ auf die Bilanz auswirken. Eine zusätzliche Kühlleistung von Serverräumen muss genauso berücksichtigt werden, wie die Wärmeabgabe von Computern und anderen Geräten. Zusätzliche Lasten können auch von Extern eingetragen werden. Im Sommer entsteht beispielsweise zusätzlicher Kühlbedarf durch hohe Außentemperaturen und eine starke Sonneneinstrahlung.

Im Gegensatz zum ersten Interaktionsmechanismus kann der Beginn des zweiten nicht genau definiert werden. Vielmehr ist es eine ständige Interaktion, welche zwischen der Energieerzeugung, der Verteilung und den Verbrauchern stattfindet. Der Einsatz eines übergeordneten Systems ist sinnvoll, um die verschiedenen Daten zu sammeln, auszuwerten und zu verarbeiten. Gleichzeitig kann dieses System die Schnittstelle zu den, von einem externen Unternehmen gelieferten, Wetterdaten bilden.

Um das allgemeine Interaktionsmuster zu beschreiben, soll die Ermittlung des Wärmebedarfs des Gebäudes für einen Tag im Winter betrachtet werden. Am Abend des Vortages wird der benötigte Bedarf des Gebäudes ermittelt. Dieser setzt sich zusammen aus dem Bedarf der Räume, der durch die Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 ermittelt wurde, sowie dem Bedarf der Nutzer, der anhand der Soll-Werte und der Anwesenheit bestimmt werden kann. Nutzer, welche im Urlaub, außer Haus oder krank sind, werden nicht berücksichtigt. Durch die Auswertung der Wetterdaten kann ein möglicher Gewinn durch höhere Außentemperaturen sowie durch die Sonneneinstrahlung ermittelt werden. Eine genaue Berechnung der inneren Lasten ist schwierig. Während der Kühlbedarf von Serverräumen recht genau bestimmt werden kann, hängt der Wärmeeintrag von Computern hingegen von der Aktivität der Nutzer ab. Eine Annäherung an den tatsächlichen Wert kann durch die Auswertung von Daten aus der Vergangenheit und selbstlernende Algorithmen erreicht werden.

Auf Grundlage des ermittelten Gesamtbedarfs kann ein Zeitplan für die Erzeugung der Energie kalkuliert werden. Kälte, die tagsüber benötigt wird, kann teilweise über die Nacht effizient erzeugt werden. Die Erzeugung des morgendlichen Wärmebedarfs erfolgt im gleichen Zeitraum jedoch nur ineffizient.

Wärme, die später am Tag benötigt wird, sollte deshalb im Laufe des Tages bei höheren Außentemperaturen produziert werden. Für eine Steigerung der Effizienz der Wärmeerzeugung kann die Bedarfsermittlung im Winter auch am Morgen des

Vortrages erfolgen, jedoch muss die vorhandene Speicherkapazität entsprechend ausgelegt sein, da sowohl die Wärme für den aktuellen Tag wie auch für den nächsten Tag bevorratet werden muss. Bei Betrachtung der beiden Interaktionsmuster wird deutlich, dass diese nicht separat voneinander betrachtet werden können, sondern eng miteinander verzahnt sind. Eine bedarfsgerechte, nutzerindividuelle Raumautomation wirkt sich somit direkt auf den Bedarf des Gebäudes aus. ■

#### FORTSETZUNG FOLGT

Im zweiten Teil dieses Beitrags werden konkrete Anwendungsszenarien im täglichen Gebäudebetrieb betrachtet.

#### LITERATUR

- [1] Raveling, Jann: Was ist Industrie 4.0? Die Definition von Digitalisierung und Industrie 4.0. Digitalisierung definiert in wenigen Worten, Verfügbar unter: <https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/was-ist-industrie-40-eine-kurze-erklarung>
- [2] Bedenbender, H. et al.: Verwaltungsschale in der Praxis. Wie definiere ich Teilmodelle, beispielhafte Teilmodelle und Interaktion zwischen Verwaltungsschalen (Version 1.0). Bundesministerium für Wirtschaft, Berlin, Juli 2020.
- [3] Vialkowitsch, J. et al.: I4.0-Sprache: Vokabular, Nachrichtenstruktur und semantische Interaktionsprotokolle der I4.0 Sprache. Bundesministerium für Wirtschaft, Berlin 2018.

- [4] Bock, J., et al.: Weiterentwicklung des Interaktionsmodells für Industrie 4.0-Komponenten, Bundesministerium für Wirtschaft, Berlin, November 2016.
- [5] Diedrich, C.; Belyaev, A.: Aktive Verwaltungsschale von I4.0-Komponenten. In: 20. Leitkongress der Mess- und Automatisierungstechnik, Automation 2019. VDI Wissensforum GmbH, Baden-Baden 2019, S. 517-530. ISBN 978-3-18-092351-2.
- [6] Bauer, W. et al.: Industrie 4.0 –Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland, Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V./Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Berlin, Stuttgart 2014.



**Dominik Huhn,  
M.Eng.**

ist Fachplaner für Gebäudeautomation,  
ZWP-Ingenieur AG, Köln.

*Bild: privat*



**Prof. Dr.  
Jochen Müller**

ist Professor für Gebäudeautomation an  
der Fakultät für Anlagen, Energie- und  
Maschinensysteme, TH Köln.

*Bild: TH Köln*

# Vorschau 06/2021



Das sich wandelnde Klima mit hohen Durchschnittstemperaturen und längeren Hitzeperioden führt inzwischen vielerorts zu erheblich steigenden Kaltwassertemperaturen im Versorgungsnetz – und in der Folge auch in den Gebäuden. *Bild: Viega*

## Sanitärtechnik

Legionellen in kaltgehenden Trinkwasser-Installationen: Hygienierisiko oder Hype?

## Heiztechnik

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit durch einfache Hydraulik in Heizungs- und Kälteanlagen

Felderprobung und Ergebnisse eines adaptiven hydraulischen Abgleichs

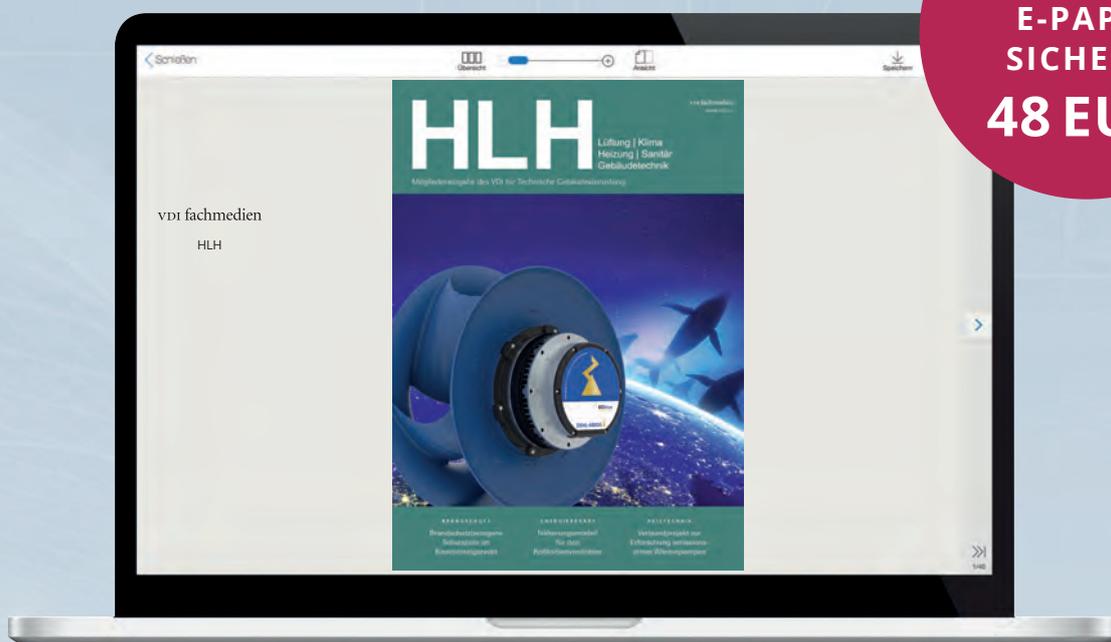
## Raumlufttechnik

Näherungsgleichungen zur Vorhersage von Temperaturübertragungsgraden an Wärmeübertragern

Raumlüftung unter instationären Bedingungen bei Vorhandensein von stabilen und sich dynamisch entwickelnden Schadstoffen

# Jetzt HLH upgraden: **MIT DEM E-PAPER-ABO!**

**JETZT  
ABO-UPGRADE  
E-PAPER  
SICHERN:  
48 EUR\***



#### **IHRE E-PAPER VORTEILE:**

- Downloadfunktion
- Volltext-Suche
- Lesezeichen
- mobiloptimiertes Design
- Zugriff auf das Archiv

#### **HLH INFORMIERT SIE ÜBER:**

- Heiztechnik, Klima, Lüftung, Kälte und Sanitärtechnik
- Gebäudeautomation und MSR-Technik
- Energiebedarf und erneuerbare Energien

\* Preis inklusive MwSt.

**Sie wollen jederzeit und überall Zugriff auf HLH**, die fachliche Pflichtlektüre für alle Planer im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung, um sich eine einzigartige Mischung aus technisch-wissenschaftlichen Autorenbeiträgen und anwendungsorientierten Berichten zu sichern?

Dann sichern Sie sich jetzt zusätzlich zu den 9 HLH Printausgaben pro Jahr auch Ihr Abo-Upgrade E-Paper: 48 EUR\*. **Einfach auf [e-paper.vdi-fachmedien.de/upgrade](http://e-paper.vdi-fachmedien.de/upgrade) gehen und bestellen.**

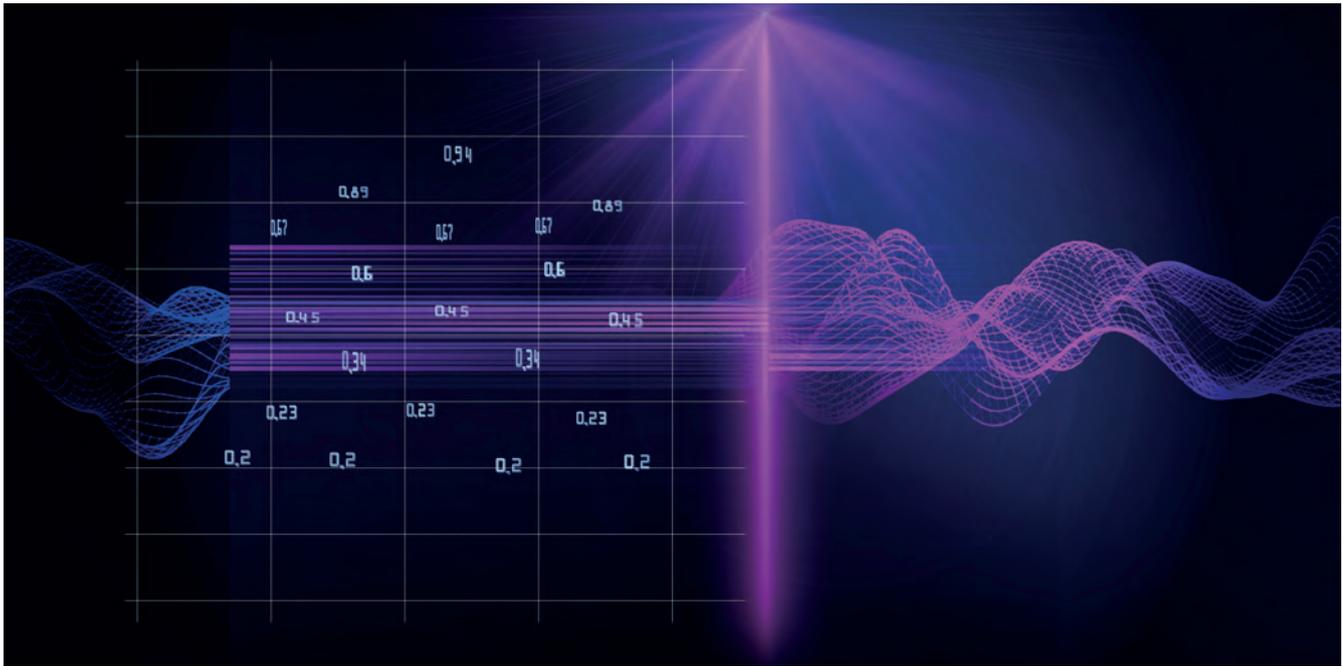


Bild: AdobeStock\_359925857

### Integrale Workflows von Anfang an – Teil 3

# Gute Parametrik, schlechte Parametrik

Unseren Mitarbeitern im Kundenkontakt wird oft die Frage gestellt, warum gewisse Dinge nicht automatisch gehen, wo man doch jetzt eine vollparametrische Lösung als Grundlage nimmt. Nun, die Gründe sind vielfältig, denn parametrische Modellierung und Abhängigkeiten im Modell sind ein Fluch und ein Segen zugleich.

TEXT: Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Christian Waluga und Dr. Dipl.-Ing. Peter Hollenbeck

**K**orrekt eingesetzt, reagieren Bauteile und dazu in Relation stehende Komponenten automatisch auf Änderungen geometrischer Parameter oder der Lage bestimmender Bauteile. So werden beim Verschieben einer Leitung verknüpfte

Elemente ebenfalls verschoben oder beim Ändern einer Leitungsdimension werden automatisch Übergänge erstellt, angrenzende Bauteile ändern ebenfalls die Dimension. Solange automatische Anpassungen nur das eigene Gewerk betreffen, sind diese in der Regel gewünscht und führen zu einem flexibleren und schnelleren Ar-

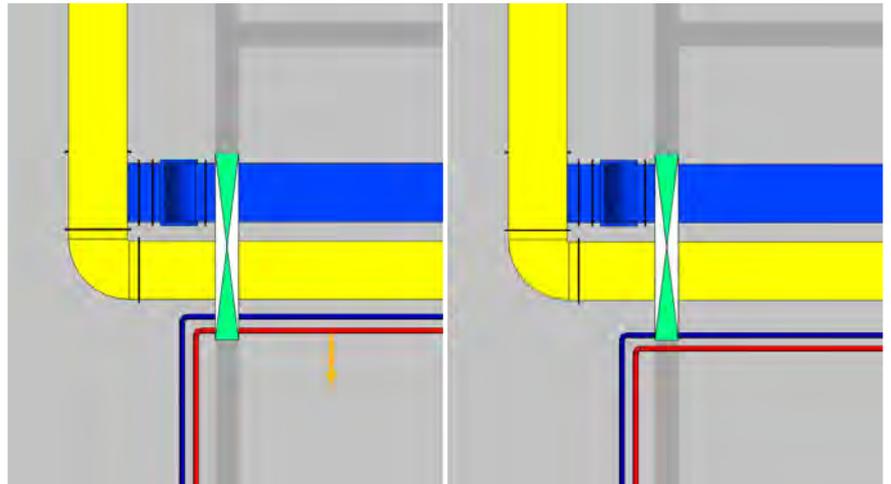
beiten. Wo liegen also die Schwierigkeiten? Nun, ein Modell mit starken Relationen erfordert Rechenzeit, um gemachte Änderungen auf abhängige Bauteile zu übertragen. Je mehr dieser Abhängigkeiten eingeführt werden, um so aufwendiger die Arbeit, die Revit investieren muss, um Änderungen herbeizuführen. Man

kann dies vergleichen mit dem Aufwandsunterschied ein Gleichungssystem mit zwei Unbekannten gegenüber einem mit drei Unbekannten händisch zu lösen. In Revit lassen sich durch den Klick auf Schloss- und Pin-Symbole schnell viele Tausende solcher Gleichungen einführen, was im Extremfall dazu führt, dass ein Modell träge und unbeweglich wird.

Unabhängig von der Modellperformance gibt es auch noch andere Schwierigkeiten, wenn man die Bauplanung als interdisziplinäres Vorhaben versteht, in dem Abstimmungsprozesse essenzieller Bestandteil sind. Für den Projektfortschritt ist es dabei notwendig, bereits getroffene Vereinbarungen nicht durch einen Automatismus zu verändern, auch wenn dieser für die eigenen Arbeitsabläufe sinnvoll erscheint. Hier ist eine Stabilität im Gesamtprozess höher einzuordnen als der eigene Komfort, da unbemerkte Verletzungen getroffener Vereinbarungen im späteren Verlauf des Projekts zu zeit- und kostenintensiven Koordinationsaufgaben führen. Anhand einiger Beispiele lässt sich gut erläutern, warum nicht alles Machbare im Kontext BIM auch automatisch sinnvoll ist.

Es wird bisweilen als schlechte Modellierung angesehen, wenn zum Beispiel eine Änderung der Geschosshöhen oder das Versetzen einer Wand sich nicht automatisch auf die TGA-Systeme übertragen lässt. Dabei wird oft übersehen, dass es vielleicht keine Sache schlecht definierter Abhängigkeiten ist, wenn eine TGA-Anlage sich nicht automatisch der Architektur anpasst, sondern vielleicht bewusst so gewollt ist. Selbst wenn die Änderung vergleichsweise harmlos ist, so sollte sie zwischen den Akteuren koordiniert werden. Findet sich eine günstigere Leitungsführung, hat die Änderung am Ende gar Auswirkungen auf die Wahl der Komponenten? All diese Fragen stellen sich den Beteiligten nicht, wenn das Modell „zu intelligent“ aufgebaut ist.

Was bei einem Übermaß an Automatismen im Gebäudemodell außerdem schiefgehen kann, lässt sich sehr einfach an dem Beispiel der Durchbruchsplanung verdeutlichen: Dieser BIM-Anwendungsfall erfordert eine Abstimmung verschiedener Fachdisziplinen. Der TGA-Planer legt die Rohrleitungen fest und erzeugt Vorschläge für Durchbrüche, die von dem beteiligten Architekten und Statikern geprüft und genehmigt werden müssen. Ist eine solche Abstimmung bereits erfolgt, so



**Bild 1:** Verschiebung einer Heizungstrasse, die durch einen abgestimmten Durchbruch geführt wird.  
Bild: liNear GmbH

wird der Planstand eingefroren. So sollte der Durchbruchsvorschlag bei einer Änderung der Leitungsführung oder -dimension nicht automatisch mitwachsen (**Bild 1**), da eine neu entstandene Kollision so schlimmstenfalls im Laufe des Projekts lange unbemerkt bleibt und später einen hohen Aufwand in der Kollisionsbehebung erzeugt. Sinnvoller ist es die Prozesse so aufzustellen, dass eine Durchbruchsplanung erst nach Ermittlung der Lage und Dimension der Leitungen erfolgt. Werden nachträgliche Änderungen einzelner Trassenabschnitte erforderlich, dann muss allen Beteiligten klar sein, dass ein erneuter Abstimmungsprozess in den betroffenen Gebäudeabschnitten erforderlich ist. Solch eine Abstimmung sollte nur durch bewusste Entscheidungen gestartet werden.

## Fazit

Wir konnten hoffentlich anhand der oben geschilderten Beispiele verdeutlichen, dass nicht jede technisch umsetzbare Funktion auch sinnvoll in den Workflow integriert werden kann. Selbstverständlich lebt eine Software davon, dass man als Hersteller die Wünsche der Anwender sammelt und in seine Lösung implementiert. Nichtsdestotrotz ist es Aufgabe des Softwareherstellers, vermeintlichen Komfort gegenüber der Stabilität im Gesamtprozess abzuwägen und auf dieser Basis zu entscheiden, welche Funktionen zukünftig in die Software gelangen sollen. Auf diese Weise stellen wir sicher, unseren Kunden einen möglichst reibungslosen Workflow zu ermöglichen. ■

## LITERATURHINWEISE

- [1] DIN EN ISO 19650, Blatt 1: Organisation und Digitalisierung von Informationen zu Bauwerken und Ingenieurleistungen, einschließlich Bauwerksinformationsmodellierung (BIM), Beuth Verlag, Berlin.
- [2] VDI-Richtlinie 2552, Blatt 1: Building Information Modeling – Grundlagen, Beuth Verlag, Berlin.
- [3] VDI-Richtlinie 2050, Blatt 1 – Anforderungen an Technikzentralen – Technische Grundlagen für Planung und Ausrüstung, Beuth Verlag, Berlin.
- [4] van Treeck, C.: Building Information Modeling. Springer-Verlag, Berlin 2016.
- [5] van Treeck, C. et.al. – Integrale Planung. BIM – Umsetzungserfahrungen im Projekt „Viega World“, Springer-Verlag, Berlin 2019.



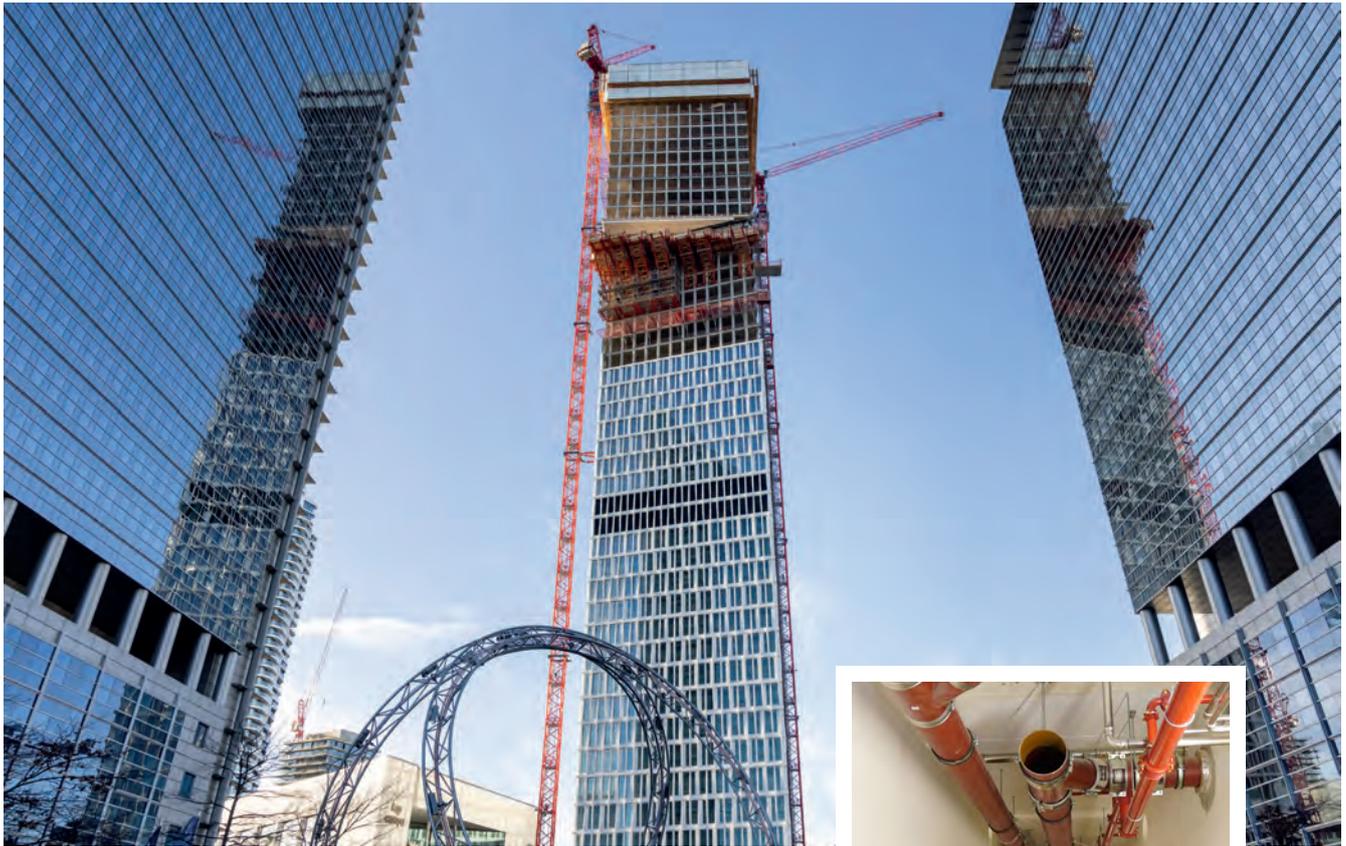
**Dr. rer. nat.  
Dipl.-Ing.  
Christian  
Waluga**

ist stellvertretender Leiter  
Entwicklung bei der  
liNear GmbH, Aachen.  
Bild: liNear GmbH



**Dr. Dipl.-Ing.  
Peter  
Hollenbeck**

ist Leiter Produkt-  
management bei der  
liNear GmbH, Aachen.  
Bild: liNear GmbH



**Baustellenbegehung in Frankfurts neuem Vorzeigeprojekt:** Das Büro- und Hotelhochhaus One (im Bild oben der Baufortschritt im März 2021) soll eine neue Landmarke werden.  
Bilder: CA Immo (oben) / Hans-Wilhelm Berghoff (rechts)

### Baustellenbesuch in Frankfurt

# Die neue Nummer eins in Manhattan

Mit dem rund 190 Meter hohen Büro- und Hotelhochhaus One entsteht in Frankfurt am Main derzeit eine neue Landmarke. Bei Fertigstellung Anfang 2022 wird das 49 stöckige Gebäude das sechsthöchste Bauwerk der Mainmetropole sein. Platin-Zertifizierungen von DGNB und WiredScore dokumentieren die gehobenen Standards des ersten vertikalen Campus der Stadt. Eine Baustellenbegehung ermöglichte erste Einblicke in das Vorzeigeprojekt.

**TEXT:** Dipl.-Ing. (TU) Undine Stricker-Berghoff

Im Sommer vergangenen Jahres hatten der Investor, die CA Immo Gruppe, und Aufzugsbauer Kone gemeinsam zu einer Führung über die internationale Baustelle im Herzen Frankfurts eingeladen. Eine begrenzte Anzahl an Fachjournalisten und Experten hatte dabei die Chance, ausgewählte Bereiche des Gebäudes noch in der Bauphase in Augenschein zu nehmen.

## Das Projekt im Überblick

### Gemischte Nutzung

Das Hochhaus One entsteht in unmittelbarer Nähe zum Messeingang Ost und ist Teil des Skyline-Plaza-Gebäudekomplexes. Das Bauvorhaben besteht aus dem Hotel- und Bürohochhaus (Bauteil 1) sowie einem damit baulich verbundenen Parkhaus (Bauteil 2) mit rund 470 Stellplätzen. Das Baumanagement für das Projekt liegt in den Händen der omniCon Gesellschaft für innovatives Bauen GmbH, einem Mitglied der CA Immo Gruppe.

Zum Objekt: Über der gemeinschaftlich genutzten Lobby im Erdgeschoss wird auf den Etagen 1 bis 14 künftig ein Vier-Sterne-Superior-Hotel der spanischen NH Hotel Group seine Gäste empfangen. 375 Zimmer, ein Restaurant und ein Konferenzbereich sind hier vorgesehen. Auf den darüberliegenden Etagen sollen auf insgesamt 45 000 Quadratmeter Fläche verschiedene Bürokonzepte realisiert werden – vom Co-Working bis zu Zellenbüros. Ein Highlight des Hochhauses ist die öffentlich zugängliche Bar in 185 Meter Höhe. Im 47. Stock ermöglicht sie mit rundum laufender Dachterrasse einen außergewöhnlichen Blick über Frankfurt und den Taunus. Mietern des Gebäudes wird darüber hinaus auf der 15. Etage eine weitere Außenterrasse zur Verfügung.

### Zertifizierungen

Bei der Planung und Ausführung des One legte man großen Wert darauf, die Vorgaben für „nachhaltiges Bauen“ unter Berücksichtigung des Kriterienkatalogs der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) zu erfüllen. Die DGNB hat die Konformitätsprüfung für das Projekt im Januar 2020 für erfolgreich abgeschlossen erklärt. Das Prüfergebnis für das Vorzertifikat wurde in allen Punkten



Die Lobby im Erdgeschoss.  
Bild: Hans-Wilhelm Berghoff



Versorgungsschacht im Erdgeschoss.  
Bild: Hans-Wilhelm Berghoff



Lüftungszentrale im Untergeschoss.  
Bild: Hans-Wilhelm Berghoff

bestätigt und das Gebäude mit „Platin“ ausgezeichnet. Diese Kategorie wird nur an Gebäude vergeben, die mindestens 85 Prozent der 37 Nachhaltigkeitskriterien in den Kategorien ökologische, soziokulturelle/funktionale und ökonomische Qualität in Planung und Umsetzung erreichen. Bei den einzelnen Kriterien wurde beim One nach den Nutzungsanteilen Neubau Büro-/Verwaltung als Hauptnutzung und Hotel als Nebennutzung unterschieden.

2018 erhielt das One zudem als erstes Gebäude in Deutschland das WiredScore-Zertifikat in Platin, mit dem die Konnektivität und die digitale Infrastruktur be-

wertet werden. Dies beinhaltet unter anderem Glasfaseranbindungen bis zu den Mietflächen, Ausfallsicherheit durch Redundanz und die Verstärkung von Mobilfunksignalen.

### Aufzugstechnik mit zwei Premieren

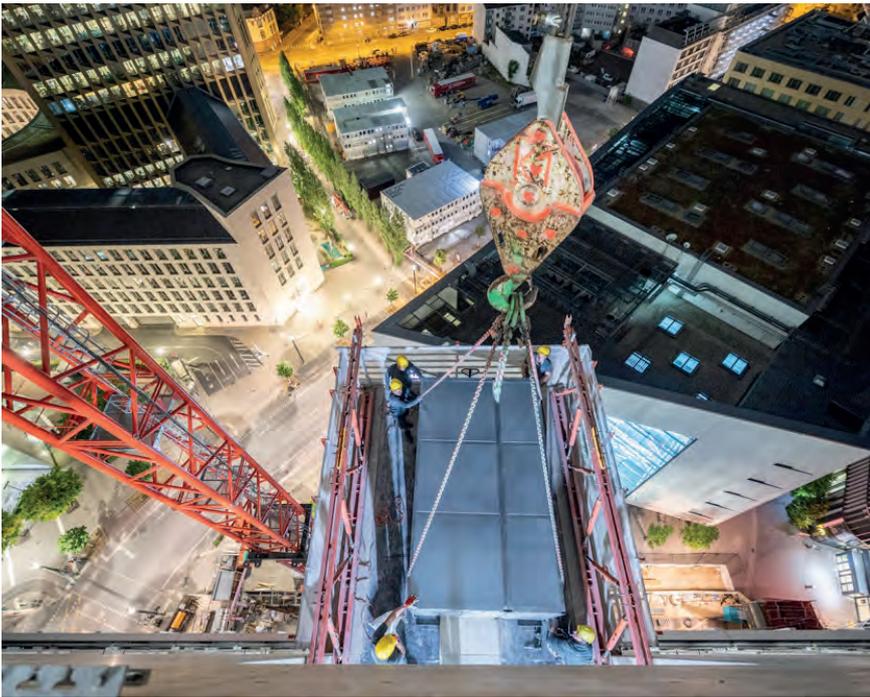
Im Bereich der für ein Hochhaus wichtigen Aufzugstechnik – insgesamt wird das Gebäude über 21 Aufzugsanlagen verfügen – kann das One direkt zwei bundesweite Premieren für sich reklamieren: Erstmals in Deutschland kam bereits in der Bauphase der Hochleistungs-Baufzug „Kone Jumplift“ zum Einsatz ([www.kone.de/neubau/aufzug-aufzuege/montage-aufzug-jumplift](http://www.kone.de/neubau/aufzug-aufzuege/montage-aufzug-jumplift)). Er nutzt einen innenliegenden, in Bau befindlichen Aufzugschacht, hier den späteren Feuerwehraufzug. Nach Bauende werden unter anderem Fahrkorb, Steuerung und Seile weitergenutzt.

Außerdem werden im One das erste Mal in Deutschland zehn schnelle Aufzüge bis in die oberen Geschosse durch Kone UltraRopes angetrieben. Diese Riemensysteme mit Kohlefaserkern und Kunststoffummantelung ersetzen die traditionellen Stahlseile. Nach Herstellerangaben sind sie im Vergleich 80 Prozent leichter und belastbarer, was ihre Lebensdauer verdoppelt und sie eine Förderhöhe bis zu 1 000 Meter erreichen lässt. Zudem sinkt der Energiebedarf um bis zu 20 Prozent und Ausfallzeiten verringern sich.

### Von der Idee zur Inbetriebnahme

Das junge Frankfurter Büro Meurer Generalplaner erhielt 2014 den 1. Preis im Wettbewerb für das neue Landmark, damals noch Tower One genannt. Zur Qualitätssicherung des Baus werden alle Daten und gegebenenfalls Mängel mittels der Software Dalux Field in einem Modell dokumentiert. Ausgehend von einer 3D-Planung wurde diese mit den Architektur-, Bau- und TGA-Plänen zusammengeführt. Auf das 3D-Modell wird die Terminplanung aufgesetzt und in einem Soll-/Ist-Vergleich verfolgt. Auf diese Weise können auch Simulationen des Bauablaufs erstellt und kontrolliert sowie mögliche Fehler visuell frühzeitig erkannt werden.

Der komplette Inbetriebnahme-Prozess des Gebäudes unterteilt sich in die mechanische Fertigstellung, die Inbetriebsetzung der einzelnen Komponenten



Die Lüftungsanlage wird in die obere Technikzentrale gehoben. Bild: CA Immo

beziehungsweise Anlagen, die Inbetriebnahme der Zusammenarbeit der Systeme und den Integraltest, bei dem das Gebäude mit allen Einzelanlagen darauf untersucht wird, ob alles so funktioniert, wie es soll. Die Inbetriebnahme erstreckt sich über etwa ein Jahr, davon rund drei Monate nach der baulichen Fertigstellung.

## Auslegungsgrundlagen für die Gebäudetechnik (Auswahl)

Laut Technikkonzept wird der Heizwärmebedarf mit einer Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 ermittelt.

Für alle Räume und Raumgruppen wird die Außenluftversorgung und Konditionierung der Raumluft mit RLT-Anlagen sichergestellt. Für die Planung und Ausführung in den Nutzungsbereichen werden DIN EN 13779 und DIN EN 15251 zu Grunde gelegt. Die Anlagenauslegung erfolgt entsprechend der Raumlasten und für Raumlufttemperaturen im Sommer von maximal 26 °C sowie im Winter 20 °C. Als Luftwechselraten werden zu Grunde gelegt: Büros 5,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h, Besprechungsräume 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> h.

Zur Bemessung der thermischen Behaglichkeit wird DIN EN ISO 7730 angewendet.

Der Kühllastbedarf wird nach VDI 2078, VDI 6007, DIN V 18599 ermittelt. Bemessungsgrundlage der haus-

technischen Anlagen sind folgende innere Wärmelasten: Einzelbüros: 25 W/m<sup>2</sup>, Open Space: 25 W/m<sup>2</sup>, Besprechungsräume: 30 W/m<sup>2</sup> jeweils zuzüglich Personen, Grundbeleuchtung und äußere Lasten.

Die Trink- und Löschwasserversorgung erfolgt aus dem öffentlichen Trinkwassernetz und wird gemäß der TRWI-Normenreihe, DIN 1988, DIN EN 806, VDGW-Arbeitsblatt W 551, VDI 6023 und den örtlichen Vorschriften des Wasserversorgungsunternehmens geplant und ausgeführt.

Zur Überwachung, Bedienung, Steuerung und Regelung der Gebäudetechnik und sonstigen Anlagen ist eine Gebäudeautomation (GA) nach DIN EN 15232, DIN EN ISO 16484 und VDI 3814 vorgesehen. Die Anlagen- und Raumautomation wird in drei Systemebenen untergliedert.

## Gebäudetechnik: Umsetzung

Zu den Gebäudetechnik-Gewerken des One lieferte René Riweler, Construction Management, von Omnicon zusätzlich zum Technikkonzept detaillierte Informationen: Im 2. Untergeschoss inklusive Lüftungszentrale sowie auf der 17./18. Doppel- und im 46. bis 48. Obergeschoss sammeln und steuern drei Technikzentralen die Gebäudetechnik. Hotel- und Bürobereiche werden grundsätzlich unabhän-

gig voneinander sowohl vertikal erschlossen (Aufzüge) als auch über gebäudetechnische Anlagen versorgt. Eine getrennte Bewirtschaftung der unterschiedlichen Nutzungsbereiche ist so sichergestellt, ausgenommen der gemeinsam bewirtschafteten Bereiche wie Erdgeschoss, Anlieferung, Teile der Untergeschosse, Parkhaus, Fluchttreppenhäuser und Steigeschächte. Auch die Sicherheits- und Ersatzstromversorgung für Hotel und Büros wird als gemeinsame Anlage ausgeführt.

Das Gebäude soll die Vorgaben der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) um fast 20 Prozent unterschreiten. Beheizt wird das One mit Fernwärme (2 500 KW Sattldampf). Die Wärme-/Kälteabgabe erfolgt im Hotel via Fancoils und in den Büros via Bodenkonvektoren, Heizkörpern sowie Heiz- und Kühldecken. Die Kälteanlage beinhaltet eine Kältemaschine mit 1 300 KW bei 100 Prozent Kälteleistung.

Der außenliegende Sonnenschutz aus Mikrolamellen (Einzelbüros raumweise und Open Space zonenweise bedienbar) kann auch übergeordnet über Wind- und Sonnenwächter angesteuert werden.

Die Luftzufuhr erfolgt unter anderem über das mit 50 Pascal beaufschlagte Treppenhaus mit Abluft auf die Etagen. Die Hotelzimmer sind einzeln klimatisiert. Hinzu kommen eine Zu- und Abluft-Anlage für Küchenlüftungsdecken sowie die zentrale Fort- und Entrauchungsanlage für die Tiefgarage.

Die Sanitäreanlagen beinhalten unter anderem Druckerhöhungsanlagen, Wasseraufbereitung, zentrale Trinkwassererwärmung im Hotel, dezentrale Trinkwassererwärmung in den Büros, Schmutzwasserhebeanlagen, Fettscheider und Abwassernachbehandlung. ■

## WEITERE INFORMATIONEN

Der aktuelle Stand der Arbeiten am Hochhaus One ist unter anderem in einem Newsblog unter [www.one-frankfurt.de](http://www.one-frankfurt.de) dokumentiert.



Dipl.-Ing. (TU)  
Undine  
Stricker-  
Berghoff, CEng

MEI VDI ProEconomy,  
Travemünde.

Bild: ProEconomy

**Die Produktfamilie SolarBloC** ist komplett vorinstalliert und einsetzbar für thermische Solaranlagen bis zu einer Größe von 175 m<sup>2</sup>. Bild: PAW



## Solaranlagen: Vormontierte Armaturengruppen

Mit den Modulen der Serie SolarBloC bietet PAW komplett vormontierte Armaturengruppen für die thermische Solaranwendung in den Nennweiten DN 20, DN 25 und DN 32. Für unterschiedliche Kollektorflächengrößen haben die Hamelner diverse Größen im Programm: Die Midi-Blöcke (DN 20) können im Low-Flow-System bis 60 m<sup>2</sup> beziehungsweise im High-Flow-System bis 40 m<sup>2</sup> Kollektorfläche verwendet werden. Die Maxi-Module (DN 25) können hingegen im Low-Flow-System bis 125 m<sup>2</sup> (High-Flow-System bis 80 m<sup>2</sup>) eingesetzt werden. Die größte Baugruppe ist das Mega-System (DN 32). Der Einsatzbereich im Low-Flow-System reicht bis 175 m<sup>2</sup> (High-Flow-System bis 115 m<sup>2</sup>). [www.paw.eu](http://www.paw.eu)



Der Öl-Brennwertkessel lässt sich bei Bedarf zur Hybridlösung erweitern und im System mit einer Wärmepumpe betreiben. Alternativ ist er auch auf den Betrieb mit Gas umrüstbar. Bild: Buderus

## Leichtgewicht für die Modernisierung

Mit den Leistungsgrößen 19 und 25 kW erweitert Buderus die Produktbaureihe Logano plus KB195i. Die neuen Wärmeerzeuger gehören zu den leichtesten und kompaktesten Öl-Brennwertkesseln ihrer Klasse. Sie wiegen nur 88 kg und benötigen eine Aufstellfläche von lediglich 0,39 m<sup>2</sup>. Das Gerät kann in Bestandsanlagen integriert werden, weil es keine hydraulische Weiche benötigt. Der Logano plus KB195i-19 und 25 kW ist mit zweistufigem Öl-Blaubrenner erhältlich und erreicht nach Herstellerangaben eine jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz von bis zu 93 Prozent. [www.buderus.de](http://www.buderus.de)

## Weiteres Blockheizkraftwerk

Der BHKW-Hersteller RMB/Energie hat seine Produktpalette erweitert: Mit dem neoTower 12.5 folgt das nächste Blockheizkraftwerk basierend auf einem Yanmar-Motor. Das Produktportfolio des nord-deutschen Unternehmens wächst somit auf 15 Anlagen im Leistungsbereich bis 50 kW (el.). Dank seiner stufenlosen Modulation passt der neoTower 12.5 seine Leistung im Bereich zwischen 6,0 und 12,5 kW elektrischer Leistung sowie 13,3 und 27,6 kW Wärmeleistung dem individuellen Bedarf des Gebäudes an. Herzstück ist ein robuster und laufiger Dreizylinder-Gasmotor sowie ein Hochleistungs-Asynchron-Generator. Dieser wird mit einer konstanten niedrigen Motordrehzahl von 1540 U/min angetrieben. [www.rmbenergie.com](http://www.rmbenergie.com)



einem Quadratmeter eignet sich der neoTower 12.5 auch für Sanierungen. Bild: RMB/Energie



Über eine XML-Schnittstelle kann das Funkline-System an die übergeordnete Gebäudeleittechnik und Hausautomatonsysteme angebunden werden. Bild: Zewotherm

## Funksteuerung mit hydraulischem Abgleich

„Zewo Funkline“ ein neues, funkbasiertes System für die Einzelraumregelung von Flächenheizungen und -kühlungen, leistet gleichzeitig einen vollautomatischen hydraulischen Abgleich. Er erfolgt über einen intelligenten Algorithmus auf Grundlage einer permanenten Berechnung und Einstellung der Massenströme. Damit ist das System Bafa-förderfähig. Als zentrale Plattform dient eine Basisstation, die über eine sichere 868-MHz-Funktechnologie mit den zugehörigen Funk-Raumthermostaten und Stellantrieben kommuniziert. Das für den Neubau wie für Umrüstungen geeignete Funk-Regelungssystem ist steckerfertig und kann ohne IT- oder Elektronik-Kenntnisse installiert werden. [www.zewotherm.de](http://www.zewotherm.de)

# Wirkungen der Abnahme der Werkleistung

Der Unternehmer eines Werkvertrages – etwa der Bauunternehmer oder der planende und überwachende Ingenieur oder Architekt – schuldet nicht nur die Erbringung von Leistungen, sondern auch den vertraglich vereinbarten Erfolg. Ausweis dafür, dass der Erfolg (im Wesentlichen) eingetreten ist, ist die Abnahme der Leistung.

Unter Abnahme wird sowohl im BGB als auch in der VOB/B die körperliche Übernahme des fertiggestellten Werkes durch den Auftraggeber verbunden mit der Erklärung, dass er das Werk als im wesentlichen vertragsgerecht ansehe, verstanden. Der Auftraggeber ist verpflichtet, die Abnahme auszusprechen, wenn die Voraussetzungen vorliegen. Der objektüberwachende Ingenieur kann mangels besonderer Bevollmächtigung die Abnahme nicht rechtswirksam erklären. Er hat regelmäßig den Abnahmetermin zu organisieren, das Objekt zu begehen, auf seine Abnahmefähigkeit zu überprüfen und die Ergebnisse zu protokollieren sowie einen Abnahmevorschlag zu machen. Die Abnahme ist rechtlich von erheblicher Bedeutung; mit ihr werden die vertraglichen Beziehungen zwischen den Parteien erheblich verändert. Die Abnahme beendet das Erfüllungsstadium des Vertrages: Der Auftragnehmer hat seine Leistung (im Wesentlichen) erbracht. Der Vertrag tritt ins Haftungsstadium ein. Ansprüche des Auftraggebers beziehen sich nunmehr auf das tatsächlich hergestellte Werk. Außerdem entfällt die Vorleistungspflicht des Auftragnehmers, und der Auftraggeber verliert sein Anordnungsrecht nach § 1 Abs. 3, 4 VOB/B.

Mit der Abnahme tritt eine Umkehr der Beweislast ein. Beweislast bezeichnet die Frage, wer das Risiko trägt, wenn sich ein für einen Anspruch relevanter Umstand nicht nachweisen lässt. Bis zur Abnahme trägt der Auftragnehmer die Beweislast dafür, dass seine Leistung mangelfrei ist, ab der Abnahme muss der Auftraggeber im Streitfall beweisen, dass die Leistung zum Zeitpunkt der Abnahme mangelhaft war, auch wenn der Mangel erst zu einem späteren Zeitpunkt erkennbar geworden ist. Lässt sich etwa nach längerem Betrieb einer Lüftungsanlage nicht mehr feststellen, ob ein Versagen auf einen Montagefehler des Auftragnehmers oder ein von ihm eingebautes defektes Bauteil zurückgeht oder auf mangelhafte Wartung, Fehlbedienung oder Dritteingriffe, geht das zu Lasten des Auftraggebers. Dabei muss die Reserveursache nicht zweifelsfrei feststehen, sondern es genügt bereits, wenn neben einem Mangel auch eine andere Ursache ernstlich in Betracht kommt. Für Mängel, die bei der Abnahme festgestellt worden sind und für die sich der Auftraggeber seine Mängelrechte vorbehalten hat, verbleibt es bei der Beweislast des Auftragnehmers.

Mit der Abnahme gehen Leistungs- und Preisgefahr endgültig auf den Auftraggeber über. Unter der Leistungsgefahr versteht man das Risiko des Unternehmers, nochmals leisten zu müssen, wenn das ganz oder teilweise hergestellte Werk durch höhere Gewalt beschädigt oder zerstört wird. Liegt der Vorfall vor der Abnahme, liegt die Leistungsgefahr beim Auftragnehmer. Mit der Preisgefahr wird das Risiko bezeichnet, als Auftraggeber nochmals zahlen oder als Unternehmer ohne zusätzliche Vergütung

leisten zu müssen. Auch die Preisgefahr liegt nach dem BGB vor der Abnahme beim Auftragnehmer. § 7 VOB/B trifft allerdings zugunsten des Auftragnehmers eine davon abweichende Regelung: Der Auftragnehmer muss zwar bei Vorfällen vor Abnahme erneut leisten, bekommt seine erneute Leistung aber vergütet.

Mit der Abnahme endet die Schutzpflicht des Auftragnehmers für die von ihm ausgeführte Leistung und ihm für die Ausführung der Leistung übergebene Gegenstände (§ 4 Abs. 5 VOB/B). Dadurch dass der Auftraggeber die Leistung übernimmt, wird er nun auch für ihren Schutz verantwortlich.

Zum Zeitpunkt der Abnahme beginnt die Verjährungsfrist für Mängel der Leistung. Das gilt auch für solche Mängel, die zum Zeitpunkt der Abnahme nicht erkennbar sind, sowie für die Mängel, die bei der Abnahme bemerkt worden sind und für die sich der Auftraggeber seine Mängelrechte vorbehalten hat. Klauseln in den AGB des Auftraggebers, die den Beginn der Verjährung vom Zeitpunkt der Abnahme lösen, sind als unwirksam anzusehen.

Die Abnahme überführt den Vertrag in das Abrechnungsstadium. Die Abnahme ist neben einer prüffähigen Schlussrechnung Voraussetzung der Fälligkeit der Vergütung.

Die Abnahme wird nach §§ 640 Abs. 3, 341 Abs. 3 BGB als eine Art „Quittung“ angesehen: Wenn sich der Auftraggeber bei der Abnahme die Rechte wegen ihm positiv bekannter Mängel (die Tatsache, dass der Auftraggeber die Mängel kennen könnte oder zwar die äußere Mangelerscheinung kennt, aber nicht deren Bedeutung, genügt nicht) nicht konkret vorbehält, verliert er seine Ansprüche auf Nacherfüllung, Ersatzvornahme und Minderung. Schadensersatzansprüche verbleiben dem Auftraggeber trotz fehlenden Vorbehalts. Wenn sich der Auftraggeber Ansprüche aus einer vereinbarten Vertragsstrafe nicht bei Abnahme vorbehält, verliert er diese, kann aber einen Verzugsschaden, den er konkret nachweisen muss, geltend machen. Anerkannt ist allerdings, dass auch in AGB vereinbart werden kann, dass die Vertragsstrafe noch bis zur Schlusszahlung geltend gemacht werden kann. In beiden Fällen muss der Vorbehalt bei der Abnahme, nicht später, im Falle der fiktiven Abnahme innerhalb der Frist bis zum Eintritt der Abnahmewirkungen, erklärt werden. ■



**Dr. Reinhard Voppel**

Rechtsanwaltskanzlei  
Osenbrück, Bubert, Kirsten, Voppel, Köln  
[www.obkv-rechtsanwaelte.de](http://www.obkv-rechtsanwaelte.de)

Bild: Foto Stephan Behrla/Nöhrbaß GbR

# Die erste Adresse für Technikwissen: VDI Fachmedien.

FACHZEITSCHRIFTEN AUCH ALS E-PAPER ERHÄLTLICH



**BAUINGENIEUR**  
10 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 467,50 EUR  
E-Paper-Abo: 407,70 EUR



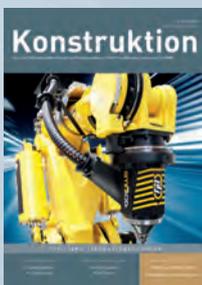
**BWK**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 321,50 EUR  
E-Paper-Abo: 277,20 EUR



**GEFAHRSTOFFE**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 423,00 EUR  
E-Paper-Abo: 369,00 EUR



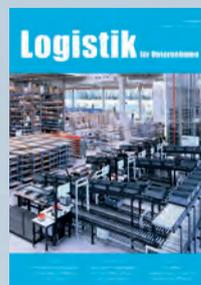
**HLH**  
9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 230,00 EUR  
E-Paper-Abo: 193,50 EUR



**KONSTRUKTION**  
9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 504,50 EUR  
E-Paper-Abo: 441,00 EUR



**LÄRMBEKÄMPFUNG**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 246,00 EUR  
E-Paper-Abo: 213,30 EUR



**LOGISTIK  
FÜR UNTERNEHMEN**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 193,00 EUR  
E-Paper-Abo: 162,00 EUR



**TECHNISCHE SICHERHEIT**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 254,00 EUR  
E-Paper-Abo: 216,90 EUR



**UMWELTMAGAZIN**  
6 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 139,00 EUR  
E-Paper-Abo: 115,20 EUR



**VDI-Z**  
9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 272,00 EUR  
E-Paper-Abo: 231,30 EUR



**WT  
Werkstattstechnik-online**  
9 Ausgaben pro Jahr  
Jahresaboppreis: 267,00 EUR

Jetzt Fachzeitschrift  
auswählen und bestellen!

Telefon:  
+49 6123 9238-202

vdi-fachmedien@  
vuservice.de

Inlandsbruttopreise –  
Ausland auf Anfrage.

**Wir wissen, was Technikwissen auszeichnet.**

**Wir – das sind die hochkarätigen Fachzeitschriften des Fachverlags für Ingenieure, die VDI Fachmedien.**

In direkter Anbindung an den VDI, das größte deutsche Ingenieur Netzwerk. Unsere Autoren berichten über Innovationen und Hintergrundwissen in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Und das jederzeit praxisorientiert, ohne den wissenschaftlichen Background aus dem Blick zu verlieren.

TECHNIKWISSEN FÜR INGENIEURE.

[www.vdi-fachmedien.de](http://www.vdi-fachmedien.de)

VDI fachmedien



# Eine Systemtrennung. Immer sicher.



## WOHNUNGSSTATION REGUDIS W-HTE

Mit unserem Duo Heizkreistrenn-Modul bist du auf der sicheren Seite: Heizkreise werden zuverlässig getrennt, zum Beispiel, wenn dies vom Nahwärmenetzbetreiber gefordert wird. Das Duo Heizkreistrenn-Modul ist kompatibel mit unserer Systemlösung Regudis W-HTE. Das macht es nicht nur einfach für dich, sondern auch immer sicher – denn *alle Komponenten sind aufeinander abgestimmt.*

