

HLH

01-02 | 2024
hlh.de

VDI¹
Fachmedien

Lüftung | Klima
Heizung | Sanitär
Gebäudetechnik

Organ des VDI für Technische Gebäudeausrüstung

Spezial
**Energieoptimierte
Luft- und
Klimatechnik**



SPEZIAL

Nachhaltige Lösungen
für bessere
Indoor Air Quality

ENERGIEBEDARF

Auswertung mikrometeo-
rologischer Daten für die
Erdwärmenutzung

HEIZTECHNIK

Das neue GEG:
Möglichkeiten für die
Industrie

Aus BWK und UmweltMagazin wird: VDI energie + umwelt

Erste
Ausgabe:
12.02.2024



Zukunft gestalten: smart, effizient und nachhaltig.

Mit diesem visionären Claim präsentiert sich VDI energie + umwelt, der Nachfolgetitel der traditionsreichen Fachzeitschriften BWK Energie und UmweltMagazin, bei dem Klima und Umwelt stets im Fokus stehen. Wir zeigen auf, mit welchen technisch und wirtschaftlich machbaren Lösungen die Energietransformation in Unternehmen erfolgreich gelingt. Wie Dekarbonisierung, Mobilitätswende und die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft gemeistert werden können. Und wie sich die Wettbewerbsfähigkeit in Unternehmen durch Digitalisierung als Hebel für Ressourceneffizienz und Dezentralisierung steigern lässt.



Technikwissen für Ingenieur*innen

vdi-energie-umwelt.de

Der Markt wird doppelt bestraft

Nach der Verabschiedung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) durch den Bundestag am 8. September 2023 steht fest, dass der Wärmerückgewinnung (WRG) in RLT-Anlagen ihre bisherige gleichberechtigte Anerkennung zur regenerativen Energie entzogen wurde. Diese Entscheidung des Bundestags ist aus technischer, ökologischer und ökonomischer Sicht falsch.

Eine wesentliche Komponente zur Verringerung thermischer Arbeit zur Gebäudebeheizung ist die Wärmerückgewinnung in Lüftungsanlagen. Die WRG nutzt rund 70 bis 80 Prozent der in der Abwärme enthaltenen thermischen Energie zur Erwärmung der Außenluft und hat eine sehr hohe Effizienz, da lediglich die Druckverluste der WRG mit Elektroenergie überwunden werden müssen. Gemäß dem neuen GEG soll diese Abwärme aber nur noch zur 65 %-EE-Bilanzierung angerechnet werden, wenn sie als Wärmequelle für eine Wärmepumpe eingesetzt wird. Konkret heißt es im neuen GEG: „Nicht-prozessbezogene Wärme aus Abluft, Raumluft oder Fortluft kann ausschließlich dann als unvermeidbare Abwärme angerechnet werden, wenn sie über eine Wärmepumpe nutzbar gemacht wird. Darüber hinaus zählt Abwärme aus nicht-prozessbezogener Abluft (zum Beispiel über Abluft- oder RLT-Anlagen) nicht als unvermeidbare Abwärme.“

Diese Festlegung führt zu einer absurden Situation. Hieraus folgt nämlich, dass Abwärme aus der Abluft einer RLT-Anlage erst über den Umweg der Verwendung in einer Wärmepumpe genutzt werden muss, um als erneuerbare Energie anerkannt zu werden, beziehungsweise auf die 65 %-EE-Vorgabe anrechenbar zu sein. Diese Forderung im GEG ist weder technisch noch ökologisch oder wirtschaftlich sinnvoll.

Gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik fließt Wärme immer von einer Wärmequelle mit höherer Temperatur zu einer Warmesenke mit geringerer

Temperatur. Diese Gesetzmäßigkeit nutzt auch die Wärmerückgewinnung in RLT-Anlagen. Ein Pumpen auf ein höheres Temperaturniveau ist damit weder notwendig noch wirtschaftlich.

Zwar benötigen die zur WRG eingesetzten Systeme auch elektrische Hilfsenergie zur Überwindung deren Druckverluste. Diese elektrische Energie ist aber deutlich geringer als die zum Betrieb einer Wärmepumpe. So haben WRG-Systeme in Lüftungsanlagen Jahresarbeitszahlen im Bereich von 12 bis 25. Diese liegen

„Diese Forderung im GEG ist weder technisch noch ökologisch oder wirtschaftlich sinnvoll.“

um etwa den Faktor 4 über denen von Wärmepumpen, die meist Arbeitszahlen von rund 3 bis 6 aufweisen. Der energetische Aufwand zum Betrieb einer Wärmepumpe ist somit bei gleicher Wärmebereitstellung rund drei bis fünfmal höher als zum Betrieb einer WRG und somit weniger effizient und weniger ökologisch.

Beide Systeme, die WRG einerseits, aber auch die Wärmepumpen andererseits, nutzen das gleiche Abwärmepotenzial. Im Fall der Wärmepumpe wird diese Abwärmeenergie als regenerative Energie anerkannt, im anderen Fall der Nutzung durch die WRG nicht, obwohl die WRG das Potenzial effektiver nutzen kann.

Aus den zuvor erläuterten Gründen forderte auch der Bundesrat die Bundesregierung auf, in der Neufassung des GEG diesen Missstand rund um die WRG zu korrigieren. Allerdings blieb diese Forderung ungehört.

WRG kann erhebliche Mengen an thermischer Energie einsparen. Und das

tut sie, wie zuvor erläutert, bedeutend effizienter als Wärmepumpen dies technisch und physikalisch jemals leisten könnten. In Nicht-Wohngebäuden werden bereits heute rund 30 Terrawattstunden pro Jahr Wärme eingespart. Ohne WRG würde die in der Abluft einer Lüftungsanlage enthaltene Abwärme ohne jegliche Nutzung an die Umgebung abgegeben. Eine solche Abgabe der Abwärme an die Umgebung ist ohne WRG unvermeidbar. Es sei denn, man würde bewusst auf eine Lüftungsanlage verzichten. Damit würde aber verkannt werden, dass Raumlufttechnik eine notwendige Maßnahme ist, um das „Lebensmittel Luft“ den Menschen in Wohn- und Nichtwohngebäuden in einer hygienisch guten und thermisch angenehmen Qualität zur Verfügung zu stellen. Raumlufttechnik ist kein vermeidbares Luxusgut. Dies wurde in den Zeiten der Corona-Pandemie mehr als deutlich.

Oder aber die Wärmerückgewinnung wird als Stand der Technik vorausgesetzt, aber auch der Wärmepumpe kann nicht ernsthaft der Status „Stand der Technik“ entzogen werden.

Der Markt wird jetzt doppelt bestraft. Die WRG muss gemäß § 68 GEG verwendet werden, führt aber nicht zur entsprechenden Anerkennung beziehungsweise Anrechenbarkeit. Es wäre somit hilfreich, wenn die Bundesregierung künftig physikalische Gesetzmäßigkeiten beachten würde, zumal diese – zumindest im Bereich der WRG – auch deutlich wirtschaftlicher sind als alternativ dazu anerkannte Maßnahmen. ■

**Prof. Dr.-Ing.
Dr. rer. pol.
Christoph Kaup**



ist Honorarprofessor am Umwelt-Campus Birkenfeld, Vorstandsvorsitzender des Fachverbands Gebäude Klima e.V. und Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH, Brücken.
Foto: Nikola Krieger



Die novellierte F-Gase-Verordnung: Die Auswirkungen der Neuauflage für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche im Überblick.

Foto: panthermedia.net/antpkr (YAYMicro)



Back to business: Am 3. März startet die Light+Building 2024. Das diesjährige Motto rund um den Frankfurter Messeturm: „Be electrified“

Foto: Messe Frankfurt Exhibition GmbH/Jochen Günther

Standpunkt

- 03** Der Markt wird doppelt bestraft
Christoph Kaup

Aktuelles

- 06** ENERGIEBEDARF Erneuerbare: Anteil erstmals über 50 Prozent
- 07** FORSCHUNG Künstliche Intelligenz verbessert Organisation auf Baustellen
- 08** BRANCHE Fachkräftemangel: Fast jeder zweite Betrieb betroffen
- 09** FORSCHUNG Neue Chance für Photovoltaik-Module
- 11** FACHMESSEN GET Nord setzt Schwerpunkt auf Elektrotechnik
- 12** EMISSIONEN Krank durch Feinstaub: Schadensersatzanspruch im Gespräch
Bernd Genath, Düsseldorf
- 14** KÄLTEMITTEL Die novellierte F-Gase-Verordnung
Christoph Brauneis, Maintal
- 18** ANLAGENTAUSCH Kaufmännische Varianten für die Anschaffung von Heizung und Klimageräten
Lars Keller, Poing

Spezial Energieoptimierte Luft- und Klimatechnik

- 20** AUSLEGUNG Beispiel für die Bestimmung des sommerlichen Auslegungszustandes für den Luftkühler einer Klimaanlage aus realen Wetterdaten
Helmut E. Feustel, Berlin
- 25** VENTILATOREN Nachhaltige Lösungen für bessere Indoor Air Quality
*Jochen Scherer, Mulfingen;
Uwe Rupertus, St. Georgen*
- 28** LUFTQUALITÄT Die Bewertung der Energieeffizienz und Effektivität von Infektionsschutzmaßnahmen bezüglich luftgetragener Krankheitserreger durch die Kennzahl ICEE, Teil 2
*Ruben Makris, Claudia Kopic,
Lukas Schumann, Martin Kriegel,
Berlin*

Fachmessen

- 34** VORBERICHT LIGHT+ BUILDING 2024
Back to business

- 36** VORBERICHT LIGHT+ BUILDING 2024
Messebesuch und Produkte

Energiebedarf

- 38** ERDWÄRMENUTZUNG Auswertung standardisierter mikrometeorologischer Daten der ICOS-Station Grillenburg mit Ausführungen für die Erdwärmenutzung, Teil 2
*Siegfried Schlott, Klingenthal;
André Schlott, Matthias Mauder,
Thomas Grünwald, Dresden*

Heiztechnik

- 43** HALLENHEIZUNG Das neue GEG: Möglichkeiten für die Industrie
Friedhelm Schlösser, Köln
- 46** ANLAGENWASSER Probleme und Lösungen bei Sauerstoffzutritt in Heiz- und Kühlkreisläufen
Dietmar Ende, Leonberg

Anwendungsberichte

- 51** TEMPERIERUNG Vorbildliche Lösung für eine besondere Location
- 54** ENERGIEBEDARF Nachhaltige Verwandlung



Probleme und Lösungen bei Sauerstoffzutritt in Heiz- und Kühlkreisläufen:
Wie die Qualität von Anlagenwasser bewahrt und Korrosion vermieden werden kann. Foto: perma-trade

Recht & Praxis

58 BAURECHT Fehlerhafte Rechnungsprüfung und Schadensersatz
Reinhard Voppel, Köln

Rubriken

10 Impressum
50 Vorschau März
56 Produkte



Herzstück effizienter Wohnraumlüftungsanlagen sind Ventilatoren, die für den nötigen Luftaustausch sorgen. ebm-papst bietet hier die passenden Produktlösungen wie beispielsweise den neuen RadiCal. Mit einem verbesserten Wirkungsgrad im Vergleich zum Vorgänger ist er zudem bis zu 3 dB (A) leiser und das bei höherem Volumenstrom. Mehr dazu ab Seite 25 und unter www.ebmpapst.com

Foto: ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG

PUROTAP
by ELYSATOR™

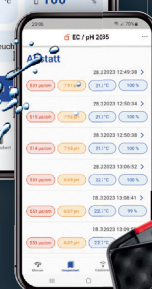
NOCH NIE WAR DER
HEIZWASSERCHECK
SO EINFACH UND SICHER!

ELYSATOR sorgt
APP-JETZT für
Klarheit beim **HEIZ-
WASSERCHECK!**

PUROTAP® EC-pH 2035
Art.Nr. 214862

Kombi-Messgerät all-in-one für professionelle Messungen von pH-Wert, Leitfähigkeit, und Temperatur. Mit LCD Display und Datenverwaltung über Smart-APP.

- » Messen
- » Feststellen
- » Dokumentieren



**Analysekoffer
AK-2035**
Art.Nr. 214893

Hochwertiger Analysekoffer, Inhalt in passgenauen Schaumstoffeinlagen verpackt.



ELYSATOR 
engineering water

ELYSATOR Engineering GmbH
Rauheckstrasse 20 | D-74232 Abstatt
info@elysator.de www.elysator.de

TGA für Schwimmbäder

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat eine neue Richtlinie veröffentlicht: Die VDI 2089 Blatt 1 „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Hallenbäder“ bezieht sich auf wärme- und heiztechnische, raumlufttechnische, sanitär- und elektrotechnische Anlagen in öffentlichen Hallenbädern. Die Richtlinie gilt für Neubauten wie für die Modernisierung bestehender Anlagen und liefert TGA-Planenden und Betreibenden zahlreiche Auslegungswerte und praxisbezogene Hinweise hinsichtlich Oberflächen- und Wassertemperatur, Luftfeuchte und Zugluft. Die Richtlinie kann ab 131,80 Euro beim Beuth Verlag bestellt werden. VDI-Mitglieder erhalten zehn Prozent Preisvorteil.

www.beuth.de

Erneuerbare: Anteil erstmals über 50 Prozent

Erneuerbare Energien leisten einen zunehmend wichtigen Beitrag zur Deckung des deutschen Stromverbrauchs. Im vergangenen Jahr lag ihr Anteil nach Berechnungen des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) sowie des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) bei 52,3 Prozent (plus fünf Prozentpunkte im Vergleich zu 2022).

Insgesamt beziffern ZSW und BDEW den deutschen Stromverbrauch für 2023 auf 517,3 Milliarden Kilowattstunden, das sind 23 Milliarden Kilowattstunden weniger als 2022. Da die Erneuerbaren-Quote als Anteil am Stromverbrauch bemessen wird, erhöht ein niedrigerer Verbrauch die Quote und umgekehrt. Der aktuell niedrigere Stromverbrauch wirkt sich daher positiv auf die Erneuerbaren-Bilanz aus. Aber auch in absoluten Zahlen lag die Erzeugung „grüner Energien“ im Jahr 2023 mit 267 Milliarden Kilowattstunden (plus sechs Prozent gegenüber 2022) so hoch wie noch nie zuvor. Insgesamt wurden im Jahr 2023 nach den vorläufigen Berechnungen von ZSW und BDEW rund 508,1 Milliarden Kilowattstunden Strom erzeugt – knapp elf Prozent weniger als im Jahr 2022 (2022: 569,2 Milliarden Kilowattstunden). Davon stammten 267 Milliarden Kilowattstunden aus erneuerbaren Energien (2022: 251,8 Milliarden Kilowattstunden). Windkraftanlagen an Land machten mit 113,5 Milliarden Kilowattstunden (neuer Rekordwert) den größten Anteil der regenerativen Stromerzeugung aus (2022: 100,1 Milliarden Kilowattstunden), gefolgt von Energie aus Photovoltaikanlagen mit 62 Milliarden Kilowattstunden (2022: 59,3 Milliarden Kilowattstunden) und Biomasse mit 49,7 Milliarden Kilowattstunden (2022: 49,7 Milliarden Kilowattstunden). Windenergieanlagen auf See lieferten 23 Milliarden Kilowattstunden (2022: 25,2 Milliarden Kilowattstunden), aus Wasserkraftanlagen stammten 18,7 Milliarden Kilowattstunden (2022: 17,4 Milliarden Kilowattstunden). www.zsw-bw.de; www.bdew.de



Foto: panthermedia.net/Frank Peters



Vorstandsvorsitzender Steffen Hild (l.) hat für den VdF HLK vier Nachwuchswissenschaftler für ihre akademischen Arbeiten ausgezeichnet.

Foto: IGTE

Abschlussarbeiten gewürdigt

Der Verein der Förderer der Forschung im Bereich Heizung-Lüftung-Klimatechnik (VdF HLK) hat den Heinz-Bach-Preis für erfolgreiche Forschungs- und Abschlussarbeiten im Jahr 2022 vergeben. Den ersten Preis erhielt Mashhur Ghani für seine Forschungsarbeit zum Thema „Erstellung eines dynamischen Simulationsmodells zur Untersuchung des Einflusses von Nutzerverhalten auf das Raumklima in Wohngebäuden“. Weitere Preise gingen an Master- und Bachelorarbeiten aus den Bereichen wärmegekoppelte Wasserstoff-Konzepte, Wärmedämmkonzepte für Warmwasserspeicher und smarte Tools im Gebäudemanagement. Der Preis wird vom VdF HLK Stuttgart gemeinsam mit dem ITGA Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit dem Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) der Universität Stuttgart ausgelobt. www.igte.uni-stuttgart.de

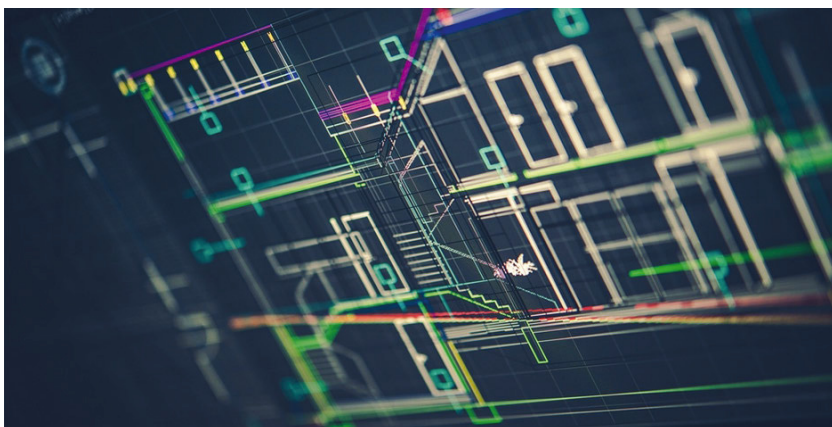


Foto: panthermedia.net/welcomia

KI verbessert Organisation auf Baustellen

Mangelhafte Kommunikation, fehlende Informationen und eine schlechte Abstimmung verursachen auf deutschen Baustellen alljährlich einen Millionenschaden. Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) könnte dies ändern. Erste Ansätze dazu liefert ein Forschungsprojekt am Karlsruher Institut für Technologie (KIT): Mehr als 40 Projektpartner aus Wissenschaft und Wirtschaft haben sich an dem vom BMWK über 3,5 Jahre mit rund neun Millionen Euro geförderten Projekt „SDaC – Smart Design and Construction“ beteiligt. Bei einem Abschlussevent stellten die Forschenden die Ergebnisse vor.

„Wir haben eine Plattform entwickelt, auf der sich unter anderem Dokumente aus Projekten, beispielsweise PDF-Lieferscheine, digitalisieren und strukturieren lassen“, berichtet der wissenschaftliche Leiter von SDaC, Professor Shervin Haghsheno vom Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB) des KIT. Außerdem sind in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern neun KI-Demonstratoren entstanden, die Organisationen der Bauwirtschaft bei der Bauplanung und -realisierung unterstützen sollen. „Dabei haben wir vor allem Wert auf Transparenz und Erklärbarkeit gelegt“, so Haghsheno. Die Demonstratoren sind auf der Plattform einsehbar und können getestet werden. Das TMB betreibt die aufgebaute Plattform und die entwickelten Demonstratoren über den Projektabschluss hinaus in einem Netzwerk weiter.

Zusätzlich haben die Projektbeteiligten eine Übersicht von 230 Softwareunternehmen erstellt, die sich mit KI für die Bauwirtschaft befassen. Auf einer Seite können KI-Expertinnen und Experten ihre Leistungen für Bau- oder Bausoftwareunternehmen anbieten. Schulungen und Netzwerkveranstaltungen werden ebenfalls organisiert. Auf der Basis des Demonstrators „Lieferscheine digitalisieren“ haben die Forschenden zudem eine App realisiert, die hilft der Papierflut auf Baustellen Einhalt zu gebieten. Sie soll zeitnah in den App-Stores bereitstehen.

Bei der Bauwirtschaft handele es sich um ein stark fragmentiertes Ökosystem mit vielen Schnittstellen, so Projektleiterin Svenja Lauble vom TMB. „Daher ist eine verlustfreie Informationsweitergabe zwischen Organisationen und Softwaresystemen häufig nur schwer möglich. Mit SDaC haben wir die Mehrwerte von KI gezeigt, vor allem für kleine und mittlere Unternehmen. Gerade diese haben mit vielen Datenformaten zu tun, die häufig nicht digital und strukturiert vorliegen.“

Einzelne in SDaC entstandene Demonstratoren sollen in einem Folgeprojekt weiterentwickelt werden. „NaiS – Nachhaltige intelligente Sanierungsmaßnahmen“ verknüpft Daten aus verschiedenen Quellen mithilfe von KI-Technologien auf einer digitalen Plattform, um Sanierungsmaßnahmen objektiv zu bewerten und zu optimieren. Darüber hinaus ist aus dem Projekt das Dortmunder Start-up „Valoon“ entstanden. Die Neugründung bereitet Informationen aus Kommunikationskanälen wie WhatsApp intelligent auf und strukturiert sie. www.kit.edu

Forum Baulogistik

Um das Themenfeld Baulogistik noch stärker in den Fokus zu rücken, findet am 15. März das erste Baulogistik-Forum in Biberach statt. Unter dem Motto „Schlau am Bau“ dient die Fachveranstaltung in der Akademie der Hochschule als Austausch-, Ideen- und Arbeitsplattform.

Themen wie Rechtsfragen der Baulogistik, Nachhaltigkeits-Zertifizierung im Bauprozess oder die Ökobilanz einer Baustelle sollen ebenso behandelt werden, wie die Entwicklung und Qualitätssicherung bei der Herstellung von Duktulpfählen.

www.weiterbildung-biberach.de

DGWZ Seminare

Die Deutsche Gesellschaft für wirtschaftliche Zusammenarbeit (DGWZ) hat ihr Seminarprogramm für 2024 veröffentlicht. Es umfasst mehr als 380 Veranstaltungen rund um Planung, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung von Technischer Gebäudeausrüstung (TGA), Betriebssicherheit, Arbeitsschutz und Brandschutz. Im Mittelpunkt steht die fachgerechte und gesetzeskonforme Planung, Prüfung und Instandhaltung in den verschiedenen Gewerken. Die Schulungen werden als Präsenzveranstaltung und Online-Seminar angeboten.

www.dgwz.de/seminarprogramm-2024



Foto: aerogondo – stock.adobe.com

Badportal für Bauträger

Die Gestaltung und Ausstattung von Bädern ist ein wichtiger Punkt, wenn Bauträger ihre Objekte bei angehenden Bauherren erfolgreich präsentieren wollen. Geberit unterstützt dabei jetzt mit einem Service-Portal, das für die Badplanung relevante Informationen liefert. Das Angebot umfasst unter anderem ein nach Bauherrentypen standardisiertes Produktportfolio, Bildmaterial für Exposés und einen Bemusterungsservice.

www.geberit.de/bautraeger



Intelligente Messung: Metiundo stellt Energie- und Wasserverbrauch in Echtzeit bereit. Foto: Dan LeFebvre von Unsplash

Viega investiert in Start-up

Trinkwasserexperte Viega hat sich eine Beteiligung an dem Berliner Start-up Metiundo gesichert. Das im Jahr 2021 gegründete Unternehmen ist auf die Bereitstellung von Energie- und Wasserverbrauchsdaten in Echtzeit spezialisiert. Zielgruppe der Neugründung sind Immobilieneigentümer, die auf Basis der Daten ihr Energiemanagement optimieren möchten. Neben den Attendornern ist auch die EnBW-Tochter Enpulse an den Berlinern beteiligt. www.viega.com



Foto: panthermedia.net/jovannig

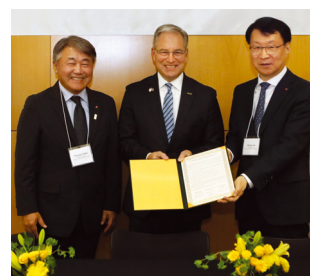
Fachkräftemangel: Fast jeder zweite Betrieb betroffen

Für das Gelingen der Wärmewende werden Fachkräfte dringend benötigt. Doch aktuelle Zahlen machen wenig Hoffnung auf eine Verbesserung am Arbeitsmarkt – im Gegenteil: Im Rahmen ihrer „Jahresanalyse Deutschland 2023/2024“ haben die Meinungsforschenden von Bauinfoconsult 600 Architektur- und Planungsbüros, Bauunternehmen, Dach-, Maler-, Trockenbau- und SHK-Handwerksbetriebe telefonisch zu den Trends und Entwicklungen am Bau befragt – und unter anderem auch zum Thema Personal. 45 Prozent der befragten Betriebe gaben dabei an von Fachkräftemangel betroffen zu sein. Bei der Mehrheit hat dies direkte negative Folgen auf die Umsatzentwicklung.

Nach den Ergebnissen der Düsseldorfer fehlt es insbesondere an Bewerbern mit abgeschlossener Gesellenausbildung. Das Gewerk, für das am häufigsten ein Mangel an Fachkräften benannt wurde, ist das Maurerhandwerk – gefolgt von SHK-Installations- und Heizungsbau-Fachkräften sowie Fachkräften mit Trockenbau-Schwerpunkt. Durch die knappe Personaldecke rechnen drei Viertel der betroffenen Betriebe bis Ende des Jahres mit geringeren Umsätzen. Die Problematik am Fachkräftemangel: Wenn grundsätzlich zu wenige Fachkräfte verfügbar sind, wird der Wettbewerb der Unternehmen um qualifizierte Mitarbeitende umso größer – oder man behelfe sich „irgendwie anders“, so Bauinfoconsult. Ein solches „Irgendwie“ prägte auch die meisten Strategiemassnahmen der befragten Unternehmen: Auf die Frage nach den wichtigsten Strategien bliebe vielen Unternehmen nichts anderes übrig, als die Aufträge mit dem vorhandenen Mitarbeiterstamm zu erledigen. Die Folge: Die Ausführung von Projekten dauert länger, im Extremfall können Aufträge gar nicht erst angenommen werden. www.bauinfoconsult.de

Forschungslabor in Alaska

Um seine Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich Heizung, Lüftung und Klimatisierung weiter zu optimieren, errichtet LG Electronics ein Labor in Alaska. Dabei kooperiert der Konzern mit dem College of Engineering der University of Alaska Anchorage sowie dem HLK Lab der University of Alaska Fairbanks. Die Einrichtung soll die Möglichkeit bieten Wärmepumpen unter sehr kalten Bedingungen entwickeln und validieren zu können, damit sie selbst unter widrigen Voraussetzungen zuverlässig funktionieren. www.lge.com



Kooperation gestartet: LG baut ein Forschungslabor für Wärmepumpen in Alaska. Foto: LG Electronics

Stiebel übernimmt Continental-Standort

Nun ist es vertraglich fixiert: Stiebel Eltron übernimmt Teile der Produktions- und Funktionsflächen des bisherigen Continental-Standortes im niedersächsischen Gifhorn, um dort seine Wärmepumpenproduktion auszubauen. Zukünftig sollen hier Innenmodule hergestellt werden. Bis Ende 2027 plant Stiebel sukzessive Teile der bestehenden Infrastruktur des Automobilzulieferers zu übernehmen, auch möglichst viele Mitarbeitende sollen weiter beschäftigt werden. Mit den vorhandenen Kapazitäten könne am Standort Gifhorn deutlich schneller eine Produktion aufgebaut werden, als wenn an anderer Stelle neu gebaut werden müsse, so das Unternehmen. www.stiebel-eltron.com



In einem Verbundprojekt werden neue Kriterien für die Wiederverwendung von Solarmodulen erarbeitet (im Bild: Das Firmengebäude des Umweltdienstleisters buhck Gruppe mit gebrauchten PV-Modulen). Foto: buhck Gruppe

Neue Chance für PV-Module

Um aus der Kraft der Sonne die größtmögliche Menge an Strom zu generieren, arbeiten Wissenschaft und Wirtschaft beständig daran die Effizienz von Photovoltaik-Modulen zu verbessern. Was den Kraftwerksbetreiber freut, hat unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit aber auch eine negative Seite: Beim sogenannten „Repowering“ werden alte Module abgebaut und durch neue, leistungsstärkere ersetzt, obwohl sie noch betriebsfähig wären. Gemeinsam mit den Unternehmenspartnern 2nd Life Solar, HaWe Engineering und Elmed Dr. Ing. Mense forschen Mitarbeitende des Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) deshalb im Rahmen des Projekts „RENEW“ dazu, wie ausgediente Module besser geprüft, repariert und einer neuen Nutzung zugeführt werden können.

Nach Untersuchungen des ZSW-Solarlabors Solab sind bei einem Großteil der feldgealterten Module auch nach mehr als 20 Jahren Betriebszeit kaum Leistungsdegradationen messbar; nach Erfahrungen des Projektpartners 2nd Life Solar (Hamburg) sind zudem rund 70 Prozent der aussortierten Module für einen weiteren Einsatz direkt wieder betriebsfähig. Der norddeutsche Projektpartner ist auf die Qualitätsprüfung und den Verkauf von gebrauchten PV-Modulen spezialisiert. Um dem steigenden Bedarf nachzukommen, will das Unternehmen sein Konzept weiter ausbauen. Dafür sollen belastbare Prozessstandards für mobile und stationäre Qualitätstests entwickelt werden. Durch die Skalierung der Prozesse erhoffen sich die Projektpartner eine Reduzierung von ungeprüfem Elektroschrott, der ins Ausland transportiert wird. www.zsw-bw.de

PERSONALIA

Professor Dr.-Ing. Dr. h. c. **Fritz Steimle** ist tot. Der langjährige Vorsitzende des Fachverbandes Gebäude-Klima verstarb im Dezember im Alter von 85 Jahren. Neben seiner Arbeit an der Universität Essen bekleidete Professor Steimle auf nationaler und internationaler Ebene zahlreiche Ehrenämter, so war er Vorsitzender des Internationalen Kältelinstitutes IIF, Mitglied im wissenschaftlichen Beirat des Bundeswirtschaftsministeriums, Vorsitzender des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins DKV und Vorsitzender des Fachnormenausschusses Kältetechnik.

Nach fast neunjähriger Tätigkeit als Geschäftsführer Vertrieb, Marketing und Service der Vailant Group hat Dr. **Andree Groos** die Remscheider zum Jahresende verlassen. Zu seinem Nachfolger wurde Dr. **Andreas Meier**, bisher President Region Europe der BSH Hausgeräte Gruppe, bestellt.

Nach sieben Jahren als CEO hat **Bertrand Schmitt** die BDR Thermo Group zum Jahresende verlassen. Sein Nachfolger **Tjarko Bouman** war bis dato CEO der NTS Group, zuvor Managing Director bei Vanderlande Ind..

Heinz Schilling, Gründer und langjähriger Geschäftsführer der SEW GmbH Kempen, ist am 29. Dezember im Alter von 84 Jahren verstorben. Erst im vergangenen Jahr hatte er die strategische Geschäftsführung endgültig übergeben und sich in den Ruhestand verabschiedet.

Dipl.-Ing. **Peggy Große**, Technische Regierungsdirektorin im Bundesministerium der Verteidigung, ist seit dem 1. Januar neue Vorsitzende des AMEV. Sie folgt turnusmäßig auf Dipl.-Ing. **Walter Arnold**.

IMPRESSUM

HLH

ISSN 1436-5103, 75. Jahrgang 2024

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

Dipl.-Phys.-Ing. Udo Schnell

Redaktionsleitung VDI Fachmedien

Telefon: +49 211 6103-104

uschnell@vdi-fachmedien.de

Ines Henning, Redaktionsassistentin

Telefon: +49 211 6103-311

Fax: +49 211 6103-148

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

Verlag

VDI Fachmedien GmbH & 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

Petra Seelmann-Maedchen

Telefon: +49 211 6188-191

pmaedchen@vdi-nachrichten.com

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

Es gilt der Anzeigentarif Nr. 64 vom 1. Januar 2024.

Vertrieb und Leserservice

Leserservice VDI Fachmedien

65341 Eltville

Telefon: +49 6123 9238-202

Fax: +49 6123 9238-244

vdi-fachmedien@vusevice.de

Bezugspreise

9 Ausgaben jährlich

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

Jahresabonnement: € 255,30 (E-Paper € 219,20)

VDI-Mitglieder: € 229,77 (E-Paper € 197,28)

nur für persönliche Mitglieder

Studenten: € 94,70 (E-Paper € 81,40)

gegen Studienbescheinigung

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

zzgl. Versandkosten (Inland € 15,95,

Ausland € 33,21, Luftpost auf Anfrage),

Einzelausgaben: € 29,40, Inland inkl. MwSt.,

Ausland exkl. MwSt. zzgl. Versandkosten.

Die Mindestlaufzeit beträgt 12 Monate.

Im Anschluss an die Mindestlaufzeit ist das

Abonnement jeweils zum Monatsende

kündbar.

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: hlh.de

Auflage IVW-geprüft



Klemens Waterkotte jun. ist der neue Verkaufsleiter bei Wamsler bioenergy.

Foto: Wamsler

Wamsler verkauft Wärmepumpen

Der traditionsreiche Feuerungsspezialist Wamsler (Kaminöfen und Herde) hat sein Portfolio erweitert: Über das Tochterunternehmen Wamsler bioenergy bieten die Ismaninger nun auch Wärmepumpen und Warmwasserbereiter an. Die Geräte werden in Kooperation mit einem führenden Technologiekonzern für Verbrauchselektronik und Klimatisierung hergestellt. Das Sortiment umfasst Monoblock- (8 kW, 16 kW oder bis zu 30 kW) sowie Splitgeräte (6 kW bis 14 kW). Wamsler bioenergy möchte einen zweistufigen Vertrieb aufbauen und sucht dafür aktuell Stützpunktunternehmen in Deutschland und Österreich. Die Verantwortung für Vertrieb und Technik hat ein bekannter Name übernommen: Klemens Waterkotte jun., Sohn des Wärmepumpenpioniers Klemens Waterkotte.

www.wamsler-bioenergy.de

Hydraulikdatenbank ergänzt

Planenden, die ausführungsfähige Planungsbeispiele von Anlagenhydrauliken suchen, bietet die Online-Datenbank von Buderus nun einen noch umfangreicheren Service. Das Portal umfasst rund 800 Hydraulikbeispiele zum Download und ist in Hinblick auf Suchfunktion und Systemoberfläche umfassend überarbeitet worden. Die Hydrauliken beinhalten zusätzlich zur Systemhydraulik einen Systemschaltplan sowie weiterführende Beschreibungen zu empfohlenen Einstellparametern. www.buderus.de/hydraulikdatenbank



Auf der diesjährigen GET Nord soll es erstmals ein Fachforum Elektroinstallationen geben.
Foto: Hamburg Messe und Congress/Romanus Fuhrmann

GET Nord und HEA kooperieren

Nach der SHK Essen, jetzt „SHK+E“, will auch die GET Nord einen stärkeren Fokus auf die elektrischen Anlagen in Gebäuden legen: Im Rahmen einer Kooperation mit „Elektro+“, einer von der HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V., gemeinsam mit führenden Herstellern und Verbänden der Elektrobranche gegründeten Initiative, wird es in Hamburg im November erstmals ein Fachforum für energieeffiziente und sichere Elektroinstallationen geben. Das neue Format soll Besuchende aus TGA-Planung, Elektro-Handwerk, Industrie, Großhandel, Architektur und Wohnungswirtschaft adressieren. „Für eine erfolgreiche Energiewende wird es immer wichtiger, bei der Haustechnik auf ressourcenschonende und energieeffiziente Lösungen zu setzen. Photovoltaikanlagen, Stromspeicher, Wärmepumpen und Elektromobilität sowie ihre smarte Vernetzung sind dabei wichtige Bausteine“, so Dr. Jan Witt, Geschäftsführer der HEA-Fachgemeinschaft. Das für eine vorausschauende Planung von elektrischen Anlagen nötige Know-how wolle man durch die Kooperation stärken. Die Fachmesse GET Nord findet alle zwei Jahre in der Elbmetropole statt, in diesem Jahr vom 21. bis 23. November. www.get-nord.de

Effizienzsteigerung bei BHKWs

In einem Forschungsprojekt mit Partnern aus der Industrie hat die Forschungseinrichtung OWI Science for Fuels den elektrischen Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerks mithilfe eines thermochemischen Rekuperators erhöhen und damit die Wirtschaftlichkeit der Anlage um rund 13 Prozent steigern können. Der von OWI entwickelte und in den Motor integrierte Heat-Power-Converter erweitert den Betriebsbereich des BHKWs, da die Stromkennzahl über die variable Rekuperation der Abgaswärme in einem größeren Bereich eingestellt werden kann. Dies ermöglichte einen wirtschaftlicheren Betrieb, die zusätzliche Investition sei bereits nach drei Jahren rentabel, weil in erheblichem Maße Erdgas eingespart werden könne, so die Forschenden. www.owi-aachen.de



TI Expo Conference

AREAL BÖHLER | DÜSSELDORF
20. + 21. März 2024

SAVE THE DATE

www.ti-expo.de

Themen

- Energieeffizienz & Kostenreduktion
- Korrosionsschutz (CUI)
- Prozess- & Anlagensicherheit
- Instandhaltung & Energiemanagement

Das TOP-Event zur technischen
Isolierung für Industrie,
Gebäude- & Haustechnik

Starke Partner



AFAG
WIE MACHEN MESSEN
AFAG Messen und Ausstellungen GmbH
Veranstalter nationaler & internationaler
Fach- & Publikums-messen
RM Rudolf Müller
Verlagsgesellschaft
Rudolf Müller GmbH & Co. KG
Herausgeberin des Fachmagazins
TI Technische Isolierung

EU-Richtlinie zu Luftqualität

Krank durch Feinstaub: Schadensersatzanspruch im Gespräch

In Kürze soll ein Trilog der EU-Institutionen zu neuen Grenzwerten in der Lufthygiene starten. Dabei könnten auch Vorgaben für die Schadstoffbelastung in Innenräumen zum Thema werden – mit weitreichenden Haftungsfolgen für Hersteller und Betreiber.

Ende 2022 hatte die EU-Kommission ihren Vorschlag für neue Grenzwerte zur Verbesserung der Luftqualität veröffentlicht und den Mitgliedsländern Zeit zur Bewertung eingeräumt. Die Novelle sieht teilweise massive Absenkungen der aktuell gültigen Vorgaben vor. So liegt der empfohlene Grenzwert für die Belastung mit Stickstoffdioxid (NO_2) bei nur noch 20 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (bisher 40 Mikrogramm). Auch für Feinstaub PM 2.5 (enthält zu 50 Prozent Partikel mit einem Durchmesser um $2,5 \mu\text{m}$) soll das Limit stark abgesenkt werden: auf zehn Mikrogramm pro Kubikmeter Luft statt bisher 25 Mikrogramm. Feinstaub PM 10 begrenzt die Vorlage auf maximal 20 statt bisher 40 Mikrogramm und Schwefeldioxid (SO_2) auf 50 statt bisher 125 Mikrogramm. Die Frachten nähern sich damit den noch niedrigeren Grenzwerten der Richtlinie der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die Annahme des Kommissions-Entwurfs hätte große Auswirkungen auf Maßnahmen zur Luftreinhaltung – wie etwa innerstädtische Fahrverbote (In Deutschland übersteigen derzeit an knapp der Hälfte der Messstationen die NO_2 -Werte des Kommissions-Vorschlags).



Die EU will zu schärferen Grenzwerten für Emissionen verpflichten. Foto: Genath

Mitgliedsstaaten ab 2030 in der Pflicht

Unter der Bezeichnung Trilog laufen bei der EU informelle Verhandlungstreffen zwischen dem Europäischen Parlament, dem Rat der Europäischen Union und der Europäischen Kommission mit dem Ziel, eine Übereinstimmung zwischen den beiden Co-Gesetzgebern EU-Parlament und Rat zu erreichen. Die Europäische Kom-

mission hat dabei eine vermittelnde Rolle. Ohne diese Einigung kommt es nicht zu einer neuen Richtlinie. Sollten die Grenzwerte in der vorgeschlagenen Form in Kraft treten, müssen die Mitgliedsstaaten sie bis spätestens 2030 einhalten. Dieser Schritt ist Teil des „Zero Pollution Action Plan“ [II], den die EU als Teil ihres „Green Deals“ veröffentlicht hat.

Das EU-Parlament hat die Kommissionsempfehlungen im September 2023 an-

genommen. Nach der Abstimmung sagte der Berichterstatter Javi López: „Die Bekämpfung der Luftverschmutzung in Europa erfordert sofortiges Handeln. Diese in Zeitlupe ablaufende Pandemie fordert einen verheerenden Tribut von unserer Gesellschaft und führt zu vorzeitigen Todesfällen und einer Vielzahl von Herz-Kreislauf- und Lungenerkrankungen. Wir müssen den wissenschaftlichen Erkenntnissen folgen, unsere Luftqualitätsnormen an die WHO-Leitlinien anpassen und einige der Bestimmungen dieser Richtlinie verstärken. Wir müssen ehrgeizig sein, um das Wohlergehen unserer Bürger zu schützen und eine sauberere und gesündere Umwelt zu schaffen.“ Die Zustimmung des EU-Rats steht noch aus, die soll der Trilog herbeiführen.

417 000 vorzeitige Todesfälle pro Jahr

Luftverschmutzung zählt global zu den großen Gefahren für die menschliche Gesundheit. Dies ist nicht nur dann der Fall, wenn sich an der Oberfläche von Stäuben gefährliche Stoffe wie Schwermetalle oder Krebs erzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) anlagern. Auch die Staubpartikel selbst stellen ein Gesundheitsrisiko dar. Je kleiner die Teilchen sind, desto tiefer dringen sie in die Lunge ein, bis in die Lungenbläschen. Die Europäische Umweltagentur (EEA) spricht aufgrund einer Überlast von Feinstäuben und Stickstoffdioxid von 417 000 vorzeitigen Todesfällen pro Jahr in 41 europäischen Staaten. Ein Todesfall gilt als vorzeitig, wenn er vor der statistischen Lebenserwartung der Person eintritt. Etwa acht Prozent der städtischen Bevölkerung in der EU sind laut EEA-Konzentrationen von Feinstaub PM 2.5 ausgesetzt, die die jetzigen Grenzwerte der EU überschreiten. Die noch schärferen WHO-Richtwerte hält die Atemluft bei 77 Prozent der Bürger nicht ein. Die WHO betont: Wenn die Luftqualität ihren Richtwerten entsprechen würde, könnten etwa 80 Prozent der auf PM 2.5 zurückzuführenden vorzeitigen Todesfälle vermieden werden.

Emissionen in Innenräumen

(Noch) nicht Thema einer EU-Richtlinie sind Maßnahmen für das Innenraumklima. Das bemängelte in der Anhörung des Umweltausschusses des Deutschen



Gefahr in Innenräumen: Feinstaub in der Wohnung durch Kaminöfen. Foto: Genath

Bundestages unlängst Christoph Hüglin vom Labor für Luftfremdstoffe und Umwelttechnik der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in Dübendorf/Schweiz. Für eine Einhaltung der vorgeschlagenen Grenzwerte müssten die Emissionen in allen relevanten Sektoren reduziert werden, also auch „bei privaten Haushalten. Dies bedingt zum Beispiel den Verzicht auf kleine und ineffiziente Feststofffeuerungen in Haushalten.“ Des Weiteren trage die Elektrifizierung nur dann zur allgemeinen Verbesserung der Luftqualität bei, wenn der entsprechende Strom emissionsfrei produziert werde. Das heißt, Feinstaub strömt indirekt aus Wärmepumpen, die den Verdichter mit fossilem Strom antreiben.

Nach einer früheren Messreihe des Umweltbundesamtes emittieren Hausheizungen je nach Brennstoff folgende Volumina: Erdgaskessel: 6 mg/kWh, Luftwärmepumpe: 20 mg/kWh, Heizölkessel: 22 mg/kWh, Fernwärme: 59 mg/kWh, Kessel für Pellets: 71 mg/kWh, Hackschnittelkessel: 85 mg/kWh, Kaminofen für Pellets (ohne Warmwasserbereitung): 107 mg/kWh, Scheitholzessel: 123 mg/kWh und Scheitholzkaminöfen (ohne Warmwasserbereitung): 382 mg/kWh.

Die gesundheitlichen Risiken benannte Professor Barbara Hoffmann, Leiterin der Arbeitsgruppe Umweltepidemiologie am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf: „Luftverschmutzung ist nach wie vor der größte umweltbezogene Risikofaktor für Krankheiten und vorzeitige

Sterbefälle in Europa. Alle profitieren gesundheitlich von einer besseren Luftqualität, besonders Kinder, Schwangere, Menschen mit Herz-Kreislauf- oder Lungenerkrankungen und ältere Menschen. Eingetmeter Feinstaub führt nicht nur zu schweren Herz- und Lungenerkrankungen, löst Krebs aus und schädigt – ähnlich wie Tabakrauch – ungeborene Kinder, sondern kann bis in das Gehirn vordringen und Demenz auslösen beziehungsweise die geistige Entwicklung von Kindern bremsen.“

Schadenersatz im Gespräch

Spannend in diesem Zusammenhang: Eine Neuerung des EU-Richtlinienentwurfs sieht vor, dass ein wirksamer Anspruch auf Schadenersatz für Menschen geschaffen werden soll, wenn die Gesundheit ganz oder teilweise aufgrund eines Verstoßes gegen Vorschriften zu Grenzwerten oder Luftqualitätsplänen litt oder leidet. Diese geplante Passage schließt die Möglichkeit von Sammelklagen ein. Da es sich um einen neu eingeführten Artikel in dem Entwurf handelt, kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden, ob dieser von allen Mitgliedsstaaten Zuspruch findet und wie eine nationale Umsetzung aussehen könnte: Müssen die Hersteller von Feuerungen zukünftig auf das Risiko einer Grenzwertüberschreitung hinweisen oder gar Betreiber von Kaminöfen ihre eingeladenen Gäste auf die Erkrankungsgefahr aufmerksam machen?

Bernd Genath

Auswirkungen für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche

Die novellierte F-Gase-Verordnung

Die europäische F-Gase-Verordnung regelt den Umgang mit fluorierten Treibhausgasen, die meist in Form von Kältemitteln in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik zum Einsatz kommen. Die derzeitige, seit 2015 gültige Verordnung befindet sich momentan in einem Novellierungsprozess, der nahezu abgeschlossen ist. Auch wenn noch einige wenige Details zu klären sind, kann die Branche mit dem vorliegenden Verordnungstext jetzt verbindlich für die Zukunft planen.

TEXT: Christoph Brauneis

Die Inhalte der F-Gase-Verordnung sollten allen TGA-Fachplanern vertraut sein. Kernpunkte darin sind eine schrittweise Reduzierung der Gesamtmenge an fluorierten Treibhausgasen (F-Gase), die in der EU in den Markt gebracht werden dürfen (sogenannter Phase-down), und Verwendungsverbote für bestimmte Anwendungen in Abhängigkeit vom Treibhauspotenzial (GWP-Wert) der Kältemittel. In der bisherigen Verordnung wurde schon festgelegt, dass die enthaltenen Maßnahmen und deren Umsetzung einer Überprüfung unterzogen werden sollen. Dies ist mittlerweile erfolgt. Im April 2022 hat die EU-Kommission einen Entwurf für die Novellierung der F-Gase-Verordnung vorgelegt, der anschließend im EU-Parlament und -Rat intensiv beraten wurde. Da es unterschiedliche Auffassungen über die Inhalte gab, wurde die F-Gase-Verordnung in einem Vermittlungsausschuss (sogenannter Trilog) behandelt. Seit dem 5. Oktober 2023 liegt nun der finale, zwischen Kommission, Rat und Parlament im Trilog abgestimmte Text vor. Die novellierte F-Gase-Verordnung muss nur noch einige bürokratische Hürden überwinden – an den Inhalten wird sich jedoch nichts mehr verändern.



Die F-Gase-Verordnung soll helfen die Verwendung von klimaschädlichen Kältemitteln in der Gebäudetechnik zu reduzieren. Foto: panthermedia.net/antprk (YAYMicro)

Mit einem Inkrafttreten der Verordnung ist im zweiten, eventuell auch erst im dritten Quartal 2024 zu rechnen.

Die Branche kann jedoch jetzt schon verbindlich für die kälte- und klimatische Zukunft planen und muss sich – wenn nicht schon längst geschehen – auf den stärkeren, in Abhängigkeit von der Anwendung sogar ausschließlichen Einsatz alternativer Kältemittel einstellen.

Kontinuierlicher Rückgang der F-Gas-Mengen

Die Gesamtmenge an HFKW-Kältemitteln, die in der EU jährlich neu auf den Markt gebracht werden darf, wird im Phase-down-Szenario beschrieben. Die erlaubte Quote wird in „Tonnen CO₂-Äquivalent“ angegeben. Zum Verständnis: Ein Kilogramm CO₂ entspricht

bei dieser Betrachtung einem Kilogramm CO_2 -Äquivalent. Der GWP-Wert des häufig in Klimaanlage eingesetzten Kältemittels R410A zum Beispiel liegt bei 2088, das heißt es hat eine 2088 Mal höhere Treibhauswirksamkeit als CO_2 . Ein Kilogramm R410A entspricht demnach 2088 Kilogramm CO_2 -Äquivalent.

2015 durften knapp 180 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent in der EU in Verkehr gebracht werden. Bis 2023 wurde dieser Wert durch die F-Gase-Verordnung bereits auf etwa 68 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent reduziert; 2024 geht es weiter runter auf 45,5 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent. Die novellierte Verordnung verschärft nun den Phase-down. 2025 stehen noch rund 42,8 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent zur Verfügung. Der Anteil für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpenbranche reduziert sich jedoch noch einmal zusätzlich um acht bis zehn Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent, weil dann auch die Menge an F-Gasen, die in medizinischen Dosiersprays als Treibmittel verwendet werden (MDI), in

die Quote eingerechnet wird. 2025 halbiert sich also die Menge im Vergleich zu 2023, drei Jahre später ein weiteres Mal und so weiter. 2050 geht sie bis auf null zurück, wobei 2040 noch einmal überprüft werden soll, ob der Phase-down realistischweise so eingehalten werden kann.

Damit die Quote in den kommenden Jahren nicht vor Jahresende aufgebraucht ist, sollten bei Neuinstallationen und Umrüstungen alle Akteure nach Möglichkeit auf nicht-fluorierte Kältemittel wie Propan, Kohlendioxid oder Ammoniak beziehungsweise fluorierte Kältemittel mit einem möglichst niedrigen GWP-Wert setzen.

Verwendungsverbote für Neuanlagen

Neben der Reduzierung der Gesamtmenge an fluorierten Kältemitteln gibt es in der novellierten F-Gase-Verordnung auch verschärfte Vorgaben, welche Kältemittel bei Neuinstallationen in den Anlagen

noch verwendet werden dürfen (maximal erlaubte GWP-Werte siehe Kasten).

Bei den meisten Verböten gibt es Ausnahmeregelungen, wenn der Einsatz alternativer Kältemittel aufgrund ihrer Brennbarkeit beziehungsweise Toxizität aus Sicherheitsgründen („safety requirements“) nicht möglich ist. Die genaue Definition dieses Begriffs steht jedoch noch aus. Unklar ist vor allem, wer im konkreten Einzelfall zu entscheiden hat, dass aufgrund von Sicherheitsbedenken weiterhin F-Gase eingesetzt werden dürfen. Es könnte durchaus so kommen, dass hier die Expertise von Planern und Anlagenbauern ausschlaggebend sein könnte.

Spätestens 2030 muss die EU-Kommission einen Bericht über die Auswirkungen der F-Gase-Verordnung vorlegen und darin bewerten, ob kostengünstige, technisch machbare, energieeffiziente, ausreichend verfügbare und zuverlässige Alternativen zu Anlagen mit F-Gasen existieren, die die genannten Verböte möglich machen. □



HOSCH
GEBÄUDEAUTOMATION

light+building
03. - 08.03.2024
Frankfurt am Main
Besuchen Sie uns in Halle 9.0, Stand D20 messe frankfurt

**Auf die inneren Werte kommt es an.
Wir machen Gebäude smart und energieeffizient.**

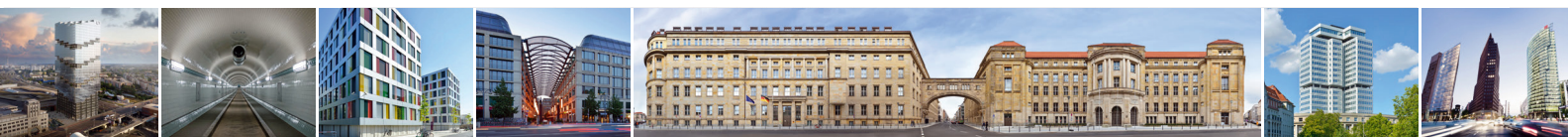
Wann ist ein Gebäude ein „Smart Building“? Wenn alle Systeme unabhängig vom Hersteller miteinander kommunizieren und die offene System-Architektur jederzeit für Anpassungen und Entwicklungen flexibel bleibt. Nur dann können nachhaltige Energie und Kosten eingespart werden.

Als fabrikatsunabhängiger Systemintegrator ist HOSCH Gebäudeautomation einer der führenden Spezialisten für die intelligente Vernetzung sämtlicher Anlagen und

Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung. Von der Projektierung, Planung und Systemintegration bis hin zur Inbetriebnahme und Wartung – in allen Phasen haben wir Kosten und Nutzen für unsere Kunden im Fokus.

IDEEN FÜR INTELLIGENTE GEBÄUDE

www.hosch-ga.de/referenzen



Verwendungsverbote für Bestandsanlagen

Auch für Service und Wartung von Bestandsanlagen finden sich in der novellierten Verordnung einige Vorgaben. Eine beruhigende Nachricht vorweg: Das Inverkehrbringen von Teilen, die für die Reparatur und Wartung bestehender Anlagen erforderlich sind, ist dauerhaft zulässig, sofern die Reparatur nicht zu einer Erhöhung des F-Gas-Mengen oder des GWP-Werts führt. Das las sich im ersten Entwurf des Umweltausschusses im EU-Parlament (ENVI-Ausschuss) noch anders; diese Beschränkungen wurden aber zum Glück im Trilog wieder aus dem Verordnungstext entfernt.

Die weitere Verwendung der „Hardware“ im Servicefall ist also gesichert, bei der „Software“ – dem Kältemittel – sieht das etwas anders aus. Bei Kälteanlagen darf hierfür ab 2025 kein Kältemittel mehr mit einem GWP über 2 500 als Frischware verwendet werden, ab 2032 gilt für Frischware GWP 750 als maximal erlaubte Obergrenze. Recyceltes und wiederaufbereitetes Kältemittel ist hiervon ausgenommen – mit einer Einschränkung: Mit einem GWP über 2 500 darf es für Servicezwecke nur noch bis 2030 eingesetzt werden. Auch hier konnte sich der ENVI-Ausschuss im EU-Parlament glücklicherweise mit seiner Forderung nicht

durchsetzen. Ursprünglich sollte bei Kälteanlagen bereits 2024 nur noch Kältemittel mit einem GWP-Wert von 150 für Servicezwecke erlaubt sein.

Bei Klimaanlage und Wärmepumpen ist der Einsatz von Kältemitteln mit einem GWP über 2 500 ab 2026 als Frischware verboten. Recyceltes und wiederaufbereitetes Kältemittel mit einem GWP über 2 500 darf hierbei noch bis 2032 eingesetzt werden. Bei den üblicherweise eingesetzten Kältemitteln in Klima- und Wärmepumpenanlagen sollte das aber kaum ein Problem darstellen, da praktisch keine Kältemittel mit einem GWP über 2 500 verwendet werden.

Sollte es zu einem Mangel an recyceltem/wiederaufbereitetem Kältemittel kommen, kann die Kommission auf Antrag eines Mitgliedsstaates für die Service-/Wartungsverbote eine Ausnahmeregelung für maximal vier Jahre erteilen. Ob und wie schnell das im Bedarfsfall umsetzbar ist, steht auf einem anderen Blatt. Es wird jedenfalls deutlich, dass alle in der Branche künftig noch mehr als heute größtmöglichen Wert darauf legen müssen, Kältemittel bei Wartungsarbeiten und Außerbetriebnahmen sauber und sortenrein zu sammeln und einer Wiederverwertung zuzuführen. Das schont übrigens auch die zur Verfügung stehende Gesamtmenge, weil wiederaufbereitetes Kältemittel bei der erlaubten Quote nicht eingerechnet wird.

Vorgaben für den Betrieb von Anlagen

Betreiber von Kälte- und Klimaanlage sind nach alter und neuer F-Gase-Verordnung verpflichtet, größte Sorgfalt walten zu lassen, was die Dichtheit der Anlagen betrifft. Leckagen müssen umgehend behoben werden, was nicht nur aus Gründen des Klimaschutzes erforderlich ist, sondern auch weil die Leistung und Energieeffizienz ansonsten sinken. Wie bisher auch muss nach einer erfolgten Reparatur innerhalb eines Monats überprüft werden, ob die Anlage auch tatsächlich dicht ist. Neu ist, dass die Erfolgskontrolle erst frühestens nach 24 Stunden erfolgen darf – es ist also eine zweite Anfahrt beim Kunden erforderlich.

Die Anforderungen und Intervalle (abhängig von den Kältemittelfüllmengen) für Dichtheitskontrollen bleiben bestehen, wie in der bisherigen F-Gase-Verordnung beschrieben. Neu ist jedoch, dass auch Anlagen mit Kältemitteln in Annex II (Teil 1) – das sind die HFO-Kältemittel wie zum Beispiel R1234yf oder R1234ze – künftig auf Dichtheit kontrolliert werden müssen, wenn sie mehr als ein Kilogramm Füllmenge enthalten. Es gelten folgende Vorgaben für die Intervalle bei HFO-Kältemitteln:

- < 10 Kilogramm Füllmenge: jährlich beziehungsweise zweijährlich (mit Leckageerkennungssystem)
- 10 bis 100 Kilogramm Füllmenge: halbjährlich beziehungsweise jährlich (mit Leckageerkennungssystem)
- > 100 Kilogramm Füllmenge: vierteljährlich beziehungsweise halbjährlich (mit Leckageerkennungssystem) ■

KÄLTEANLAGEN

Haushaltskühl- und -tiefkühlgeräte
gewerblich genutzte Kühl- und Tiefkühlgeräte
andere in sich geschlossene Kälteanlagen
stationäre Kälteanlagen (Ausnahme Chiller)

keine F-Gase ab 2026

GWP 150 ab 2025

GWP 150 ab 2025

GWP 2 500 ab 2025

GWP 150 ab 2030

Chiller bis 12 kW

GWP 150 ab 2027

Chiller über 12 kW

keine F-Gase ab 2032

GWP 750 ab 2027

KLIMAAANLAGEN UND WÄRMEPUMPEN

in sich geschlossene Anlagen bis 12 kW

GWP 150 ab 2027

keine F-Gase ab 2032

in sich geschlossene Anlagen 12–50 kW

GWP 150 ab 2027

in sich geschlossene Anlagen über 50 kW

GWP 150 ab 2030

Splitgeräte mit < 3 kg Kältemittel-Füllmenge

GWP 750 ab 2025

Splitgeräte bis 12 kW (Luft-Wasser)

GWP 150 ab 2027

Splitgeräte bis 12 kW (Luft-Luft)

GWP 150 ab 2029

Splitgeräte bis 12 kW

keine F-Gase ab 2035

Splitgeräte über 12 kW

GWP 750 ab 2029

Splitgeräte über 12 kW

GWP 150 ab 2033

Christoph Brauneis



Beauftragter Politik und Medien, VDKF – Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe e.V., Bonn, und Landesinnung Kälte-Klima-Technik Hessen-Thüringen/Baden-Württemberg, Maintal
Foto: privat



Immer auf dem neuesten Stand: Mit VDI Fachmedien- Newsletter

Alle
Newsletter
kostenfrei

Sie wollen als Ingenieur oder Ingenieurin immer auf dem neuesten Stand sein, wenn es um zukunftsweisende und praxisnahe Fachinformationen geht. Oder wenn Sie für Ihre berufliche Tätigkeit Expert*innenwissen aus Wissenschaft und Forschung, aus Wirtschaft und Produktion benötigen. Dann nutzen Sie jetzt die kostenfreien VDI Fachmedien-Newsletter mit ihren brandaktuellen Online-Beiträgen der Zeitschriften:

Bauingenieur, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, HLH, Konstruktion, Technische Sicherheit, VDI energie + umwelt, VDI-Z, wt Werkstattstechnik online.



Technikwissen für Ingenieur*innen - jetzt auswählen und bestellen:

ingenieur.de/news

Kaufen oder Mieten?

Kaufmännische Varianten für die Anschaffung von Heizung und Klimageräten

Die Heizung oder die Klimaanlage ist 30 Jahre alt und hat langsam, aber sicher ausgedient. Doch Neuanschaffungen sind teuer, fünf- bis sechstellige Investitionen nicht selten. Daher lohnt ein Blick auf die Alternativen: In den vergangenen Jahren haben sich neben dem Kauf weitere Konzepte wie Miete, Leasing, Mietkauf oder Contracting am Markt etabliert. Welche Lösung zu welcher Situation passt und wo die Unterschiede liegen, erläutert der nachfolgende Artikel.

TEXT: Dipl.-Ing. (FH) Lars Keller

Hat man sich für ein technisches Konzept entschieden, so gilt es in zweiter Instanz die dafür beste kaufmännische Lösung zu finden. Eine äußerst attraktive Variante, um die eigene Kasse zu schonen, sind staatliche Fördermittel, insbesondere der KfW-Bankengruppe und des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (<https://www.kfw.de/kfw.de.html>; https://www.bafa.de/DE/Energie/energie_node.html). Hilfe und Orientierung gibt es unter anderem auch bei der KfW- Mittelstandsförderung (<https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Unternehmen/>). Die Förderlandschaft ist sehr breit und unterliegt einer schnellen Veränderung. Das Hinzuziehen von Förderprofis lohnt sich daher. Nur so ist es möglich, größere Angebotsumfänge auf einzelne Förderprogramme hin perfekt zuzuschneiden. In den meisten Fällen ist das EU-Beihilferecht (De minimis) zu beachten.

Wenn nach der technischen Definition auch der Förderzuschuss passt, holt der Investor seine Steuerberater ins Boot. Zwischen der Erfüllung von Förderbedingungen und steuerlichen Aspekten gibt es große Wechselwirkungen, die individuell



Foto: panthermedia.net/Ralf Kalytta

gelöst werden müssen. Erst dann ist die Gesamtmaßnahme rund, der Fahrplan klar. Vorab ist auch zu klären, ob der Kunde vorsteuerabzugsberechtigt ist.

Kaufen

Was man hat, das hat man. Beim Kauf der Anlage ist der Investor frei in all seinen Entscheidungen. Die Anlage geht in die Bilanz über und wird über mehrere Jahre

nach AfA abgeschrieben, die Vorsteuer wird sofort fällig. In Bezug auf Fördermittel die sicherste Methode, allerdings muss man die Anlage auf einen Schlag bezahlen, was die Liquidität schmälert. „In der Abschreibungstabelle für allgemein verwendbare Anlagegüter (kurz: AfA-Tabelle AV) ist die betriebsgewöhnliche Nutzungsdauer (§ 7 Absatz 1 Satz 2 Einkommensteuergesetz) für Anlagegüter ausgewiesen, die nicht branchenspezifisch genutzt werden. Die AfA-Tabelle AV gilt für alle Anlagegüter, die nach dem 31. Dezember 2000 angeschafft oder hergestellt werden.“ (Quelle: Bundesministerium der Finanzen, AfA-Tabellen, Internetartikel — https://www.bundesfinanzministerium.de/Web/DE/Themen/Steuern/Steuerverwaltung/Steuerrecht/Betriebsprüfung/AfA_Tabellen/afa_tabellen.html).

Mieten

Beim Mieten bleibt das Investitionsgut im Eigentum des Verleihers. Der Kunde bezahlt eine Mietgebühr, die in der Regel nach Tagen und/oder Monaten gestaffelt vertraglich vereinbart wird. Somit umgeht er die Investitionskosten und trägt zudem kein technisches Risiko – dieses liegt zu 100 Prozent beim Verleiher der Anlage.

Der Mieter muss sich um nichts mehr kümmern und muss auch keine finanziellen Rücklagen für die Technik bilden. Die Sicherstellung der Funktion liegt beim Vermieter (Ersatzanlage/Austausch im Schadensfall und so weiter). Falls Brennstoff notwendig, wird dieser vom Mieter oder vom Vermieter besorgt und separat verrechnet. Bei mobilen Anlagen werden neben den Fixkosten für die Miete auch einmalige Gebühren fällig, wie An- und Abfahrt, Auf- und Abbau der Anlage sowie für die hydraulischen und elektrischen Anschlüsse. Bei längeren Laufzeiten werden zusätzlich Wartung- und Instandhaltungskosten vertraglich vereinbart. Werden Fördermittel beansprucht, so ist explizit zu prüfen, ob Mieten nicht förderschädlich ist. Übliche Mietzeiträume betragen wenige Tage bis hin zu mehreren Monaten.

Mietkauf

Beim Mietkauf ist der Investor/Anlagenbetreiber von Anfang an auch der wirtschaftliche Eigentümer der Anlage. Das Investitionsobjekt wird in seiner Bilanz aktiviert. Ähnlich eines Ratenkaufs oder eines Ratenkredits, ist Mietkauf eine Finanzierungsmethode, die Liquiditätsspielräume schafft. Der Anlagenbetreiber mietet die Anlage, doch mit der letzten Rate geht das juristische Eigentum an den Investor/Anlagenbetreiber über, gegebenenfalls mit einer Schlusszahlung/Restwert nach AfA (Abschreibungstabelle für allgemein verwendbare Anlagegüter). Zudem ist der komplette Vorsteuerbetrag zum Vertragsbeginn fällig – im Gegensatz zum Leasing. Die Vorsteuer kann in voller Höhe bei der nächsten Umsatzsteuervoranmeldung geltend gemacht werden. Einer der größten Vorteile ist, dass viele Fördermittel in Kombination mit Mietkauf möglich sind. Übliche Zeiträume sind eher langfristiger Natur, zum Beispiel zehn Jahre.

Leasing

Beim Leasing bleibt der Leasinggeber Eigentümer des Leasingobjekts. Der Leasinggeber überlässt dem Leasingnehmer den Leasinggegenstand zum Gebrauch, jedoch ohne den Gebrauch zu gewährleisten. Das bedeutet, dass der Nutzer des Leasing-Objektes (Leasingnehmer) alle Rechte, Risiken und Pflichten zu tragen hat, die bei der traditionellen Miete beim

Vermieter liegen. Das können höhere Gewalt, Einwirkung Dritter oder auftretende Mängel während der Vertragslaufzeit sein. Im Gegensatz zu einem Mietvertrag haftet der Leasingnehmer somit für Beschädigungen und für den Ausfall des Produktes. Er muss Reparaturen selbst ausführen und das Objekt in Stand halten. Viele dieser Risiken lassen sich für den Leasingnehmer mit einem Fullservice-Leasing-Vertrag sehr stark eingrenzen. Beim Fullservice-Leasing übernimmt der Leasinggeber die gesamte Verwaltung inklusive Wartung, Verschleißreparaturen, Versicherung und so weiter. Das Leasingobjekt, beispielsweise ein Stahlcontainer samt Wärme-/Kälteerzeugung, wird vom Leasinggeber finanziert und gegen Zahlung einer monatlichen Rate an den Anlagenbetreiber übergeben. Somit ist der Leasinggeber auch Eigentümer des Leasingobjekts. Folglich taucht dieses nicht in der Bilanz des Anlagenbetreibers auf. Dadurch verschafft sich der Anlagenbetreiber Spielräume bei seiner Liquidität und kann die Raten als Betriebsausgabe steuerlich ansetzen. Die Einsparungen bei der Wärme-/Kälteerzeugung durch die neue Anlage können direkt der Leasingrate gegenübergestellt werden. Werden Fördermittel beansprucht, so ist explizit zu prüfen, ob Leasing nicht förderschädlich ist.

Contracting

Prinzipiell ist Contracting der Miete sehr ähnlich, jedoch ist die Vertragslaufzeit deutlich länger – sie beträgt in der Regel zehn bis 15 Jahre. Zudem mietet der Betreiber keine reine Anlage, sondern kauft Energie (Wärme, Kälte) ein und bezahlt diese. In den Energiepreis sind die Anschaffungskosten sowie sonstigen Aufwendungen des Contractors eingepreist. Der Contractingnehmer zahlt monatlich und spart sich die Investitionskosten, schont also seine Liquidität. Wie auch bei der Miete liegt das gesamte Betriebsrisiko beim Contractor. Nach Ablauf der Vertragslaufzeit kann der Contractingnehmer in aller Regel die mobile Anlage zum Sach- beziehungsweise Restwert der Heizung kaufen. Alternativ ist eine Vertragsverlängerung oder Abbau der Anlage durch den Contractor möglich. Wird die mobile Anlage fest mit dem Gebäude verbunden, so ist sie rechtlich gesehen Bestandteil des Gebäudes. Dadurch würde eine Contractinganlage in das Eigentum des Immobilienbesitzers übergehen. Aus

diesem Grund fordern einige Contractoren eine Grunddienstbarkeit im Grundbuch eintragen. Werden Fördermittel beansprucht, so ist explizit zu prüfen, ob dies im Zusammenhang mit Contracting möglich ist. Beispielsweise sind bei der BAFA im Bereich „Energieeffizienz“ Kälte- und Klimaanlage förderfähig, die über Energieeinspar-Contracting oder Energieliefer-Contracting realisiert werden. Der Contractingvertrag muss eine Mindestlaufzeit von fünf Jahren aufweisen, ein regelmäßiges Monitoring sicherstellen und vorsehen, dass der Contractor in dieser Zeit die Kälte- oder Klimaanlage betreibt und das Betriebsrisiko trägt. Betriebsführungs-Contracting hingegen ist nicht förderfähig.

Zusammenfassung

Sowohl die Finanzierungsmöglichkeiten als auch steuerliche Aspekte sollten im Vorfeld diskutiert und gelöst werden, bevor man eventuell förderschädlich agiert oder viel Geld auf der Straße liegen lässt. Wie auch bei der Technik, besteht die große Herausforderung für den Anlagenbetreiber, seriöse und kompetente Partner zu finden. Nur so hat man an dieser mittelfristigen Investition auch langfristige Freude. Die „Mobile Energie“ (Anhänger- und Containerlösungen) gibt es mit unterschiedlichen kaufmännischen Varianten. Welche Lösung in Frage kommt, hängt von individuellen Konditionen, der geplanten Nutzungszeit und strategischen Ansätzen beziehungsweise von der Firmenphilosophie ab. Tendenziell fährt man mit Kaufösungen häufig bei langfristigen Nutzungszeiten günstiger, jedoch muss man dafür zu Beginn tiefer in die Tasche greifen. Wird die mobile Energie nur vorübergehend, etwa für wenige Wochen oder Monate benötigt, so könnte die Variante „Mieten“ günstiger sein. ■

**Dipl.-Ing. (FH)
Lars Keller**

ist Fachbuchautor sowie Sachkundiger für Wärmepumpensysteme nach VDI 4645. Er verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der Projektierung und dem Vertrieb von Kälte- und Klimaanlage und Wärmepumpen.
Foto: Sebastian Beck



Einfluss des Klimawandels

Beispiel für die Bestimmung des sommerlichen Auslegungszustandes für den Luftkühler einer Klimaanlage aus realen Wetterdaten

Um es vorweg zu sagen, die Frage nach dem Auslegungszustand ist nicht einfach zu beantworten. Wie bereits vor etwa sechs Jahren beschrieben [1], bewegt man sich bei der Planung und Ausführung einer RLT-Anlage von jeher in einem Spannungsfeld zwischen dem Erfolg schuldenden Werkvertragsrecht und dem (vermeintlichen) Wunsch des Auftraggebers nach möglichst geringen Investitionskosten. Aber es gibt anscheinend wenig Hilfe bei der Festlegung des Auslegungszustandes, der bei der Auslegung der Anlagentechnikkomponente Luftkühler eine wichtige Rolle spielt.

TEXT: Prof. Dr.-Ing. Helmut E. Feustel

Es gibt nach Ansicht des Autors keine „allgemein anerkannte Regel der Technik“, die den sommerlichen Außenluftzustand für die Dimensionierung von Luftkühlern der RLT-Technik festlegt. Um diesen Umstand zu verstehen, soll hier erst einmal eine Definition des „unbestimmten Rechtsbegriffs“ [2] als Mindeststandard zur Erlangung der Gebrauchstauglichkeit gesucht werden. Dafür muss man bis zum Jahr 1910 zurückgehen. In einem Urteil des Reichsgerichts in Strafsachen (RGSt) [3] wird der vielen Technikern noch immer unbekannte juristische Begriff der „allgemein anerkannten Regel der Technik“ definiert. Danach liegt diese vor, wenn:

„sie in der technischen Wissenschaft als theoretisch richtig anerkannt ist, feststeht, sowie durchweg bekannt und aufgrund der praktischen Erfahrung als technisch geeignet, angemessen und notwendig anerkannt ist“.

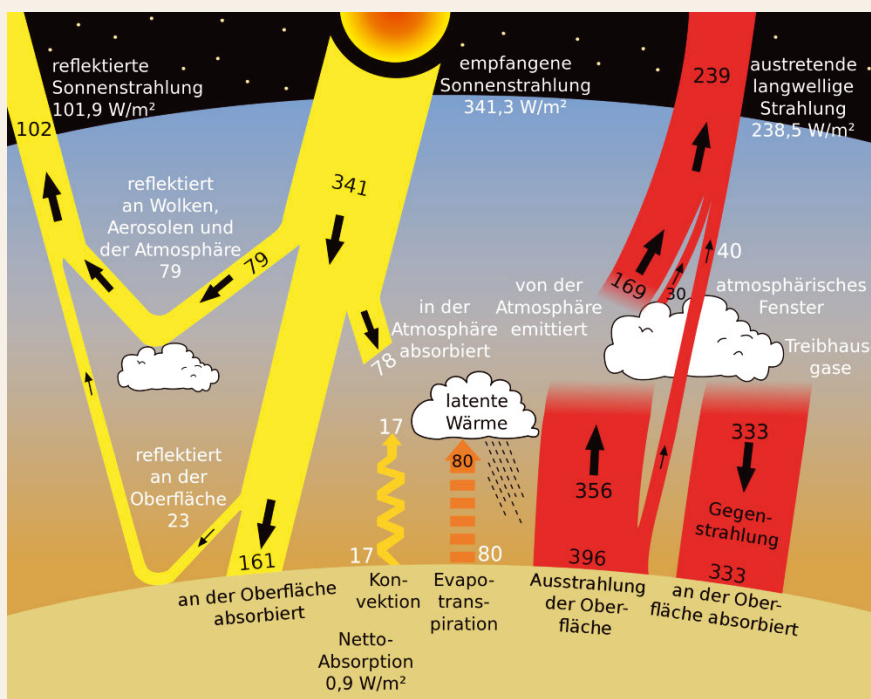


Bild 1: Ein- und austretende Strahlung der Atmosphäre. Grafik: [7]

Die allgemein anerkannte Regel der Technik muss also nicht nur durchweg bekannt, sondern auch theoretisch richtig sein. Es reicht nicht aus, dass „alle es so machen“, falls es theoretisch falsch ist. Diese Kombination aus theoretisch richtig und der allgemeinen Bekanntheit einer Anwendung ist bei vielen der von Planern angewandten „Regeln“ gerade nicht der Fall.

Nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) [4] hat der Auftragnehmer dem Auftraggeber ein Werk frei von Sachmängeln zu übergeben. Falls also ein Sachmangel vorliegt, dann muss es sich um einen Mangel zum Zeitpunkt der Abnahme handeln.

Eine Komponente einer RLT-Anlage muss also den zum Zeitpunkt der Abnahme angenommenen Auslegungsbedingungen entsprechen. Ist aber zum Beispiel durch den Klimawandel mit einer Veränderung der Auslegungsbedingungen zu rechnen, so könnte der Auslegungszustand, zum Beispiel im Bereich der Feuchtebelastung der Außenluft, in den Jahren nach der Abnahme bereits überholt sein. Es kann aber eigentlich nicht im Sinne der Branche sein, Anlagen zu dimensionieren und zu bauen, die bereits kurz nach ihrer Inbetriebnahme unterdimensioniert sind.

Klimawandel

Die historische Betrachtung des Außenluft-Auslegungszustandes ist in [1] wiedergegeben. Festzuhalten bleibt, dass die Literatur trotz des bereits voll im Gange befindlichen Klimawandels noch immer wenige Hinweise auf die Auslegung von Komponenten für Klimaanlage des wichtigen sommerlichen Auslegungszustandes gibt.

Die Ein- und Ausstrahlung von Energie in die, beziehungsweise aus der Atmosphäre, lässt sich mit einer Bilanz erfassen. Wichtiger Faktor dabei ist die Abstrahlung von Energie, die sowohl kurzwelliger (Reflexion, zum Beispiel an Wolken, Schnee- und Eismassen), als auch langwelliger (Absorption zum Beispiel am Boden) Natur sein kann (Bild 1).

Langwellige Strahlung wird aber von Wolken und sogenannten Treibhausgasen in der Atmosphäre an der Abstrahlung gehindert. Wird mehr Energie in die Atmosphäre eingestrahlt als von dieser wieder abgegeben wird, so steigt die Temperatur der Atmosphäre.

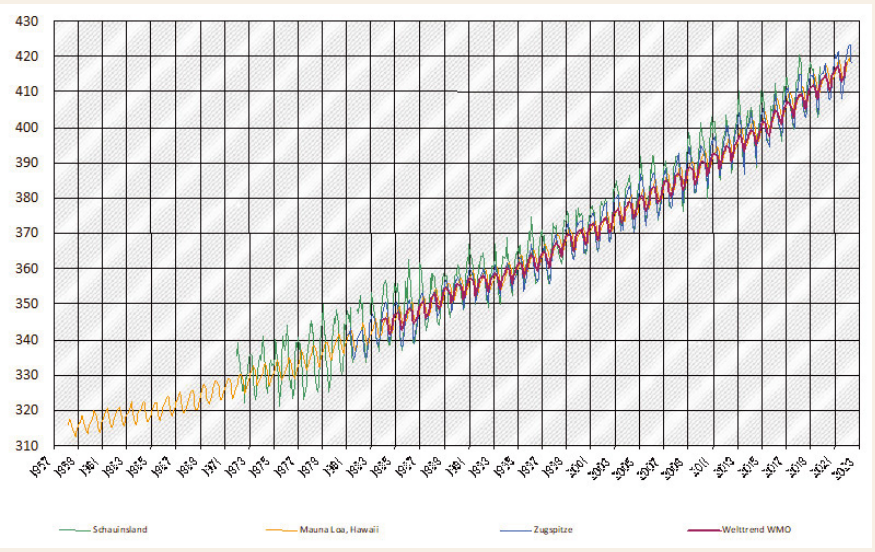


Bild 2: CO₂-Konzentration gemessen an drei Messstationen in Deutschland und auf Hawaii sowie der Welttrend. Grafik: [8]

Nummer in Bild 3	vorbehandelte Außentemperatur im Punkt 2,2 der WRG [°C]	Feuchtebelastung [g/kg]	Eintrittsenthalpie in den Luftkühler [°C]
2	29,0	13,157	62,79
3	28,4	13,939	64,17
4	27,8	14,742	65,60
5	27,2	15,567	67,08
6	26,6	16,358	68,48
7	26,0	17,196	70,00

Tabelle 1: Zustand der vorbehandelten Außenluft (Punkt 2,2) nach der Wärmerückgewinnung bei einer spezifischen Enthalpie des Außenluftzustands von $h_{\text{Grenz}} = 70 \text{ kJ/kg}$ und einem Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung von $\Phi_2 = 0,7$.

Wir wissen, dass die für die globale Außenlufttemperatur mitverantwortliche CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ständig steigt (Bild 2) und (gemäß Copernicus [5]) die vergangenen acht Jahre die wärmsten Jahre seit der Wetteraufzeichnung waren [6]. Die globale CO₂-Konzentration, die vor der industriellen Revolution bei etwa 310 ppm lag, war bis zum Jahr 1959 im Mittel lediglich auf etwa 315 ppm angestiegen.

In den darauffolgenden 62 Jahren ist die globale CO₂-Konzentration auf etwa 417 ppm angestiegen. Tendenz steigend. Die jährlichen „Sägezähne“, die in Bild 2 deutlich zu erkennen sind, kommen durch die Jahreszeiten und die damit verbundene Emission der Heizungsanlagen auf der dicht bevölkerten Nordhalbkugel zustan-

de. Die Amplituden für den globalen Welttrend fallen entsprechend geringer aus, als die Amplituden der „Sägezähne“ der beiden europäischen Wetterstationen.

In Paris hatten sich im Jahr 2015 195 Staaten darauf geeinigt, dass die globale Temperatur erst im Jahr 2100 bei 1,5-Grad über der globalen Temperatur vor der industriellen Revolution (1860) liegen sollte. Experten gehen jedoch davon aus, dass dies infolge der weltweit nur geringfügig gedrosselten Klimagasemission viel früher passieren wird. Die globale Temperatur ist allein seit dem Jahr 1960 bis jetzt schon um etwa 1 K gestiegen.

Ist allerdings schon der Anstieg der globalen Temperatur erschreckend, so geben besonders die lokalen

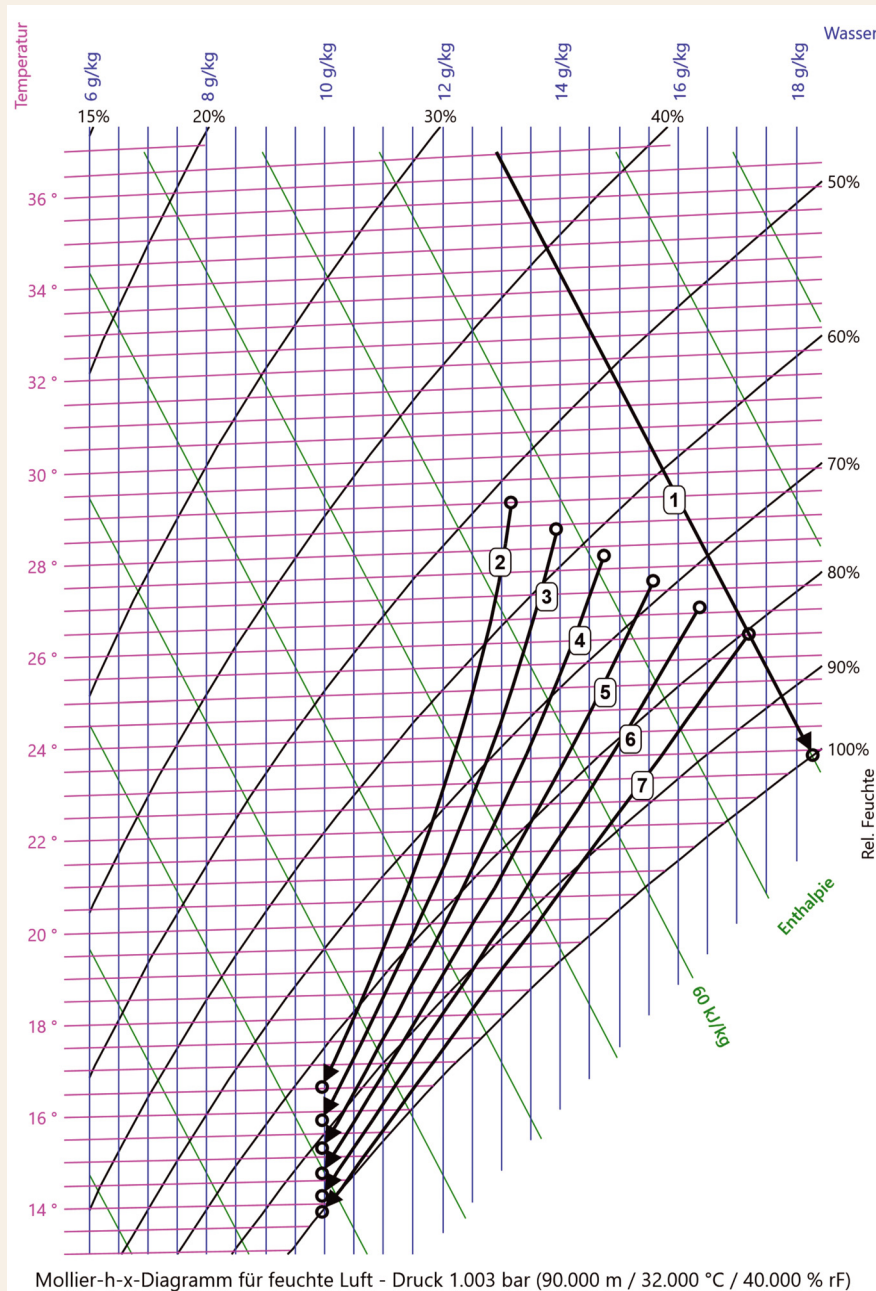


Bild 3: Schematische Darstellung der Zustandsänderungen im Luftkühler für unterschiedliche Außentemperaturen bei gleichbleibender spezifischer Enthalpie und einem Temperaturänderungsgrad der WRG von $\Phi_2 = 0,7$. Linie 1: angenommene spezifische Enthalpie der Außenluft $h_{\text{Grenz}} = 70 \text{ kJ/kg}$, Linie 2: Außentemperatur 36 °C, Linie 3: Außentemperatur 34 °C, Linie 4: Außentemperatur 32 °C, Linie 5: Außentemperatur 30 °C, Linie 6: Außentemperatur 28 °C, Linie 7: Außentemperatur 26 °C.
Grafik: [10]

Unterschiede zu denken. Besonderer Beachtung sollten den Abweichungen vom Temperaturmittel in der Arktis geschenkt werden. Dort getautes Eis gibt dunklen Ozean frei, der sehr viel mehr Strahlung absorbiert, als dies bei Eis und Schnee der Fall wäre. Ferner sind besonders im Norden Asiens Zonen von Permafrost vorhanden, deren Auftauen zusätzlich eine Unmenge an Treibhausgasen freisetzen kann. Außerdem zeigen uns die Klima-

modelle, dass es in Zukunft global nicht nur wärmer werden wird, sondern dass auch die Luftfeuchtigkeit – und damit auch die Wetterextreme – zunehmen werden.

Der Außenluft-Auslegungszustand ist in der im Jahr 2011 erschienenen VDI 4710-3 [9] mit einem Überschreitungsrisiko von 0,1 Prozent angegeben. Bei einer jährlichen Stundenzahl von 8760 Stunden sind dies in etwa neun Stunden im Jahr. Dabei geht es aber nach

Ansicht des Autors für den Luftkühler wegen des Einflusses der nahezu obligatorischen Wärmerückgewinnung nicht mehr um die Überschreitung der Außentemperatur, sondern vielmehr um die Überschreitung der Eintrittsenthalpie der Luft in den Luftkühler.

Beispiel aus der Veröffentlichung [10]

Der für die Auslegung des Luftkühlers wichtige Auslegungszustand wurde in [10] besprochen. Wesentliches Ergebnis dieser Veröffentlichung ist, dass bei gleichbleibender spezifischer Enthalpie der Außenluft der erforderliche Leistungsbedarf im Falle vorhandener Wärmerückgewinnung mit steigender Feuchtebelastung ansteigt.

Zum besseren Verständnis soll hier das Ergebnisbild von [10] noch einmal als **Bild 3** wiedergegeben werden. In diesem Beispiel liegt bei konstanter Enthalpie der Außenluft die Leistung des Luftkühlers bei hoher Feuchtebelastung der Außenluft (Kurve 7) um fast 50 Prozent über dem Wert mit der höchsten untersuchten Außentemperatur (36 °C für Kurve 2). Die für dieses Beispiel getroffenen Randbedingungen sind der Veröffentlichung [10] zu entnehmen.

Tabelle 1 stellt für eine konstant angenommene spezifische Außenluftenthalpie von $h_{\text{Grenz}} = 70 \text{ kJ/kg}$ die Kombination der Außentemperatur und der dazugehörigen Feuchtebelastung dar. Weiterhin ist die reduzierte Temperatur der in der Wärmerückgewinnung vorbehandelten Außenluft für einen Temperaturänderungsgrad von $\Phi_2 = 0,7$ im Punkt 2,2 nach der Wärmerückgewinnung dargestellt. Da die Temperatur dieses Punktes jeweils oberhalb des betreffenden Taupunktes liegt, bleibt die Feuchtebelastung über die Wärmerückgewinnung konstant.

Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, steigt bei konstanter Außenluftenthalpie die spezifische Eintrittsenthalpie in den Luftkühler einer Klimaanlage mit Wärmerückgewinnung mit zunehmender Feuchtebelastung an. Entsprechend ist der Auslegungsfall für den Luftkühler eher im Gewitterfall zu suchen, als an heißen Tagen. Für die Auslegung des Luftkühlers muss aus den Wetterdaten das Überschreitungsrisiko also nicht die spezifische Enthalpie des Außenluftzustandes, sondern für die spezifische Eintrittsenthalpie in den Luftkühler betrachtet werden. □

Enthalpie [kJ/kg]	Jahr										Häufig- keit [-]	Summe
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		
72,1			1								1	1
69,1			1								1	2
68,9			1								1	3
68,7			1								1	4
68,6			1								1	5
68,1									1		1	6
67,1			1								1	7
66,8			1								1	8
66,7			1								1	9
66,6			1								1	10
66,4										1	1	11
65,9				1							1	12
65,8					1						1	13
65,5							1				1	14
65,2	1										1	15
65,1		1	2								3	18
65,0									1		1	19
64,8			2								2	21
64,7	1		1								2	23
64,6			1								1	24
64,5			1				1			1	3	27
64,4											0	27
64,3	1				1						2	29
64,2			1		1				1		3	32
64,0			2								2	34
63,9			2	1			1		1		5	39
63,8			2				1				3	42
63,7							1		1		2	44
63,6							1				1	45
63,5			1	1			1		1		4	49
63,4	1							1			2	51
63,3							1	1			2	53
63,2			1				2			1	4	57
63,1			1	1			1				3	60
63,0			1				1				2	62
62,9	2	1	1	1			2				7	69
62,8	1		1		1			1			4	73
62,7			4								4	77
62,6			1	1			1		1	1	5	82
62,5	1		2	1	1				1	1	7	89

Tabelle 2: Häufigkeit der spezifischen Enthalpie nach der Wärmerückgewinnung für einen Standort in der Klimazone 12 für den Zeitraum 2000 bis 2009 zur Ermittlung der spezifischen Eintrittsenthalpie in den Luftkühler für ein Überschreitungsrisiko von 1 %.

Beispiel für die Bestimmung des Auslegungszustandes

Aus der errechneten spezifischen Eintrittsenthalpie in den Luftkühler lässt sich unter Anwendung des Überschreitungsrisikos (hier 0,1 Prozent) die spezifische Eintrittsenthalpie der Luft für die Auslegung des Luftkühlers bestimmen.

Eine Auslegungsmöglichkeit soll hier beispielhaft für das Jahr 2010 dargestellt werden. Dafür werden die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für einen Zeitraum vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2009 für den Standort Mannheim verwendet, um aus den stündlichen Wetterdaten (Außenlufttemperatur und relative Feuchte) in einem Tabellenkalkulationsprogramm die Werte der spezifischen Enthalpie zu bestimmen. Die verwendeten Gleichungen siehe [12]. Die für die spezifische Enthalpie bestimmende Lufttemperatur lässt sich aus der um den Einfluss der Wärmerückgewinnung verringerten Außentemperatur berechnen. Die Eintrittstemperatur der Luft in den Luftkühler errechnet sich gemäß VDI 3803–5 [11].

Dabei ist im vorliegenden Beispiel davon ausgegangen worden, dass für den Grenzwert der spezifischen Enthalpie die Ablufttemperatur gerade $\theta_{1,1} = 26^\circ\text{C}$ beträgt. Die errechnete spezifische Enthalpie wird im Tabellenkalkulationsprogramm für jedes Jahr absteigend sortiert und die Häufigkeit der Vorkommnisse notiert. Für die spezifische Enthalpie liegt die Summe für das Überschreitungsrisiko für den zehnjährigen Bereich bei etwa 87 Stunden. Für den betrachteten Zeitraum der Jahre 2000 bis 2009 (**Tabelle 2**) liegt die spezifische Enthalpie des Lufteintritts in den Luftkühler für ein Überschreitungsrisiko von einem Prozent bei $h_{\text{Grenz}} = 62,5 \text{ kJ/kg}$.

Für die Bestimmung der Leistung des Luftkühlers muss aber neben der spezifischen Eintrittsenthalpie der Luft in den Luftkühler auch die spezifische Austrittsenthalpie aus dem Luftkühler, bei der sich die gewünschte Feuchtebelastung der Zuluft einstellt, ermittelt werden. Im vorliegenden Beispiel soll der Wasserdampf der Außenluft im Luftkühler auf eine Feuchtebelastung von 9,96 g/kg auskondensiert

werden. Da die relative Feuchte am Luftkühleraustritt erfahrungsgemäß zwischen etwa 85 Prozent und 100 Prozent liegt, ist nach Meinung des Autors der Fehler vertretbar, wenn hier für den Luftkühleraustritt vereinfacht mit der Taupunkttemperatur der Zuluft ($\phi = 100\%$) gerechnet wird. Das sind im vorliegenden Fall gerade $\theta_{\text{Austritt}} = 13,8^\circ\text{C}$, was einer spezifischen Austrittsenthalpie der Luft aus dem Luftkühler von 39,1 kJ/kg entspricht. Mit der Annahme der relative Feuchte $\phi = 100\%$ ergibt sich für den Luftkühler ein kleines Leistungspolster, das für die Dauer der Lebenserwartung der Anlagentechnik sicherlich noch gebraucht wird.

Fazit

Sowohl die Außentemperaturen als auch die Feuchtebelastung einiger der 15 deutschen Klimazonen zeigen bereits heute deutliche Hinweise auf den Klimawandel, der sich insbesondere für die Bestimmung des Auslegungszustands des Luftkühlers durch steigende Feuchtebelastung auszeichnet. Entsprechend sind statistische Werte der Vor-Vergangenheit eher ungeeignet, den Auslegungszustand zu liefern, der über die Lebensdauer der Anlagentechnik zutreffend ist.

Während steigende Außenlufttemperaturen jedoch durch die für die meisten Anlagen obligatorische Wärmerückgewinnung teilweise kompensiert werden, verhält es sich mit der für einige Klimazonen in Zukunft steigenden Feuchtebelastung der Außenluft anders. Deshalb sollte bei der Dimensionierung von Komponenten der Komfortklimatisierung bereits heute eine steigende Feuchtebelastung berücksichtigt werden.

Statt einer Wetterdatenanalyse könnten natürlich auch die Daten des betreffenden Test Referenz Jahres (TRY [13]) verwendet werden, wobei hier seitens des DWD ein Programm angeboten wird, um den Einfluss des Klimawandels zu berücksichtigen. Statt ein ganzes Jahrzehnt statistisch auszuwerten, könnte alternativ die Eintrittsenthalpie in den Luftkühler, wie vorher beschrieben, aus den an den Klimawandel angepassten Wetterdaten des Test Referenzjahres bestimmt werden. ■

LITERATUR

- [1] Feustel, H.E.: Bestimmung des Sommerlichen Außenluft-Auslegungszustands für Komfortklimetechnik am Beispiel des oberen Rheingrabens, HLH Bd. 68 (2017) Nr. 10.
- [2] Boldt, A.; Zöller, M.: Anerkannte Regeln der Technik, Inhalt eines unbestimmten Rechtsbegriffs, Bundesanzeiger Verlag und Fraunhofer IRB Verlag, 2017.
- [3] Reichsgericht in Strafsachen RGSt 44, 76, Oktober 1910.
- [4] Bürgerliches Gesetzbuch, BGB, Deutscher Taschenbuchverlag, 2003.
- [5] Copernicus, Global Climate Highlight 2022: Copernicus Climate Change Service (C3S), <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2022>, zuletzt abgerufen am 18.04.2023.
- [6] Heute Nachrichten um 19 Uhr: ZDF, 20.04.2023.
- [7] Deutscher Wetterdienst (DWD): https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2019/2/20.html, zuletzt abgerufen am 02.06.2023.
- [8] Umweltbundesamt: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/atmosphaerische-treibhausgas-konzentrationen#kohlenendioxid>, zuletzt abgerufen am 20.05.2023.
- [9] VDI 4710 Blatt 3: Meteorologische Grundlagen für die Technische Gebäudeausrüstung, t,x-Korrelationen der Jahre 1991 bis 2005 für 15 Klimazonen in Deutschland, Beuth Verlag, Berlin 2011.
- [10] Feustel, H.E.: Abhängigkeit der Leistung des Luftkühlers einer Klimaanlage von der Feuchtebelastung der Außenluft, HLH Bd. 74 (2023) Nr. 10, S. 16-20.
- [11] VDI 3803 Blatt 5: Raumlufttechnik, Geräteanforderungen, Wärmerückgewinnungssysteme (VDI-Lüftungsregeln), Beuth Verlag, Berlin 2013.
- [12] Feustel, H.E.: Kompendium der Lüftungs- und Klimatechnik, 2. Auflage, cci Dialog GmbH, Berlin 2021.
- [13] Test-Referenzjahr (TRY): https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2013/testreferenzjahre/try-handbuch.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt abgerufen am 17.06.2023.

**Prof. Dr.-Ing.
Helmut E.
Feustel, VDI**



ist Hochschullehrer an der Hochschule für Technik und Wirtschaft, Berlin sowie ö.b.u.v. Sachverständiger für Lüftungs- und Klimatechnik.

Foto: photomarie/Petershagen

Ventilatoren

Nachhaltige Lösungen für bessere Indoor Air Quality

Wer auf eine Wohnraumlüftungsanlage setzt, sorgt schon mit dieser Entscheidung für eine bessere Raumluft als es mit einer manuellen Lüftung möglich ist. Mindestens ebenso wichtig ist es allerdings, die Parameter der tatsächlichen Luftqualität, der Indoor Air Quality (IAQ), zu erfassen. Das sorgt nicht nur für bessere Luft und damit einhergehend mehr Gesundheit und Wohlbefinden, sondern kann auch für Privathaushalte weiteres Einsparpotenzial bei Lüftungsanlagen eröffnen.

TEXT: Jochen Scherer und Uwe Rupertus

Ziel jeder Wohnraumlüftung ist es, ausreichend Frischluft in die Innenräume von Gebäuden zu leiten und die verbrauchte Luft nach draußen zu fördern. Die klassische Methode, für diese Luftzirkulation zu sorgen, ist manuelles Lüften mit geöffneten Fenstern. Die Nachteile liegen auf der Hand: Es wird entweder zu kurz oder zu lange gelüftet oder das Lüften komplett vergessen. Durch diese Art zu lüften entweicht im Winter Heizenergie, im Sommer gelangt kühle Innenluft nach draußen. Zudem kann es in Feuchträumen wie Bädern durch falsches Lüften zu Schimmelbildung oder zur Vermehrung von Krankheitserregern kommen. Nicht nur bei hochwärmegedämmten Neubauten, dichten Fenstern und Gebäudehüllen ist eine automatisierte Belüftung mit Wohnraumlüftungsanlagen daher essenziell für ein gesundes Raumklima.

Wohnraumlüftung und IAQ gehören zusammen

Wer Innenräume belüftet, beeinflusst automatisch die Qualität der Innenraumluft. Indoor Air Quality (IAQ) beschäftigt sich damit, die Faktoren, die eine gesunde Luft gewährleisten, zu messen, zu überwachen und zu verbessern. Zu diesen Faktoren gehören unter anderem die Anzahl der

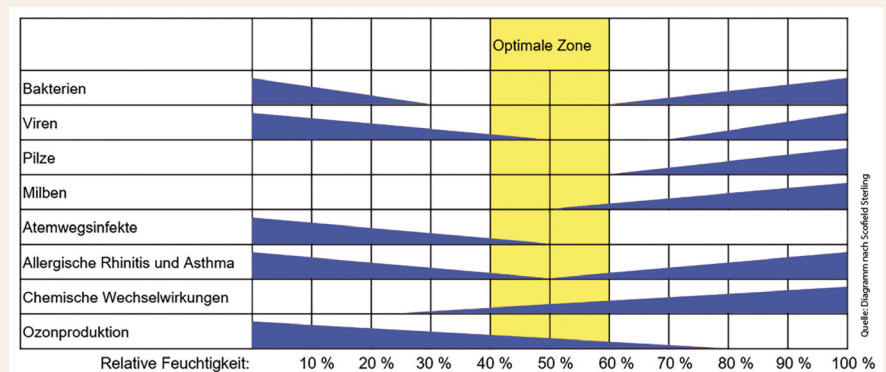


Bild 1: In dem für Menschen optimalen Luftfeuchtigkeitsbereich (40 bis 60 Prozent Luftfeuchte) vermehren sich Keime und Viren besonders schlecht. Grafik: ebm-papst

anwesenden Personen, Möbel, Teppiche oder sogar technische Geräte. Daraus ergeben sich messbare Indikatoren wie CO₂-, Feinstaub- oder Feuchtigkeitsgehalt in der Luft. Wer diese Werte mit Sensoren misst und überwacht, kann beim Luftaustausch entsprechend nachsteuern und erreicht auf diese Weise ein effizientes und gesundheitsförderndes Belüftungsmanagement (**Bild 1**).

Bei der Raumluft von Wohngebäuden kommen Ziele und Methoden der Wohnraumlüftung und der IAQ somit zusammen und sollten bei der Planung einer Wohnraumlüftungsanlage allumfassend bedacht werden. Denn zum einen ist IAQ ein entscheidender Faktor für Gesundheit, Produktivität und Wohlbe-

finden und sollte daher nicht als zweitrangig betrachtet werden. Zum anderen gilt: Ohne IAQ werden gegebenenfalls wichtige Faktoren wie Schadstoffe außer Acht gelassen und somit weiteres Potenzial für die Optimierung der Luftqualität übersehen.

Vorteile für Privathaushalte

Gerade für Privathaushalte bieten Wohnraumlüftung und IAQ viele Ansätze und Vorteile, auch im Hinblick auf das große Schlagwort Nachhaltigkeit. Privathaushalte unterliegen zwar anderen gesetzlichen Vorgaben und gesellschaftlichen Anforderungen als Industrie und Gewerbe – dennoch beschäftigen sich viele Menschen □



Bild 2: Der RadiCal bewährt sich schon seit über zehn Jahren beim Einsatz in zentralen Wohnraumlüftungsgeräten. Foto: ebm-papst

rung der Wärmerückgewinnung und Luftfilterung. Mit der zentralen Steuerung ist außerdem eine über das gesamte Gebäude gleichmäßig regulierte Luftverteilung und -optimierung möglich. An Ventilatoren werden in solchen Systemen hohe Anforderungen gestellt: ein niedriger Energieverbrauch bei gleichzeitig hohen Volumenströmen, möglichst kompakte Einbaumaße und eine niedrige Geräuschentwicklung.

RadiCal in zweiter Generation

Mit dem RadiCal (**Bild 2**) hat ebm-papst seit über zehn Jahren einen bewährten Ventilator für den Einsatz in zentralen Wohnraumlüftungsgeräten im Programm. Das nun verfügbare Nachfolgemodell wurde aerodynamisch weiter verbessert. Zu den Optimierungen gehören unter anderem die „verwundene“ Schaufelgeometrie und die komplett überarbeitete Gehäusebox mit schräg angestellten Streben. Im Vergleich zu seinem Vorgänger weist der RadiCal 2 beispielsweise in der Baugröße 190 einen um neun Prozentpunkte höheren Spitzenwirkungsgrad auf. Zudem ist der maximale Volumenstrom pro Baugröße wesentlich höher (**Bild 3**). Auch die Geräuschentwicklung wurde deutlich verbessert und liegt je nach Betriebspunkt um bis zu 3 dB (A) niedriger. Durch das neue FlowGrid und die überarbeiteten EC-Motoren können zusätzlich weitere Geräuschvorteile im Lüftungsgerät erzielt werden. Die Steuerung und Überwachung ist über 0...10 V/PWM oder optional auch per Modbus-RTU möglich. Zudem ist der RadiCal Gen 2 für unterschiedliche Einbausituationen geeignet – es gibt ihn als motorisiertes Laufrad, als Radialmodul mit einbaufertigem Gehäuse oder mit Tragspinne.

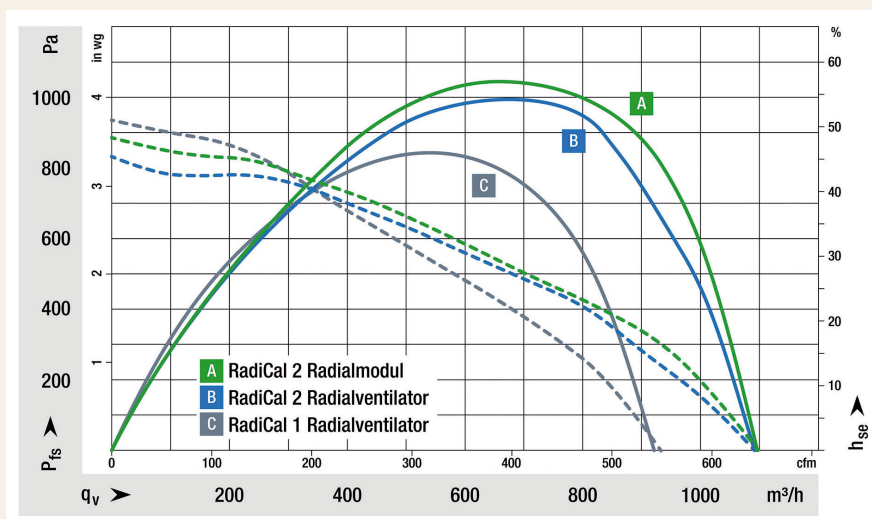


Bild 3: Wirkungsgrad und Volumenstrom der RadiCal-Modelle im Vergleich (Baugröße 190). Grafik: ebm-papst

in der aktuellen Zeit mit umweltfreundlichen Technologien und möchten selbst einen Beitrag leisten. Mit effizienten Wohnraumlüftungsanlagen und mitgedachter Indoor Air Quality ergeben sich sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile für private Haushalte. Neben langfristigen Kosteneinsparungen bei Heizung und Kühlung gehört dazu unter anderem auch die Reduzierung der CO₂-Emissionen. Von der verbesserten Raumluft profitieren natürlich die Bewohnerinnen und Bewohner des Hauses. Mit frischer, schadstofffreier Luft werden Gesundheit und Wohlbefinden gefördert und die Produktivität, zum Beispiel im Homeoffice, gesteigert.

Radialventilatoren für die zentrale Wohnraumlüftung

Herzstück effizienter Wohnraumlüftungsanlagen sind Ventilatoren. Sie sorgen für den Luftaustausch und sind dabei möglichst effizient, leistungsstark und leise. ebm-papst bietet für die spezifischen Einsatzfälle – von zentralen bis dezentralen Wohnraumlüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung – die verschiedenen Produktlösungen.

Bei der zentralen Wohnraumlüftung steuert ein Gerät die Zu- und Abluft über Rohrleitungssysteme in relevanten Räumen des Wohngebäudes. Vorteil einer zentralen Einheit ist die effektive Realisie-

Spezialfall: RadiCal im Spiralgehäuse

Bei den RadiCal Radialventilatoren im Spiralgehäuse benötigen Anwender keine eigene Luftführung – der runde Ausblas wird direkt am Luftaustritt des Lüftungsgeräts verbunden. Am Ausblasstutzen befindet sich die integrierte Volumenstrommessung, die kontinuierlich Daten wie den Volumenstrom per integrierter Steuerelektronik übermittelt. Gegenüber baugleichen Trommelläufer-Ventilatoren hat der RadiCal im Spiralgehäuse (**Bild 4**) einen 34 Prozent höheren Wirkungsgrad und ist dabei bis zu 3,5 dB (A) leiser.

Bereits integrierte Feuchtigkeits- und Temperatursensoren unterstützen auf dem Weg zu einer messbaren Luftqualität.

Ventilatoren für die dezentrale Wohnraumlüftung

Dezentrale Wohnraumlüftungsgeräte kommen traditionell eher bei Bestandsgebäuden zum Einsatz, in denen die Verlegung der Luftkanäle kompliziert und aufwendig wäre. Doch auch in Neubauten gewinnen sie immer mehr an Bedeutung, da sie ein hohes Maß an Flexibilität und Kontrolle ermöglichen: Je nach Bedarf können in den Räumen unterschiedliche Lösungen verbaut und einzeln angesteuert werden (bedarfsgerechte Lüftung). Bei der dezentralen Wohnraumlüftung kommen beispielsweise Push-Pull-Belüftungssysteme zum Einsatz (Bild 5). Dabei wird für eine definierte Zeit verbrauchte Luft durch einen Kanal nach draußen befördert (Push) und anschließend für dieselbe Zeit frische Luft hinein (Pull). Wird zudem ein Wärmetauscher genutzt, speichert dieser im Push-Betrieb die Wärme und gibt sie im Pull-Betrieb an die frisch einströmende Luft ab. Auch der Einbau eines Filters zur Reinigung der Luft ist möglich.

Um einen Push-Pull-Betrieb zu realisieren, muss der in der Wohnraumlüftungsanlage verbaute Ventilator reversibel sein und auch bei wechselnder Windlast in beide Drehrichtungen dauerhaft einen gleichbleibenden Volumenstrom liefern. Speziell dafür konzipiert wurde beispielsweise der AxiRev. Seine Druck-/Volumenstrom-Kennlinie verläuft sehr steil und zeigt somit eine von der Wetterlage unabhängige Leistung an. Das Flügeldesign ist patentiert und sorgt mit den Schaufelspitzen und Öffnungen an den Flügelenden für nur minimale Geräuschemissionen. Zudem ist seine psychoakustische Gesamtqualität – also wie angenehm das Geräusch empfunden wird – sehr harmonisch, auch beim Umschalten zwischen den Drehrichtungen (Bild 6).

Sensorik und intelligente Steuerung

Wer auf eine Wohnraumlüftungsanlage setzt und dabei die tatsächliche Luftqualität erfasst, kann dabei weiteres Einsparpotenzial eröffnen. Dafür braucht es Sensoren, die die Parameter der Luftqualität erfassen, sowie eine Plattform, die die

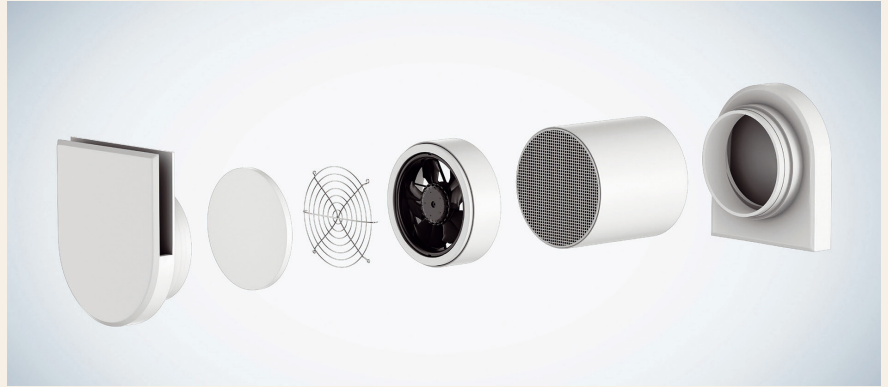


Bild 5: Push-Pull-System für die dezentrale Wohnraumbelüftung mit keramischem Wärmetauscher. Foto: ebm-papst

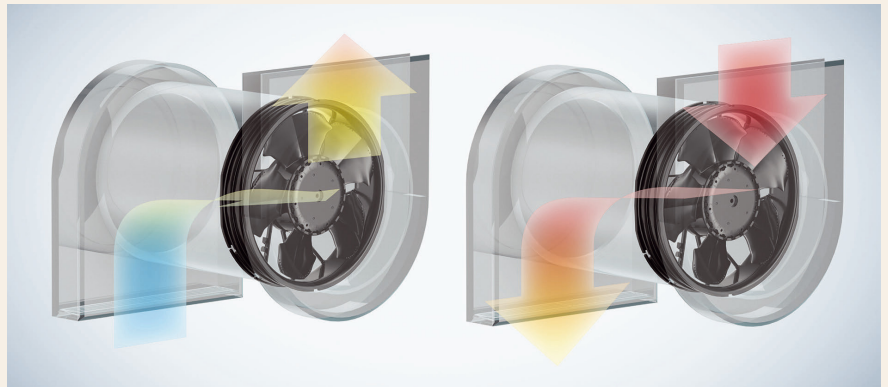


Bild 6: Egal in welche Richtung: Die Luftmenge ist die gleiche. Der AxiRev ist durch sein charakteristisches Erscheinungsbild auffallend: Das symmetrische Flügeldesign ermöglicht identische Kennlinien in beide Drehrichtungen. Foto: ebm-papst



Bild 4: Bei den RadiCal Radialventilatoren im Spiralgehäuse braucht der Anwender keine eigene Luftführung. Foto: ebm-papst

die Anlage regelt automatisch bedarfsgerecht nach. Die Vorteile einer Wohnraumlüftungsanlage sind also gerade für Privathaushalte vielzählig. Sowohl ökonomisch, durch Kosteneinsparungen, als auch ökologisch, durch einen verringerten Energieverbrauch und CO₂-Emissionen. Zudem gewinnen die Bewohnerinnen und Bewohner messbar: bei Gesundheit, Produktivität und Wohlbefinden. ■



Jochen Scherer

ist Sales Engineer
Ventilation bei der
ebm-papst Mulfingen
GmbH & Co. KG.
Foto: ebm-papst



Uwe Rupertus

ist Sales Engineer
Residential Ventilation
bei ebm-papst St. Georgen.
Foto: ebm-papst

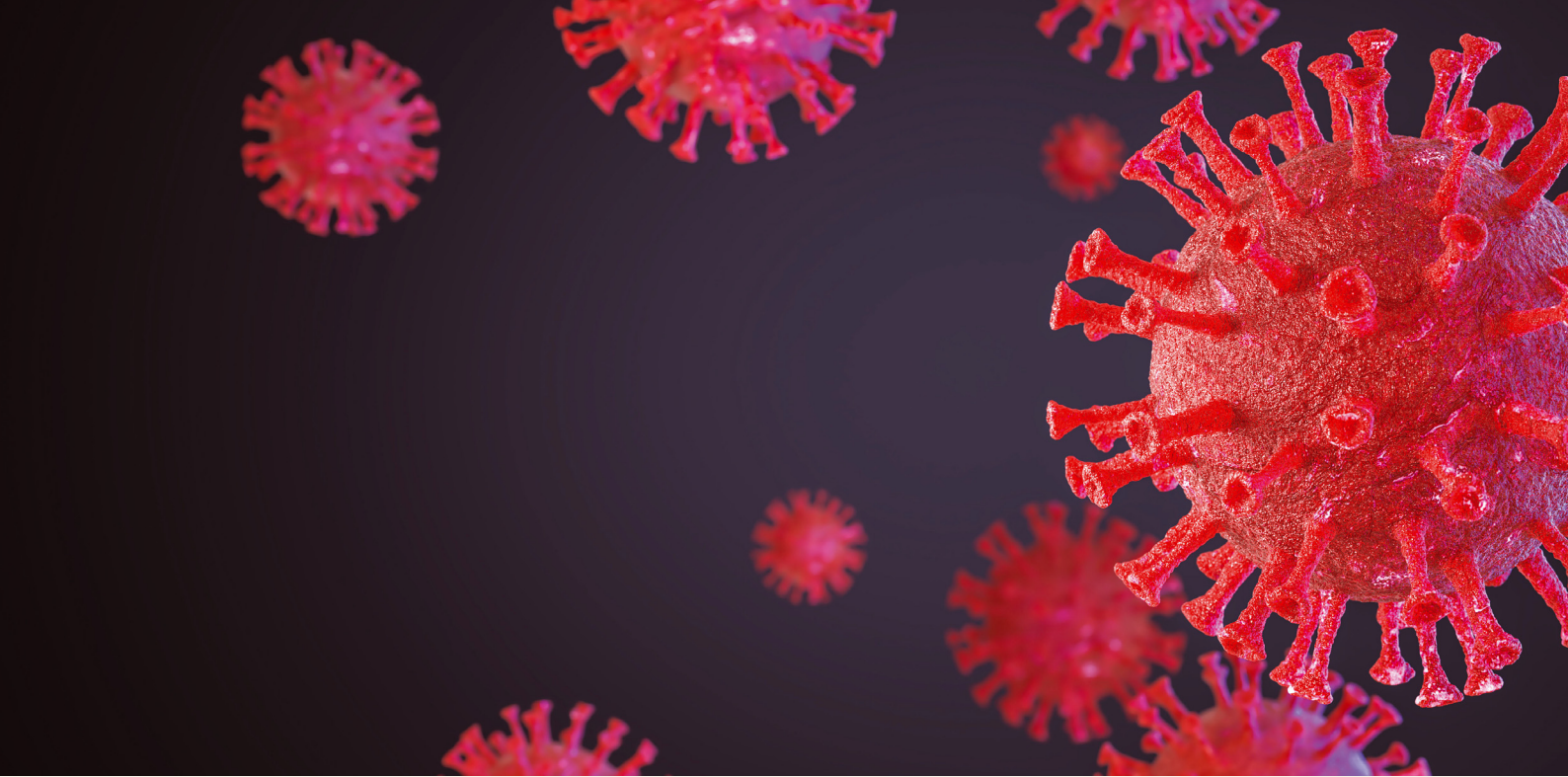


Foto: panthermedia.net/gualtiero boffi

Teil 2: Bewertung beispielhafter Maßnahmen in einem natürlich belüfteten Raum

Die Bewertung der Energieeffizienz und Effektivität von Infektionsschutzmaßnahmen bezüglich luftgetragener Krankheitserreger durch die Kennzahl ICEE

Im ersten Teil dieses Fachaufsatzes (HLH Bd. 74 (2023), Nr. 11-12) wurde die Kennzahl ICEE vorgestellt, welche eine Beurteilung von Infektionsschutzmaßnahmen ermöglicht, indem der damit verbundene Energieaufwand und die Effektivität des Infektionsschutzes gleichermaßen berücksichtigt werden. Während in Teil 1 die Herleitung der Kennzahl behandelt wurde, soll in diesem Teil, zum besseren Verständnis, die Kennzahl bei einer ausgewählten Referenzsituation angewandt werden. Beispielhaft werden verschiedene Maßnahmen bewertet. Dabei handelt es sich um Lüftungstechnische Maßnahmen, die zum erhöhten Schutz vor luftgetragenen Krankheitserregern führen.

TEXT: Ruben Makris, Claudia Kopic, Lukas Schumann und Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel

Lfd. Nr.	Maßnahme	Parameteränderungen	Kennzahl ICEE
0	Referenz: natürlich belüftet	$q_{\text{pers},0} = 14,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $x_{\text{natural vent},0} = 1$	1,00
1	Erhöhte natürliche Belüftung	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$	1,00
2	Einbau einer RLT-Anlage ohne WRG (P_{SFP} nach GEG)	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $P_{\text{SFP},x} = 2500 \text{ Ws/m}^3$ $x_{\text{natural vent},x} = 0$	0,75
3	Einbau einer reinen Abluftanlage	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $P_{\text{SFP},x} = 1000 \text{ Ws/m}^3$	0,88
4	Einbau einer RLT-Anlage mit WRG (P_{SFP} nach GEG)	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $P_{\text{SFP},x} = 2500 \text{ Ws/m}^3$ $\eta_{\text{t},x} = 0,78$ $\Delta p_{\text{WRG}} = 211 \text{ Pa}$ $x_{\text{natural vent},x} = 0$	1,66
5	Einbau einer sehr effizienten RLT-Anlage (P_{SFP} geringer als GEG) mit WRG	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $P_{\text{SFP},x} = 800 \text{ Ws/m}^3$ $\eta_{\text{t},x} = 0,78$ $\Delta p_{\text{WRG}} = 211$ $x_{\text{natural vent},x} = 0$	2,67
6	Einbau einer RLT-Anlage mit Quelläuftung und WRG (P_{SFP} nach GEG)	$q_{\text{pers},x} = 36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $P_{\text{SFP},x} = 2500 \text{ Ws/m}^3$ $x_{\text{natural vent},x} = 0$ $\varepsilon_{\text{cxp},x}^{\text{c}} = 1,7$ $\eta_{\text{t},x} = 0,78$ $\Delta p_{\text{WRG}} = 211 \text{ Pa}$	2,83
7	Erhöhte natürliche Belüftung (Frischluft $25,2 \text{ m}^3/\text{h}$ je Person / 1200 ppm) und mobiles Umluftfiltergerät (HEPA)	$q_{\text{pers},x} = 25,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $q_{\text{pers},\text{Filter}} = 10,8 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $x_{\text{natural vent},x} = 1$ $\eta_{\text{Filter}} = 99,9 \%$ $P_{\text{SFP},\text{Filter}} = 180 \text{ Ws/m}^3$	1,03
8	RLT-Anlage mit Umluftbetrieb und zwei Kompaktfiltern ISO ePM1 60 %	$q_{\text{pers},x} = 25,2 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $q_{\text{pers},\text{Filter}} = 13,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ $\eta_{\text{Filter}} = 75 \%$ $P_{\text{SFP},\text{Filter}} = 2500 + 300 \text{ Ws/m}^3$	0,88

Tabelle 1: Berechnete Kennzahlen und Überblick der Maßnahmen zur Verbesserung des Infektionsschutzes in einer natürlich belüfteten Referenzsituation (Nr. 0) inklusive der getroffenen Annahmen.

In der vorliegenden Studie wird die Referenzsituation so definiert, dass ein Außenluftvolumenstrom von 4 l/s pro Person (entspricht $14,4 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person) durch natürliche Belüftung bereitgestellt wird und keine Masken getragen werden. Das entspricht unter der Annahme einer sitzenden leichten Tätigkeit¹⁾ bei idealer Mischlüftung einer sich einstellenden CO_2 -Konzentration in der Raumluft von etwa 1750 ppm . Nach DIN EN 16798-1 [1] sollte aus hygienischen Gründen der Frischluftvolumenstrom nicht geringer als $14,4 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person sein. Dies entspricht einem geringen bis annehmbaren Maß an Erwartungen an die Innenraumqualität (Kategorie III). Die Maßnahmen werden dabei so gewählt, dass der gesamte virenfreie Volumenstrom auf $36 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ erhöht wird, damit die Luftqualität den Empfehlungen der WHO im Umgang mit luftgetragenen Erregern entspricht [2]. Die Maßnahmen im Einzelnen sind folgende:

1. Die natürliche Belüftung wird erhöht. Ein CO_2 -Monitoring ermöglicht durch angepasstes Fensteröffnungsverhalten die

Einhaltung des Grenzwertes von 1000 ppm , was einem Außenluftvolumenstrom von $36 \text{ m}^3/\text{h}$ entspricht.

2. Eine RLT-Anlage ohne WRG wird installiert. Die spezifische Ventilatorleistung orientiert sich an den Grenzwerten des GEG.
3. Eine reine Abluft-Anlage wird installiert. Die spezifische Ventilatorleistung orientiert sich an dem Grenzwert des Gebäudeenergiegesetzes (GEG).
4. Eine RLT-Anlage mit einer WRG der Klasse H1²⁾ wird installiert³⁾. Die spezifische Ventilatorleistung orientiert sich an den Grenzwerten des GEG.

F U ß N O T E N

- 1) Annahme einer Standard- CO_2 -Emission von 20 l/h pro Person [1]
- 2) WRG werden in Abhängigkeit ihres energetischen Wirkungsgrades nach DIN EN 13053:2020-05 [3] in Klassen eingeteilt.
- 3) In [4] wird von Kaup ein WRG-System mit einem Druckverlust von 211 Pa und einer Rückwärmzahl von $78,6 \%$ angenommen.

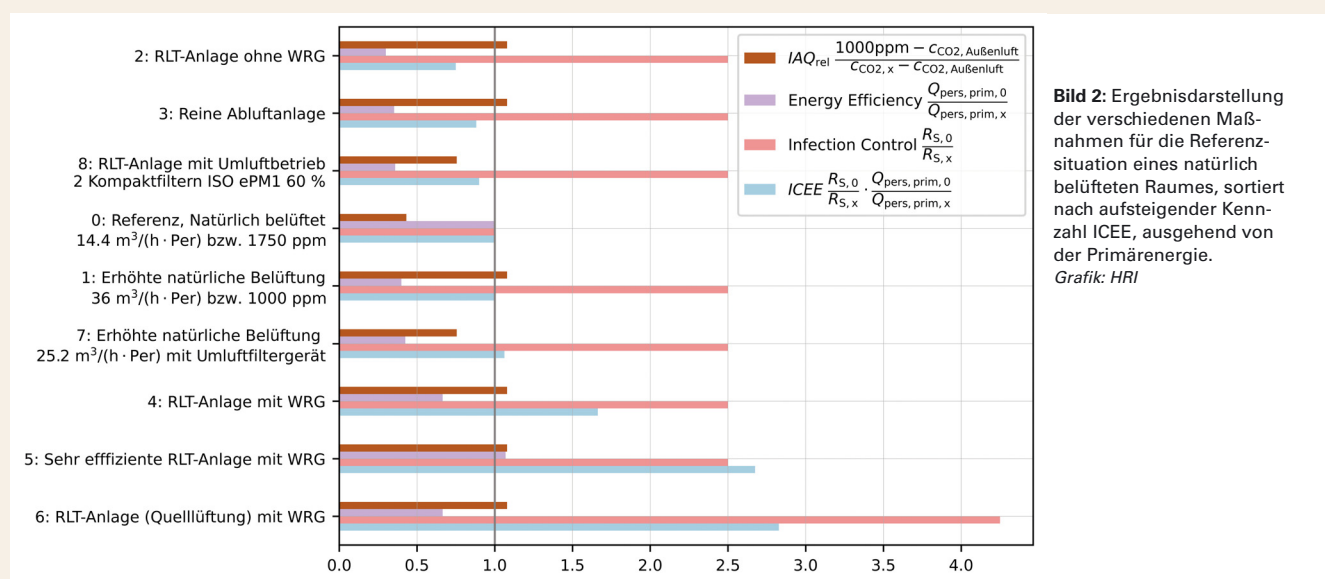


Bild 2: Ergebnisdarstellung der verschiedenen Maßnahmen für die Referenzsituation eines natürlich belüfteten Raumes, sortiert nach aufsteigender Kennzahl ICEE, ausgehend von der Primärenergie.
Grafik: HRI

5. Eine sehr effiziente ⁴⁾ RLT-Anlage mit einer WRG der Klasse H1 wird installiert. Die spezifische Ventilatorleistung liegt unter den Grenzwerten des GEG. Kurze Luftkanalnetze und wenige Luftbehandlungskomponenten bewirken eine geringe benötigte Ventilatorleistung, wie beispielsweise bei dezentralen Anlagen [6].
6. Zusätzlich zu 4. wird ein Quellluftsystem ⁵⁾ genutzt, das zu einem $\epsilon_{exp,x}^c$ von 1,7 führt.
7. Die natürliche Belüftung wird auf 25,2 m³/h je Person erhöht (entspricht in etwa einer CO₂-Konzentration von 1 200 ppm), sodass eine Luftqualität der Kategorie II (DIN EN 16798-1 [1]) erzielt wird. Zusätzlich werden 10,8 m³/h je Person mittels mobilem Umluftfiltergerät zur Unterstützung der natürlichen Belüftung rezirkuliert. Die Raumluft wird als ideal durchmischt angenommen, die spezifische Ventilatorleistung (PSFP) liegt bei angenommenen 180 Ws/m³.
8. Zusätzlich zu 2. wird ein Teil der Abluft dem Raum als Umluft rückgeführt. Der Frischluftvolumenstrom beträgt 25,2 m³/h, sodass eine CO₂-Konzentration von etwa 1 200 ppm erreicht wird. Nach [8] kann mit zwei Kompaktfiltern ISO ePM1 60 % ein Abscheidewirkungsgrad von mindestens 75 Prozent erreicht werden. Das gilt auch in der für erregelbeladene Aerosolpartikel kritischen Größenklasse von 0,3 bis 0,5 µm. Der Umluftvolumenstrom beträgt 13 m³/h je Person. Es wird eine spezifische Leistungsaufnahme des Um- und Frischluftanteils von 2 800 Ws/m³ angenommen.

In **Tabelle 1** werden alle Maßnahmen inklusive der Parameteränderungen sowie der berechneten Kennzahl ICEE aufgeführt. In **Bild 2** werden die relative Innenraumluftqualität IAQ_{rel} , der Nutzen zum Infektionsschutz vor luftgetragenen Erregern $R_{S,0}/R_{S,x}$, die Energieeffizienz $Q_{pers,prim,0}/Q_{pers,prim,x}$ und die berechnete Kennzahl ICEE separat in dieser Reihenfolge in verschiedenfarbigen Balken für die einzelnen Maßnahmen dargestellt. Die Maßnahmen sind nach aufsteigendem ICEE-Index sortiert. Die graue vertikale Linie markiert zum einen die CO₂-Konzentration von 1 000 ppm zum vereinfachten Überblick über die erzielte Innenraumluftqualität. Zum anderen entspricht der Wert 1 dem Referenzfall für die Parameter Infektionsschutz, Energieeffizienz und ICEE-Index.

Es ist zu erkennen, dass der Infektionsschutz durch jede der getroffenen Maßnahmen um mindestens das Doppelte verbessert werden kann. Die Energieeffizienz wird durch den Hilfsenergiebedarf eines eingesetzten mechanischen Gerätes (RLT-Anlage oder Umluftfiltergerät) verringert. Durch die Nutzung einer WRG und die Minderung der Lüftungswärmeverluste kann ein großer Teil des erhöhten Hilfsenergiebedarfs kompensiert werden. Wird keine WRG genutzt, fällt der ICEE-Index aufgrund der mangelnden Energieeffizienz auf unter 1. Die Nutzung der RLT-Anlage nach dem Quellluftprinzip mit WRG (Maßnahme 6) und die effiziente RLT-Anlage mit niedrigem PSFP-Wert (Maßnahme 5) weisen die höchste Kennzahl auf. Durch die erhöhte Lüftungswirksamkeit der Quelllüftung reduziert sich die Schadstoffkonzentration gegenüber dem Mischlüftungsfall im relevanten Bereich der Inhalationszone um etwas weniger als die Hälfte. Die effizientere RLT-Anlage (5) hat im Vergleich zur anderen Anlage mit höherem PSFP-Wert einen geringeren Hilfsenergiebedarf und bewirkt eine deutlich höhere Energieeffizienz. Der Energiebedarf entspricht hier, trotz erhöhter Frischluftmenge, in etwa dem der Referenzsituation ohne maschinelle Lüftung. Der zusätzliche Betrieb eines mobilen Umluftfiltergerätes ist zwar bezüglich des Infektionsschutzes energieeffizient, und es lassen sich durch die Rezirkulation Lüftungswärmeverluste reduzieren, jedoch ist bei den Maßnahmen mit Umluftbetrieb (7 und 8) die Innenraumluftqualität zu beachten.

Der Einfluss der Außenlufttemperatur auf den ICEE-Index ist in **Bild 3** für vier ausgewählte Maßnahmen dargestellt. Der Einfluss der WRG ist vor allem bei niedrigen Außenlufttemperaturen erheblich. Ein angenommener natürlicher Anstieg des Luftvolumenstroms (durchgezogene Linie) führt unabhängig von der Außentemperatur zu einem Index von 1, da sowohl die Lüftungswärmeverluste als auch der Infektionsschutz sich identisch

F U ß N O T E N

- 4) Orientiert an Ökodesign ErP-Richtlinie der EU (1253/2014) [5]
5) Luft wird mit geringer Geschwindigkeit in einen Raum eingebracht, sodass keine sofortige Durchmischung mit der Raumluft stattfindet. In Bodennähe entsteht ein Frischluftsee. An Wärmequellen (zum Beispiel Menschen) strömt durch natürliche Konvektion Luft nach oben. Im Deckenbereich wird die Raumluft abgesogen [7].

proportional zum Luftaustausch verhalten. Mit sinkenden Außentemperaturen steigen die Energieeinsparungen durch die Wärmerückgewinnungsmaßnahmen (4: WRG und 8: Umluft) aufgrund reduzierter Lüftungswärmeverluste, was zu einem höheren ICEE-Index führt. Umgekehrt führen höhere Außentemperaturen, bei denen die Wärmeverluste weniger relevant werden, durch den höheren Bedarf an Hilfsenergie für die Lüftungssysteme zu Indexwerten unter 1. Der Vergleich von Maßnahme 4 (RLT-Anlage mit WRG) und Maßnahme 8 (RLT-Anlage mit 34 Prozent Umluftanteil ohne weiteres WRG-System) verdeutlicht, anhand des signifikant höheren ICEE-Index von Maßnahme 4, dass in einer RLT-Anlage die Verwendung von 100 Prozent Außenluft mit WRG effizienter ist, als den Umluftanteil zu erhöhen und diesen zu filtern. Zusätzlich nimmt mit Erhöhung des Umluftanteils die allgemeine Luftqualität ab.

Diskussion und Fazit

Mit der Einführung der Kennzahl ICEE können verschiedene Maßnahmen, die den Infektionsschutz vor luftgetragenen Erregern verbessern, miteinander verglichen und bewertet werden. Die Referenzsituation ist in diesen Betrachtungen ein natürlich belüfteter Raum mit einem Frischluftvolumenstrom von $14,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$ ($\sim 1750 \text{ ppm}$). Bei Kennzahlen größer eins wird die Gesamtsituation bezüglich des Infektionsschutzes und des Energiebedarfes gegenüber der Referenz verbessert, bei Kennzahlen kleiner eins verschlechtert sich die Situation. Die Referenzsituation ist je nach zu bewertendem Szenario anpassbar. Insbesondere ist die Referenzsituation einer bereits bestehenden RLT-Anlage zu unterscheiden, da eine Volumenstromerhöhung in einem bestehenden System den Hilfsenergiebedarf signifikant beeinflusst.

Neben der berechneten Kennzahl ist zusätzlich zu beachten, welche CO_2 -Konzentration bei einer Maßnahme erreicht wird. Das Aufstellen eines Umluftfiltergerätes, wie in Maßnahme 7, dient zum Beispiel nur der Umluftfilterung. Die CO_2 -Lasten und andere Schadgase, zum Beispiel VOC, können damit nicht verdünnt werden, wodurch die Luftqualität weiterhin von der Frischluftmenge abhängt. Das Aufstellen eines Umluftfiltergerätes in einem ansonsten unbelüfteten Raum führt dazu, dass die CO_2 -Konzentration stark ansteigt, wie in Bild 1 (Teil 1, obere Linie) zu erkennen ist. Trotzdem würde eine gute Kennzahl erreicht werden, da der Betrieb eines mobilen Gerätes mit einem geringen Hilfsenergiebedarf verbunden ist und die virenfreie Zuluftmenge für den Infektionsschutz entscheidend ist.

In Studien (beispielsweise [9],[10]) konnte gezeigt werden, dass ein Zusammenhang zwischen steigender CO_2 -Konzentration und geminderter kognitiver Leistungsfähigkeit sowie Wohlbefinden und Gesundheit besteht. Die CO_2 -Konzentration der Raumluft bleibt deshalb unabhängig vom Infektionsschutz ein wichtiges Kriterium bezüglich der Bewertung der Innenraumluftqualität. Die Annahme, dass hocheffizient gefilterte Raumluft Frischluft ersetzen kann, ist aus diesem Grund nicht zu vertreten.

Mittels einer reinen Abluftanlage lassen sich zwar CO_2 -Grenzwerte einhalten, durch die fehlende Konditionierung der Zuluft erfolgt dies jedoch in vielen Fällen unter Einbußen der thermischen Behaglichkeit, genau wie bei natürlicher Belüftung. Der Luftwechsel bei natürlicher Lüftung ist generell ungewiss. Die für die Berechnungen genutzten Werte des personenspezifischen Volumenstroms beruhen auf reinen Annahmen. Je nach Raumgröße,

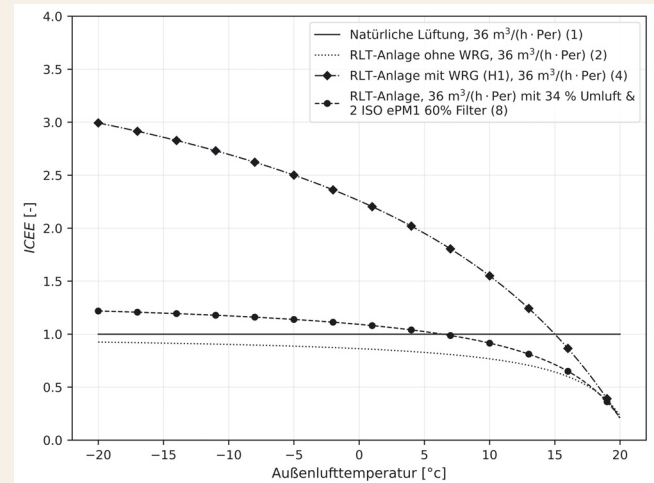


Bild 3: Abhängigkeit des ICEE-Index von der Außenlufttemperatur für die Referenzsituation eines natürlich belüfteten Raumes mit $14,4 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Per})$ personenbezogenem Zuluftvolumenstrom, dargestellt für die Maßnahmen 1,2,4 und 8. Grafik: HRI

Belegungsdichte und äußeren Randbedingungen kann dieser kleiner oder größer ausfallen. Eine Möglichkeit, den personenspezifischen Frischluftvolumenstrom abzuschätzen, ist die Erfassung der CO_2 -Konzentration im Raum und wird aus diesem Grund stets empfohlen. Somit kann eine individuelle Referenzsituation ermittelt und entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden. Auch wenn mittels Fensterlüftung eine ausreichende Frischluftversorgung erfolgen kann, ist die Behaglichkeit bei ungünstigen Randbedingungen ebenfalls negativ beeinflusst [11], [12]. Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft, WRG, Heiz- und Kühlmöglichkeiten können hingegen unabhängig von den äußeren Randbedingungen die thermische Behaglichkeit gewährleisten. Darüber hinaus führt insbesondere im Winterhalbjahr der Einsatz von RLT-Anlagen mit WRG zu hohen ICEE-Zahlen, da sowohl der Infektionsschutz gewährleistet als auch der Energieeinsatz gering ist im Vergleich zur Verwendung natürlicher Lüftung (siehe Bild 2).

Insgesamt zeigen die hier genannten Ergebnisse, dass RLT-Anlagen mit WRG als lüftungstechnische Maßnahmen gut geeignet sind, Infektionsschutz energieeffizient zu gestalten und hohen Komfortansprüchen gerecht zu werden. Zusätzlich kann durch die Nutzung von Qualluftsystemen die Lüftungswirksamkeit und dadurch der Infektionsschutz gegenüber Mischluftsystemen verbessert werden. Allerdings ist die Lüftungswirksamkeit abhängig von thermischen und strömungstechnischen Randbedingungen, sodass die Verbesserung kleiner oder auch größer als angenommen ausfallen kann. Die Randbedingungen sollten deshalb vor der Nutzung einer Qualluftanlage stets geprüft werden. In der Regel wird die Lüftungswirksamkeit bezüglich vom Menschen emittierter Lasten jedoch nicht schlechter als bei Mischlüftung. Generell erhöht sich beim Quallüftungsprinzip die Lüftungswirksamkeit mit steigendem Frischluftvolumenstrom, sodass sich Qualluftsysteme vor allem bei hohen Schutzanforderungen eignen.

Da RLT-Anlagen mit Zu- und Abluft mit WRG gegenüber Anlagen ohne WRG nur in geringem Maße kostenintensiver sind, wird eine Investition in den Einbau von WRG in den meisten Fällen empfohlen [13],[14] und ist nach Ökodesign ErP-Richtlinie der EU (1253/2014) auch zwingend gefordert [5],[15]. Die Kombination von lüftungstechnischen und nichttechnischen Maßnahmen (zum Beispiel das Tragen von Masken,

Reduktion der Aufenthaltszeit/Belegungsdichte) sollte immer in Betracht gezogen werden, da sie zu einer Verbesserung des Infektionsschutzes führen und der Energiebedarf hierbei nicht oder nur geringfügig erhöht wird. Nichttechnische Maßnahmen sind zudem ohne kostenintensive Investitionen umsetzbar.

Bei der analytischen Energiebedarfsberechnung handelt es sich um überschlägige durchschnittliche Energiemengen, welche als Jahresdurchschnitt zu verstehen sind, indem die Jahresdurchschnittstemperatur der Außenluft verwendet wurde. Bei den Lüftungswärmeverlusten besteht eine Abhängigkeit zur Außenlufttemperatur, wie in Bild 2 zu sehen. Die Berücksichtigung dieser Abhängigkeit würden Systemsimulationen ermöglichen. Durch Systemsimulationen werden individuelle Randbedingungen und der dynamische Jahresverlauf betrachtet. Eine exaktere Ermittlung der Kennzahl durch Systemsimulationen, welche zusätzlich den Kühlenergiebedarf und variierende interne Wärmelasten und Belegungsverhalten berücksichtigen können, ist möglich und sinnvoll. Damit kann eine genauere Jahres-ICEE-Zahl ermittelt werden und als Bewertungsgröße dienen.

Insgesamt bietet die Kennzahl ICEE eine gute Möglichkeit, Berechnungen zu geplanten Maßnahmen gegenüber einem Referenzfall vorzunehmen. Der Referenzfall kann auf den tatsächlich vorhandenen Lüftungsfall angepasst werden. Hierdurch erhält man einen Überblick, welche Änderungen im Lüftungskonzept eine energieeffiziente Verbesserung des Infektionsschutzes herbeiführen. Die Kennzahl gewichtet in der aktuellen Form den Infektionsschutz und den Energiebedarf gleichwertig. In weiteren Untersuchungen soll eine situationsbedingte Gewichtung analysiert werden. Dabei fließen epidemiologische Informationen, wie Inzidenzzahlen und generelle virusspezifische Faktoren, mit ein. ■

DANKSAGUNG

Das Projekt „MinInfekt: Notwendige Luftmengen zur Minderung des Infektionsrisikos über Aerosole effektiv und energieeffizient bereitstellen“ (Förderkennzeichen: 03EN1038) wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). Die Autoren sind für den Inhalt des Beitrags verantwortlich.

LITERATUR

- [1] DIN EN 16798-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumlufthausqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Modul M1-6; Deutsche Fassung EN 16798-1:2019, Beuth Verlag, Berlin 4/2021, doi: 10.31030/2588215.
- [2] World Health Organization: Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19. Geneva: World Health Organization, 2021, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/339857>, zuletzt zugegriffen am 2. Dezember 2022.
- [3] DIN EN 13053: Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumlufthaus technische Geräte – Leistungskennzahlen für Geräte, Komponenten und Baueinheiten, Deutsche Fassung EN 13053:2019, Beuth Verlag, Berlin 5/2020, doi: 10.31030/2872045.
- [4] Kaup, C.: Bewertung der Wärmerückgewinnung mit raumlufthaus technischen Geräten in Schulen und vergleichbaren Räumen versus Fensterlüftung, HLH Bd. 73 (2022) Nr. 01-02, VDI Fachmedien GmbH, Düsseldorf.
- [5] Europäische Union: Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen, Brüssel 2014.
- [6] Merzkirch, A.; Maas, S.; Scholzen, F.; Waldmann, D.: Field tests of centralized and decentralized ventilation units in residential buildings – Specific fan power, heat recovery efficiency, shortcuts and volume flow unbalances, Energy and Buildings, Bd. 116, S. 376–383, März 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.12.008.
- [7] Rietschel, H.: Raumlufthaus- und Raumlufthaus kühntechnik, 16. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage in Raumlufthaus technik / Hermann Rietschel. Hrsg. von Horst Esdorn, No. 2. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2008.
- [8] Hartmann, A.; Lange, J.; Schumann, L.; Kriegel, M.; Swiderek, M.; Kaup, C.: Feinfilterkombinationen in RLT-Anlagen – Wie Feinfilter Aerosolpartikel effizient abscheiden, verfügbar unter: https://www.umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/User/CKaup/2021_03_TAB.pdf, 2/2021.
- [9] Umweltbundesamt: Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumlufthaus: Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthaus hygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden, Bundesgesundheitsblatt, Bd. 51, Nr. 11, S. 1358–1369, 11/2008, doi: 10.1007/s00103-008-0707-2.
- [10] Satish, U. u. a.: Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance, Environ Health Perspect, Bd. 120, Nr. 12, S. 1671–1677, 12/2012, doi: 10.1289/ehp.1104789.
- [11] Wildeboer, J.; Fitzner, K.; Müller, D.: Einsatzgrenzen der freien Lüftung, HLH Bd. 57 (2006) Nr. 6 und 7, Springer-VDI-Verlag.
- [12] Wildeboer, J.: Thermische Behaglichkeit und Lüftungseffektivität mit freier Lüftung, Dissertation, TU Berlin, 2007.
- [13] Kremer, M. T.; Rewitz, K.; Müller, D.: Bewertung der Wärmerückgewinnung für die maschinelle Belüftung von Klassenräumen mittels dynamischer Simulationsmodelle, RWTH Aachen University, 2022, doi: 10.18154/RWTH-2022-01613.
- [14] Kaup, C.: Die mehrdimensionale Optimierung von Wärmerückgewinnungssystemen – Einfluss der Änderung von Rahmenbedingungen, HLH Bd. 68 (2017) Nr. 11, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [15] Kaup, C.: Die neue Verordnung zur Ökodesign-Richtlinie der EU, HLH Bd. 66 (2015) Nr. 01, Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf.



**Ruben Makris,
M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Hermann-Rietschel-Institut der
Technischen Universität Berlin.
Foto: Makris



**Claudia Kopic,
M.Sc.**

ist wissenschaftliche Mitarbeiterin
am Hermann-Rietschel-Institut der
Technischen Universität Berlin.
Foto: HRI



**Lukas Schumann,
M.Sc.**

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter
am Hermann-Rietschel-Institut der
Technischen Universität Berlin.
Foto: Schumann



**Prof. Dr.-Ing.
Martin Kriegel**

ist Leiter des Hermann-Rietschel-Instituts
der Technischen Universität Berlin.
Foto: HRI

Alle
auch als
E-Paper



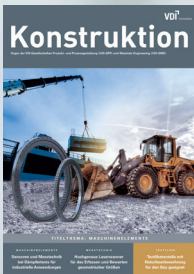
10 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 539,40 EUR
E-Paper-Abo: 463,40 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 487,40 EUR
E-Paper-Abo: 418,70 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 255,30 EUR
E-Paper-Abo: 219,20 EUR



9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 576,40 EUR
E-Paper-Abo: 495,10 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 281,80 EUR
E-Paper-Abo: 242,10 EUR

**Die erste
Adresse für
Technikwissen:
VDI Fachmedien**



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 286,40 EUR
E-Paper-Abo: 246,10 EUR



6 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 366,10 EUR
E-Paper-Abo: 314,60 EUR

NEU



Jetzt
mit
Logistik

9 Ausgaben pro Jahr
Jahresabopreis: 306,10 EUR
E-Paper-Abo: 262,90 EUR

Die VDI Fachmedien bieten Ihnen eine breite Palette renommierter Fachzeitschriften aus den Bereichen **Bau, Konstruktion/Produktion, Logistik, Energie und Umwelt**. In direkter Anbindung an den VDI, das größte technisch-wissenschaftliche Netzwerk für Ingenieur*innen Deutschlands. Unsere Autor*innen berichten über Innovationen und Hintergrundwissen in ihrem jeweiligen Fachgebiet. Und das jederzeit praxisorientiert, ohne den wissenschaftlichen Background aus dem Blick zu verlieren.



Technikwissen für Ingenieur*innen – jetzt auswählen und bestellen:

T +49 6123 9238-202

E vdi-fachmedien@vusevice.de

vdi-fachmedien.de

Inlandsbruttopreise – Ausland auf Anfrage



Über 2000 Ausstellende zeigen in Frankfurt Neuheiten aus den Bereichen Licht und Gebäudetechnik. Foto: Messe Frankfurt Exhibition GmbH/Jochen Günther



Auch das Thema E-Mobilität wird präsent sein. Foto: Messe Frankfurt Exhibition GmbH/Jochen Günther

Vorbericht

Back to business

Im Veranstaltungskalender 2024 hat ein Klassiker an seinen angestammten Platz zurückgefunden: Nach einer einmaligen „Autumn-Edition“ bildet die Light+Building den Auftakt für ein Messejahr in „altem“ Turnus. Vom 3. bis 8. März heißt es rund um den Frankfurter Messturm: „Be electrified“.

In den letzten Wochen vor dem Start der Light + Building Autumn Edition stiegen die Anmeldezahlen nochmals deutlich an: Über 1 500 Ausstellende aus 46 Ländern nutzten die Sonderversion der internationalen Leitmesse im Oktober 2022, um ihre Innovationen einem breiten Fachpublikum endlich wieder live präsentieren zu können. Rund sechs Monate vor dem diesjährigen Messestart wurden diese Zahlen bereits übertroffen: Schon mehr als 2 000 Ausstellende waren im September 2023 für die turnusmäßige Neuauflage angemeldet. Messe und Teilnehmende hoffen auf eine erfolgreiche Rückkehr der Weltleitmesse. Zu den ausstellenden Unternehmen aus dem In- und Ausland zählen auch zahlreiche

Marktführer, die ihre Neuheiten für Licht, Elektro- und Sicherheitstechnik sowie für die Haus- und Gebäudeautomation einem breiten Fachpublikum vorstellen möchten.

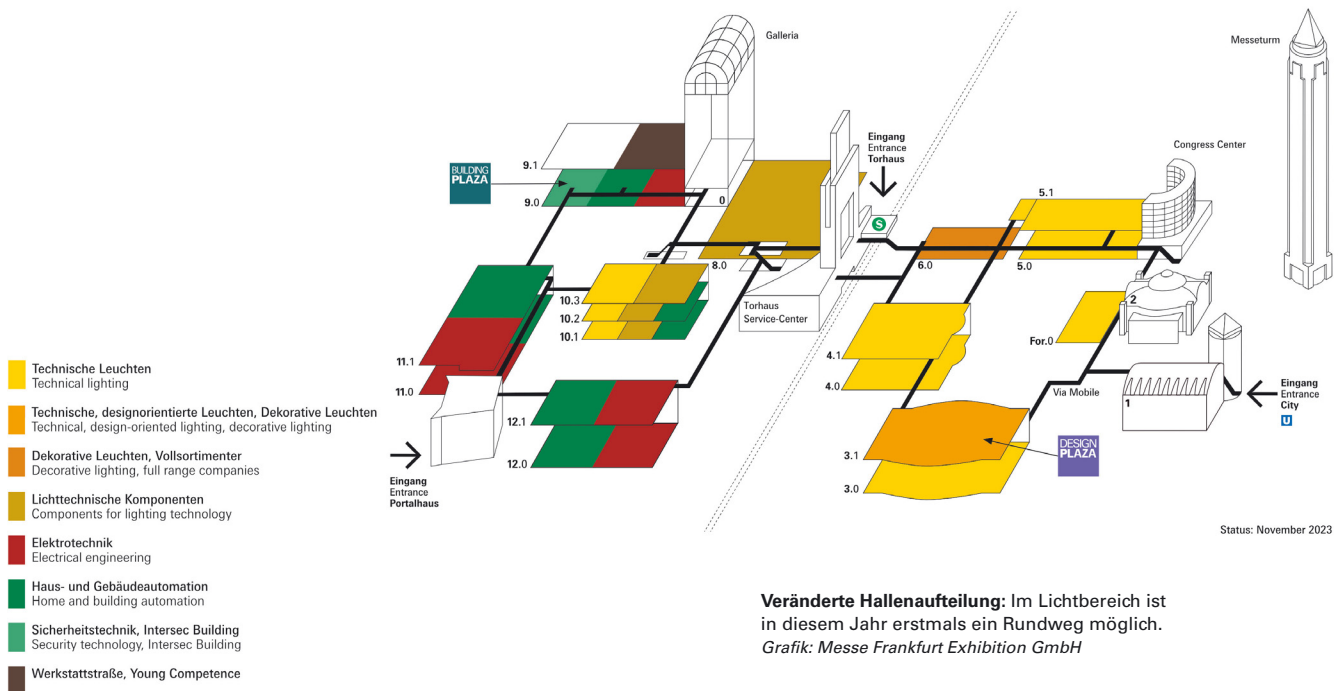
Fremde und Bekannte

Zu den am stärksten vertretenen Nationen gehören neben Deutschland Italien, die Türkei, Spanien, Polen, die Niederlande, Großbritannien, Frankreich, Belgien, Griechenland und China. „Sowohl auf der Licht- als auch auf der Building-Seite verzeichnen wir sehr starkes Interesse 2024 wieder dabei zu sein. Wir freuen uns über die vielen Wiederbucher der vergangenen Veranstaltung aber auch über wiederkehrende Aussteller, die die Light+Building

zu dem einzigartigen und internationalen Branchenhight für Licht und Gebäudetechnik machen“, so Johannes Möller, Leiter Brandmanagement Light + Building. Zudem führt Möller aus: „Es gibt einige Veränderungen am Messegelände, die uns bei der Planung neue Möglichkeiten eröffnet haben.“

Intelligente Gebäudetechnik

Nachhaltige Häuser und Gebäude nutzen zukünftig regenerative Energiequellen, haben ein effizientes und wirtschaftliches Energiemanagement und bieten gleichzeitig Komfort und Sicherheit. Die Basis dafür legt die elektrotechnische Infrastruktur. Sie ist die Voraussetzung für Haus-



und Gebäudeautomation, Energiespeicherung und -management, den Anschluss von Photovoltaikanlagen und Ladestationen sowie strombasierte Wärmethemen. Die neuesten Produkte, Technologien und Trends für Elektrotechnik sowie die Haus- und Gebäudeautomation stehen in den Hallen 9, 11 und 12 im Fokus. Zahlreiche Keyplayer der Branche sind mit dabei. Dazu gehören in Halle 12.0: ABB, ABL, Bals, Bosch Thermotechnik, Busch-Jaeger, Dehn SE, Kaiser, Niedax, SMA, Stiebel Eltron, Theben, Viessmann und Warema. Eine Etage höher, in Halle 12.1, sind unter anderem Doepke, Fränkische Rohrwerke, Hager, Mennekens, Hensel, OBO Bettermann und PCE vertreten.

Das umfassende Angebot der Elektrotechnik sowie der Haus- und Gebäudeautomation setzt sich in Halle 11.0 mit Beckhoff, Phoenix Contact, Rittal, Siemens, Wago, Weidmüller und Wöhner fort. In Halle 11.1 sind Gira, Jung, Legrand, MDT, Schneider Electric und Siedle präsent.

Auch der Bereich Sicherheitstechnik mit dem Branding 'Intersec Building' konnte weiter ausgebaut werden. Dieser ist in Halle 9.0 zu finden. Dort zeigen unter anderem Abus, BKS, Dom, Gretsch Unitas, Grothe und Winkhaus Lösungen für vernetzte Sicherheitstechnik im Gebäude. Außerdem setzt sich in Halle 9.0 das Angebot rund um Elektrotechnik, Haus- und Gebäudetechnik fort. Hier gehören Bacnet, EnOcean, frogblue, Loytec,

Megger, Thermokon und Woertz zu den Ausstellenden.

Licht mit neuer Struktur

Im Bereich der Lichtlösungen setzt man in diesem Jahr auf eine optimierte Planung: Möglich macht die veränderte Struktur die Einbeziehung der neuen Halle 5 mit zwei modernen Hallenebenen, die Aussteller der Light+Building erstmals nutzen können. Dadurch entsteht im Ostgelände ein neuer Rundlauf über die Via Mobile von den Hallen 5 und 6 über das Forum, bis hin zu Halle 3 und Halle 4.

Die Marktführer aus dem Angebotsbereich 'technisches Licht' sind in Halle 3.0, Halle 5 und im Forum zu finden. Hier zeigen unter anderem Bega, Brumberg, Glamox, iGuzzini, Leds C4, Ledvance, Lichtwerk, Molto Luce, Normagrup, Regiolux, Ridi, RZB, Simes, Thorn, Tridonic, Trilux, XAL sowie Zumtobel ihre Neuheiten.

In Halle 3.1 liegt der Fokus auf dekorativem und technisch, designorientiertem Licht. Hier präsentieren sich beispielsweise Artemide, Delta Light, 3F Filippi, Linea Light, Marinelli Luce, Prolicht und Targetti. Urbane Beleuchtung für Straßen und öffentliche Plätze zeigen in Halle 4.0 unter anderen AEC Illuminazione, Benito Urban, Carandini, Eclatec, Fonroche, Leipziger Leuchten, Metalgalva, Ragni und Valmont. Eine Ebene höher, in Halle 4.1, stehen neben Beleuchtung für In-

dustrie- und Sonderanwendungen, Shop- und Theaterbeleuchtung sowie Not- und Sicherheitsbeleuchtung im Mittelpunkt. Dort gehören zu den Ausstellern Barthelme, Deko Light, Eaton, Inotec, Nobile, Opplé, Robus, Rutec, Radium, RP Group und SG Armaturen.

Im Westgelände setzt sich das Lichtangebot fort und nimmt erstmals die komplette Halle 8 ein. Hier stehen lichttechnische Komponenten, Lichtquellen und Lichtsteuerung im Mittelpunkt. Die Neuheiten präsentieren hier unter anderem Bender + Wirth, BJB, Nichia, Osram, Seoul Semiconductor, TCI, Vossloh-Schwabe und Wago. Die Hallen 10.1 und 10.2 stehen im Zeichen der asiatischen Lichthersteller mit dem Bereich Asia-Selection. ■

www.light-building.messefrankfurt.com

MESSEBESUCH

Die Light+Building öffnet an allen Messetagen um 9 Uhr ihre Türen. Veranstaltungsende ist von Sonntag bis Donnerstag jeweils um 18 Uhr, am Freitag schließt die Messe bereits um 17 Uhr.

Eintrittspreise:

Tageskarte 37 Euro (Vorverkauf: 33 Euro),
Tageskarte ermäßigt: 21 Euro,
Dauerkarte: 69 Euro (Vorverkauf: 61 Euro).

Wer sich für den Info-Service der Messe Frankfurt registriert, erhält auf sein Ticket einen Rabatt von 33 Prozent.

Onlinetickets unter tickets.messefrankfurt.com

Premiere auf der Light+Building

Der Messestand als BIM-Präsentation

Erstmals mit einem eigenen Stand auf der Light+Building vertreten sein wird der Bundesindustrieverband Technische Gebäudeausrüstung e.V. (BTGA). „Der Verband trägt damit der immer größeren Rolle des Bereichs ‚Elektrotechnik‘ in der Gebäudetechnik Rechnung“, erläutert BTGA-Hauptgeschäftsführer Frank Ernst. „Die Zusammenarbeit der technischen Gewerke im Gebäudebereich wird immer wichtiger und die elektrotechnischen und mechanischen Systeme wachsen immer mehr zusammen“, so Ernst.

Ein Schwerpunkt des BTGA-Messeauftritts wird eine mehrdimensionale BIM-Präsentation sein. Diese ermöglicht allen Beteiligten, ihre Entwürfe in einer immersiven und realitätsnahen Umgebung zu prüfen, Design-Entscheidungen zu treffen und das Bauvorhaben aus verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Der Messeauftritt wird hier selbst zum BIM-Modell, sodass Besuche die Vorteile der digitalen Planungsmethode für den Gebäudebetrieb live entdecken können. Der BTGA bietet an seinem Messestand zudem eine Plattform für Fachvorträge mit Diskussionen, in denen Fachleute aus der Branche aktuelle Entwicklungen, Herausforderungen und Best-Practice-Beispiele präsentieren.

Am Donnerstag, 7. März 2024, wird der BTGA zudem in Halle 12.1 auf dem Technologieforum des Zentralverbands Elek-



Building Information Modeling soll am Stand des BTGA praktisch erfahrbar werden. Grafik: Messe Frankfurt

trochnik- und Elektronikindustrie (ZVEI) vertreten sein: Der Fokus der angebotenen Vorträge und Diskussionsrunden wird auch hier auf der Elektrifizierung und Digitalisierung des Gebäudesektors liegen.

MESSEBESUCH

Der BTGA auf der Light+Building: Halle 11, Ebene 1, Stand B.02

Zukunftsthemen im Blick

Fränkische stellt in Frankfurt Systemlösungen für die Megatrends Mobilitätswende, Energiewende und Digitalisierung in den Fokus seines Messeauftritts. Zu sehen sind unter anderem Elektromobilitätslösungen für eine sichere Lade- und Leitungsinfrastruktur; Leerrohre, die für alle Anforderungen an den Kabelschutz von Photovoltaik-Anlagen ausgelegt sind sowie gas- und druckwasserdichte Haus- und Gebäudeeinführungen für Starkstrom-, Fernmelde-, TV- oder Datenkabel. Außerdem dabei: Kabelschutzlösungen für Bestandsbauten, um eine Wärmepumpe, Fassadendämmung, zusätzliche Leitungen für Strom und Daten, eine Photovoltaik-Anlage oder eine Wallbox fürs Elektroauto zu etablieren.

Fränkische auf der Light+Building: Halle 12.1, Stand B.44
www.fraenkische.com



Das Kabu-FESH Set Elektro B führt Starkstrom-, Fernmelde-, TV- oder Datenkabel normkonform in Gebäude ohne Keller ein. Foto: Fränkische



Überspannungsschutzlösung für die 60 mm-Sammelschiene der ProTec 60. Foto: Raycap

Überspannungsschutz für das ganze Gebäude

Ein breites Portfolio an Lösungen für den Überspannungsschutz präsentiert Raycap an seinem Messestand. Zu sehen sind unter anderem neue Komponenten für die 60 mm-Sammelschiene. Der kompakte ProTec 60 wird per Plug & Play auf die 60 mm-Sammelschiene aufgerastet; eine 180 Grad-Drehbarkeit auf der Schiene ermöglicht kürzere Verbindungswege zum Potenzialausgleich beziehungsweise N/PE-Verbindungen. Um auch kleine, private AC-Ladestationen oder Wallboxes, die nicht bereits über den Hausanschluss ausreichend vor Überspannungsschäden geschützt sind, zu sichern, hat Raycap zudem den ProBloc EV T2 V entwickelt. Die Typ 2+3-Überspannungsschutzkomponente findet Dank ihrer kompakten Bauweise mit einer Breite von 35 Millimetern auch in kleinen Ladestationen Platz.

Raycap auf der Light+Building: Halle 12.0, Stand B.64
www.raycap.de

Besuch in Begleitung

Die Deutsche Gesellschaft für wirtschaftliche Zusammenarbeit (DGWZ) bietet an allen Messtagen fachlich moderierte Messerundgänge für Fachplaner, Architekten, Ingenieure, Gebäudebetreiber und Mitarbeitende aus Planungsabteilungen und Behörden an. Die Rundgänge geben in zwei Stunden einen kompakten Überblick über die weltgrößte Messe für Licht und Gebäudetechnik.

In Kleingruppen, die mit professioneller Audiotechnik ausgestattet sind, geht es zu den Ständen von acht bis zehn Ausstellern. Hier präsentieren Fach- und Führungskräfte Produktneuheiten, Innovationen, Technologien und Designs, die unter planerischen und technischen Gesichtspunkten besonders interessant sind.

Die Teilnahme an den Rundgängen ist kostenlos. Darin enthalten sind eine Eintrittskarte für den Tagesbesuch und ein Planerhandbuch mit den Höhepunkten und Ansprechpartnern der Aussteller. Im Anschluss an die Messe erhalten die Teilnehmenden die Informationen der besuchten Aussteller zugeschickt. Die Anzahl der Plätze ist begrenzt. Die Anmeldung erfolgt über die Website www.dgwz.de/light-building



Die DGWZ bietet auf der Light+Building geführte Messerundgänge für Planende an. Foto: DGWZ

Entrauchungs- und Brandschutzklappen-Komplettsystem

Brandschutz braucht Sicherheit. rigento schafft Sicherheit.

Rauchgase zu beherrschen ist die Aufgabe von Entrauchungs- und Brandschutzklappensystemen. Beide Systeme helfen bei der Bekämpfung von Feuer und Rauchgas schon bevor die Feuerwehr eintrifft und unterstützen die Einsatzkräfte bei ihren Lösch- und Evakuierungsarbeiten. Mit den Komplettsystemen von **rigento** sind Sie immer auf der sicheren Seite:

- TÜV-geprüft bis SIL3. Geringerer Aufwand bei der Systemabnahme.
- **Innovative rigentoAPP.** Einfache, komfortable und schnelle Inbetriebnahme, Wartung und Diagnose.
- **Flexible Brandfallsteuermatrix.** Kein Programmieren, nur Parametrieren.
- **Sicherheits-Ringbussystem.** Signifikante Reduktion der Kabelstränge und -längen.



www.rigento.de

rigento rentiert sich! Für Bauherren, Fachplaner, Systemintegratoren und Betreiber. Sprechen Sie uns an.

rigento

INNOVATIVE BRANDSCHUTZTECHNIK



light+building

03. - 08.03.2024 Frankfurt am Main

Besuchen Sie uns in Halle 9.0, Stand D20

Teil 2: Auseinandersetzung mit der Energiebilanz an der Geländeoberkante des ungestörten Erdreichs

Auswertung standardisierter mikrometeorologischer Daten der ICOS-Station Grillenburg mit Ausführungen für die Erdwärmennutzung

Oberflächennahe Geothermie ist eine der möglichen Technologien für eine erfolgreiche Wärmewende. Die Auslegung dieser Anlagen erfolgt anhand von Entzugsleistungen, die so bemessen sind, dass sich der Boden in den Sommermonaten regenerieren kann. Der vorliegende Beitrag beleuchtet die Zusammenhänge zwischen Solarstrahlung, Außenluft, Geländeoberkante und Erdreich. Diese Schnittstelle wird bisher in verschiedenen Fachdisziplinen kaum beachtet. Anhand der in Teil 1 dieses Beitrags diskutierten Messwerte der ICOS-Station Grillenburg zeigt sich, dass die im ungestörten Erdreich aufgenommene Jahresenergiemenge deutlich weniger als ein Prozent der jährlichen Nettostrahlung beträgt. Im folgenden, zweiten Teil dieses Beitrags werden einige bekannte Einflussfaktoren auf die Energiebilanz an der Geländeoberkante diskutiert und deren mögliche Auswirkungen erörtert.

TEXT: Dr.-Ing. André Schlott, Dr.-Ing. Siegfried Schlott, Professor Dr. rer. nat. Matthias Mauder und Dr. rer. nat. Thomas Grünwald

Geotechnik ist ein Oberbegriff, der Aspekte unterschiedlicher bautechnischer Einzeldisziplinen wie Erd- und Grundbau, Bodenmechanik, Fundamentstechnik, Grundwasser-Hydraulik, Felsmechanik, Fels- und Tunnelbau, Bergbau, Hohlraumbau und Spezialtiefbau umfasst.

Den meisten in der Geotechnik tätigen Ingenieuren ist bekannt, dass aus dem Baugrund mehr oder weniger starke Risiken resultieren, die nie ausgeschlossen werden können. Zur Quantifizierung ist eine umfangreiche und hochwertige geotechnischen Begutachtung notwendig. Demnach ist es unerlässlich, dass der Umfang des durchgeführten Aufschluss- und Laborprogramms auf die geplante Baumaßnahme ausgerichtet wird. Die hieraus

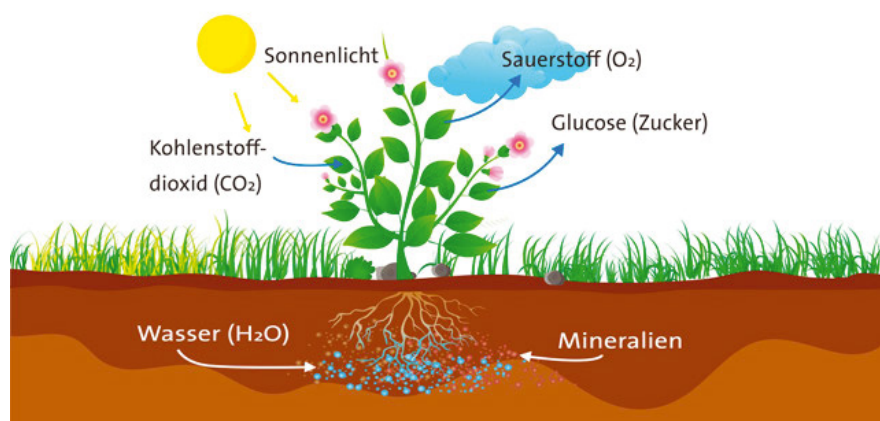


Bild 1: Schematisches Profil einer Geländeoberkante (GOK) mit Bewuchs inklusive der Umsetzung organischer Substanzen. *Quelle: [1]*

resultierenden Erkenntnisse müssen durch fachkundige Personen umfassend aufbereitet und bewertet werden. Im Kontext der Planung eines Bauwerkes oder

einer größeren Baumaßnahme wird die Erkundung der Baugrundverhältnisse als Teil der Geotechnik als sogenannte Grundlagendisziplin verstanden. Damit ist

der geotechnische Bericht die Grundlage für die fachgerechte Planung und muss vollständig vorhanden sein, damit die detaillierte Gebäudeplanung zuverlässig darauf aufbauen kann.

Leider ist diese gründliche und detaillierte Vorgehensweise bei der Planung von Anlagen zur Erdwärmennutzung beziehungsweise nur ungenügend etabliert. Diese Abläufe in Planungsprozesse oberflächenaktiver Erdwärmennutzung fachgerecht einzubinden, ist eine erste große Herausforderung, die von Ingenieurinnen und Ingenieuren gelöst werden muss. Belastbare geotechnische Erkenntnisse müssen allen an der Baumaßnahme Beteiligten zwingend zu Beginn der Planung vorliegen.

Merkmale einer Geländeoberkante

Die natürliche (anthropogene) Landoberfläche wird in den Geowissenschaften als Geländeoberkante (GOK) oder Geländeoberfläche bezeichnet und dient als Referenzfläche für Tiefenmaße. Der Abstand zwischen der Geländeoberkante und einer Höhenreferenzfläche ist eine Geländehöhe. Im hier betrachteten Sachverhalt ist die Geländeoberkante die natürliche obere Bezugsfläche einer oberflächenaktiven Erdwärmanlage.

Wie **Bild 1** schematisch zeigt, wachsen auf der Geländeoberkante mit unterschiedlichsten Pflanzen und Gräsern photoautotrophe Organismen, die alle benötigten, lebensnotwendigen Stoffe selbst herstellen können. Die dazu notwendige Energie gewinnen die Pflanzen aus Licht (Photosynthese). Der obere Rand der Vegetation wird als Bewuchsoberkante bezeichnet.

Der Bewuchs der Geländeoberkante kann stark variieren. **Bild 2** zeigt vier verschiedene Zustände von stark bewachsen bis vertrocknet. Der Bewuchs beeinflusst mit seiner Art und Dichte maßgeblich die Energieübertragung zwischen Erdreich und Atmosphäre. Das gilt insbesondere für den Anteil der solaren Beleuchtungsstärke, der die Geländeoberkante erreicht und damit direkt auf die Bewuchstemperatur sowie die Temperatur der Luft direkt oberhalb der Geländeoberkante wirkt.

Bild 3 zeigt wichtige Energie und Stoffströme an der Geländeoberkante. Eine Anpassung dieser Energiebilanz an die oberflächennahe Erdwärmennutzung ist in



Bild 2: Vergleich verschiedener Bewuchsdichten von Grünflächen. Oben links: Stark bewachsen, oben rechts: mittelhoch geschnitten, unten links: kurz geschnitten, unten rechts: vertrocknet.

Fotos: S. Schlott

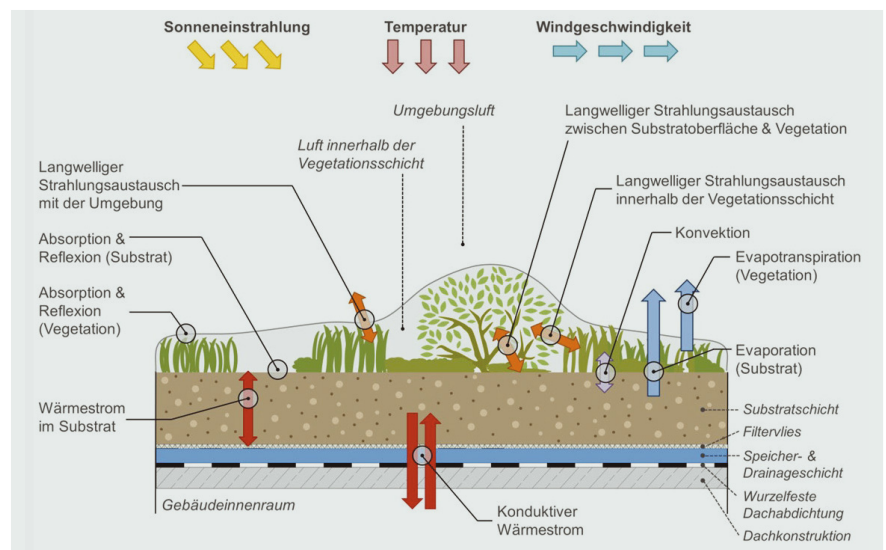


Bild 3: Wärme- und Stoffübertragung auf einer grünen Wiese mit Vegetation über einer Erdschicht. Quelle: [3]

[2] ausführlich erläutert und wird daher hier nicht weiter vertieft.

Bei allen nachfolgenden Ausführungen müssen die bisherigen Aussagen mit einbezogen werden. Ebenfalls ist festzustellen, dass alle im vorangegangenen Beitrag [4] und auch im Folgenden diskutierten Messdaten, die in [5] zur Verfügung gestellt wurden, auf das ungestörte Erdreich bezogen sind.

Im realen Betriebsfall einer oberflächenaktiven Erdwärmennutzung ist das Erdreich thermisch aktiviert und damit in seiner Temperatur und den daraus erwachsenden Wärmequellen verändert. Dabei wird das Erdreich, welches aufgefüllt

über den Erdwärmekollektoren liegt, als (anthropogenes) aktives Erdreich bezeichnet. Das ungestörte Erdreich, welches in direkter Umgebung der Kollektorgarbe angeordnet ist, wird als indirektes (mittelbar) aktives Erdreich bezeichnet. Erkenntnisse, bis zu welcher Entfernung vom Grubenrand der Erdwärmekollektoranlage sowie unterhalb der Grube das Erdreich als noch mittelbar beteiligt einbezogen werden kann, wird in der Fachliteratur und auch in der Wissenschaft noch diskutiert. Bisherige Erfahrungen empfehlen, einen Bereich mit den doppelten Längenabmessungen als mittelbar aktives Erdreich zu betrachten. □

Energiebilanz an der Geländeoberkante

Die Gesamtenergiebilanz an der Geländeoberkante ist dafür verantwortlich, ob sich die Erde erwärmt oder abkühlt. Wird in Summe weniger Energie an die Umwelt abgestrahlt als auf die Erde eintrifft, hat das eine Erwärmung der obersten Bodenschicht zur Folge. Eine negative Energiebilanz bewirkt eine Abkühlung. Je Region ergeben sich aber Unterschiede.

Einflussfaktoren wie Neigung der Erdachse, Verteilung der Wasserflächen, atmosphärische und ozeanische Zirkulation usw. werden im vorliegenden Fachbeitrag nicht besprochen. Weitere Informationen sind in [6] zu finden. Auch werden aktuelle Forschungsergebnisse hinsichtlich einer Umweltverschmutzung, der Zunahme klimawirksamer Gase in der Atmosphäre und eine mögliche stetige Temperaturerhöhung der Geländeoberfläche nicht berücksichtigt (anthropogener Effekt).

Strahlungsbilanz

Die Strahlungsbilanz beinhaltet sowohl die auf die Geländeoberkante auftreffende als auch den dort reflektierten beziehungsweise von dort abgegebenen Strahlungsenergiestrom. Das beinhaltet die kurzwellige Globalstrahlung $\dot{K}W_{in}$ und die Reflexstrahlung $\dot{K}W_{out}$ als deren reflektierten Anteil. Dazu kommt die von der Geländeoberkante abgegebene langwellige Wärmestrahlung $\dot{L}W_{out}$ und deren von den Wolken wieder zurückgestrahlter Anteil, die langwellige Gegenstrahlung $\dot{L}W_{in}$. Alle vier Strahlungsenergieflüsse bilden die Strahlungsbilanz \dot{R}_n oder auch Nettostrahlung genannt.

Das Verhältnis der kurzwelligen reflektierten Strahlung ($\dot{K}W_{out}$) zur einfallenden Strahlung ($\dot{K}W_{in}$) wird als Albedo a bezeichnet. Die Albedo ist damit ein Maß, wie viel Sonnenstrahlung ein Körper reflektiert. Helle Oberflächen (zum Beispiel Schnee) haben eine größere Albedo. Für frisch gefallenen Schnee wird eine Albedo von bis zu 95 Prozent als die höchstmögliche Albedo angegeben. Bei länger andauernden Schneelagen kann die Albedo deutlich niedriger liegen (rund 40 Prozent). Diese Minderung kann auch durch Schneeverdichtung oder durch Staub- oder Schadstoffablagerungen

bewirkt werden. Weitere Ausführungen sind in [7] zu finden. Mit Hilfe der Albedo kann die kurzwellige Reflexstrahlung gemäß

$$\dot{K}W_{out} = a \cdot \dot{K}W_{in} \quad (1)$$

berechnet werden. Die langwellige Wärmestrahlung $\dot{L}W_{out}$ wird vom Emissionsgrad ε der Geländeoberkante und deren Temperatur t_{GOK} bestimmt. Die Berechnung erfolgt nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz mit Hilfe der Boltzmann-Konstante $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ gemäß

$$\dot{L}W_{out} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (t_{GOK} + 273,15 \text{ K})^4 \quad (2)$$

Dunkle Oberflächen, wie zum Beispiel Asphalt haben mit etwa 0,97 einen hohen Emissionsgrad während hellere Flächen, wie zum Beispiel Sand, mit 0,6 einen geringeren Emissionsgrad aufweisen. Je glatter die Oberfläche, desto geringer der Emissionsgrad. Zum Vergleich liegt der Emissionsgrad einer polierten Kupferoberfläche bei etwa 0,01 [8].

Mit der Energie, die die Bewuchsoberkante durchdringt, wird die Photosynthese der Vegetation versorgt. Bei dem Prozess der Photosynthese wird kurzwellige Sonnenstrahlung in chemische Energie umgewandelt. Es ist damit anzunehmen, dass die Energiemenge, die die Geländeoberkante erreicht, weiter reduziert ist.

Latenter Wärmestrom

Ein latenter Wärmestrom transportiert Wärme durch Wasserdampf. Dabei nimmt er Energie durch Verdunstung auf und setzt sie durch Kondensation frei. Ein latenter Wärmestrom in Form der Verdunstung entsteht, wenn zum Beispiel eine Sonneneinstrahlung auf Wasser, feuchtes Grasland, Wasserlachen oder Ähnliches trifft. Es entsteht Wasserdampf, welcher in die Atmosphäre eingeht. Ein latenter Wärmestrom aus Kondensation entsteht, wenn Feuchtigkeit aus der Luft an der Vegetation kondensiert (Tau). In erster Näherung wird die transportierte Energiemenge der Geländeoberkante zugeschlagen. Ein Einfluss auf die Lufttemperatur innerhalb der Vegetationsschicht kann aber nicht ausgeschlossen werden. Die für den latenten Wärmestrom benötigte Energie steht nicht dem fühlbaren Wärmestrom zur Verfügung.

Fühlbarer Wärmestrom

Der fühlbare Wärmestrom ist die durch konvektive Wärmeübertragung von der Oberfläche in die Atmosphäre übertragene Energie, die messbar die Lufttemperatur verändert. Kommen Sonnenstrahlen auf der nassen Geländeoberkante an, dann wird diese Strahlung zunächst an der Oberfläche absorbiert und es entstehen ein fühlbarer (sensibler) Wärmestrom, der die Temperaturen ansteigen lässt und die Luft erhitzt, sowie ein latenter (verborgener) Wärmestrom, der die Verdunstung des Wassers ermöglicht. Fühlbare und latente Wärmeflüsse bedingen sich damit. Das Verhältnis wird als Bowen-Ratio bezeichnet.

Resultierende Energiebilanz

Durch die Bilanzierung aller an der Geländeoberkante wirkenden Energieflüsse erhält man die resultierende Energiebilanz. Dabei werden die Strahlungsbilanz, der latente und der fühlbare Wärmestrom miteinander bilanziert. In einer idealen Welt würde das Ergebnis der resultierenden Energiebilanz dem Bodenwärmestrom entsprechen. Das hier teils enorme Abweichungen auftreten, wurde bereits in Teil 1 dieses Beitrags [4] anhand der Jahresenergiemengen von resultierender Energiebilanz und der gemessenen Bodenwärmemenge dargestellt.

Gegenüberstellung von Strahlungsbilanz, resultierender Energiebilanz und Bodenwärmebilanz

Die messtechnische Bestimmung des latenten und fühlbaren Wärmestromes ist nur mit relativ hohem Aufwand möglich. Die auf die Geländeoberkante treffenden Strahlungsenergieflüsse ($\dot{K}W_{in}$ und $\dot{L}W_{in}$) werden jedoch an vielen Stationen in Deutschland gemessen und sind im OpenData Portal des Deutschen Wetterdienstes jedem frei zugänglich [10]. Um die Strahlungsbilanz zu bilden sind die Reflexionsstrahlung $\dot{K}W_{out}$ und die von der Geländeoberkante abgestrahlte Wärmestrahlung wie oben dargestellt zu berechnen.

Es liegt nahe, mit der verhältnismäßig einfach zu ermittelnden Strahlungsbilanz auf den Bodenwärmestrom zu schließen und den latenten und fühlbaren Wärmestrom zu vernachlässigen. Die entsprechend höhere Schwankungsbreite des

Bodenwärmestromes ist möglicherweise akzeptabel. Im **Bild 4** wird deutlich, dass bei der Differenz zwischen der jährlichen Strahlungsenergiebilanz und der Bodenwärmemenge enorme Unterschiede auftreten. In absoluten Zahlen beträgt die Bodenwärmemenge in allen betrachteten Jahren (2015 bis 2022) weniger als ein Prozent der Strahlungsenergiebilanz. Im Extremfall des Jahres 2021 sogar weniger als 0,1 Prozent.

In Bild 4 ist weiterhin zu erkennen, dass ein signifikanter Unterschied zwischen Strahlungsenergiebilanz und der unter Einbeziehung von latenten und fühlbarem Wärmestrom ermittelten resultierenden Energiebilanz vorliegt. Die resultierende Energiebilanz beträgt in den Jahren 2015 bis 2022 zwischen 16,2 Prozent (2020) und 6,7 Prozent (2021) der Strahlungsenergiebilanz. Zahlenwerte und weitere Ausführungen sind in Teil 1 dieses Fachbeitrags enthalten [4].

Residuum der Energiebilanz an der Erdoberfläche

In Bild 4 ist zu sehen, dass die resultierende Energiebilanz deutlich größer ist als der mittlere Bodenwärmestrom, der nahezu null ist, wenn man mehrere Jahre mittelt. Dies zeigt, dass es noch ungeklärte Phänomene beim Energiehaushalt der Geländeoberkante gibt. Diese werden von Mikrometeorologen im Residuum (Rest) zusammengefasst und seit über 25 Jahren in vielen wissenschaftlichen Arbeiten dis-

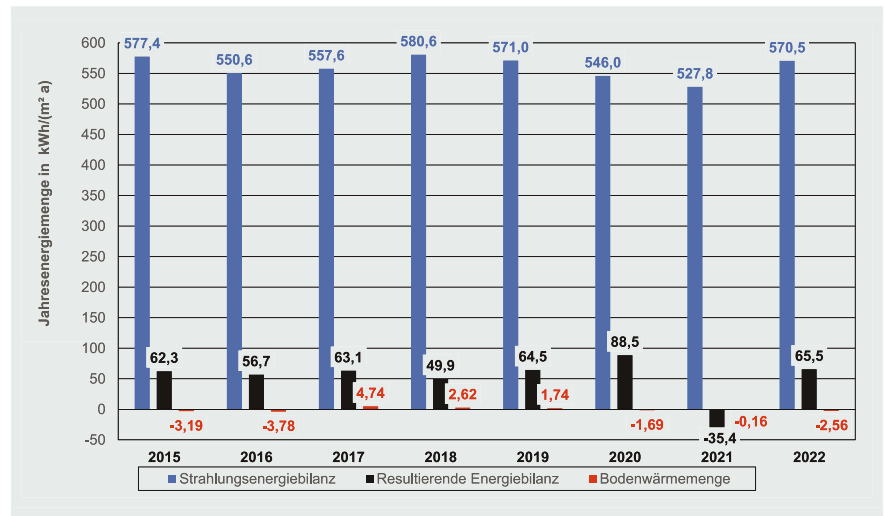


Bild 4: Jährliche Strahlungsenergiebilanz (blau) an der Geländeoberkante und Bodenwärmemenge (rot) in kWh/(m² a) an der ICOS-Station Grillenburg für die Jahre 2015 bis 2022.

Grafik: eigene Darstellung, Datenquelle: ICOS-Station Grillenburg

kutiert, die zum Beispiel in [9] zusammengetragen sind. Aus dieser Forschung wird klar, dass diese Lücke der Energiebilanz nicht dem Bodenwärmestrom zuzuschlagen ist, sondern eine Vielzahl von Ursachen haben kann, angefangen bei systematischen Messfehlern, Unsicherheiten aufgrund der Datenprozessierung, aber auch das Vernachlässigen von kleineren Energiebilanztermen, wie dem biochemischen Speicher aufgrund der Photosynthese der Pflanzen. Außerdem ist die hier verwendete Methode zur Erfassung des konvektiven Energietransports (Eddy-Kovarianz-Methode) prinzipiell nur dazu geeignet, den vertikalen Anteil des Ener-

gietransports durch in die Atmosphäre zu quantifizieren. Horizontale Wärmeströme bleiben dagegen unberücksichtigt.

Im vorliegenden Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2022 beträgt dieses Residuum zwischen -35 kWh/(m² a) im Jahre 2021 und 90 kWh/(m² a) im Jahr 2020.

Zusammenfassung und finale Feststellung

Für den Fall des ungestörten Erdreiches kann aus den vorgelegten Analysen abgeleitet werden, dass die Ermittlung der Bodenwärmemenge aus der Strahlungsbilanz und damit die Vernachlässigung von □

19.–22.03.2024

BERATEN, PLANEN, ENTSCHEIDEN

ZUKUNFTSPLATTFORM FÜR TGA-FACHPLANER UND ARCHITEKTEN

Informieren Sie sich auf der SHK+E ESSEN konkret zu Energieeffizienz und Nachhaltigkeit in der Haus- und Gebäudetechnik.

- Top-Fokusthema: Elektrische Energie- und Wärmesysteme
- Fachforum „Zukunft der Gebäudetechnik“ in Halle 2
- Lösungen zur digitalen Raumplanung, u.a. KI-gestützte Planungstools

Machen Sie sich zukunftsfit!

www.shke-essen.de | [#shkpluseessen](https://twitter.com/shkpluseessen) | [in](https://www.facebook.com/shkpluseessen) [f](https://www.youtube.com/shkpluseessen) [y](https://www.instagram.com/shkpluseessen) [i](https://www.instagram.com/shkpluseessen)

SHK+E
ESSEN

Fachmesse für Sanitär,
Heizung, Klima und Elektro

MESSE
ESSEN

latent und fühlbar. Wärmemengen nicht zu empfehlen ist. Selbst wenn die latenten und fühlbaren Wärmemengen berücksichtigt werden und mit der resultierenden Energiebilanz an der Geländeoberkante auf die Bodenwärmemenge geschlossen werden soll, zeigen die Messwerte, dass noch große Abweichungen zu erwarten sind.

Blick nach vorn

Für die Auslegung oberflächennaher Erdwärmekollektoranlagen ist die Regeneration des Erdreichs von entscheidender Bedeutung. Die Regeneration hängt vordergründig von der Energieübertragung an der Geländeoberkante ab und wird weiterhin von Bewuchs und Bodenbeschaffenheit beeinflusst. Der vorliegende Fachbeitrag beschäftigt sich in zwei Teilen mit den an der Geländeoberkante wirkenden Wärmetransportphänomenen und zeigt anhand von Messwerten der ICOS-Station Grillenburg die Größenordnungen der einzelnen Energieströme und Jahresenergiemengen für die Jahre 2015 bis 2022.

Als Ergebnis der Betrachtungen kann festgehalten werden, dass für eine zuverlässige Abschätzung des Bodenwärmestromes alle an der Geländeoberkante auftretenden Energieströme (Strahlungsenergiestrom, latenter und fühlbarer Energiestrom) berücksichtigt werden müssen. Und selbst dann zeigen die Messwerte, dass aus der so gebildeten resultierenden Energiebilanz an der Geländeoberkante nicht auf den gemessenen Bodenwärmestrom geschlossen werden kann. Das auftretende Residuum ist seit mehr als 15 Jahren Untersuchungsgegenstand in meteorologischen Fachkreisen. Es sei erneut darauf hingewiesen, dass die hier ausgewerteten Messdaten für das ungestörte Erdreich gelten und eine Aktivierung des Erdreichs mit Hilfe einer oberflächennahen Erdwärmekollektoranlage die Temperatur- und Wärmestrombedingungen deutlich verändert.

In den vergangenen Jahren wurden Entzugsleistungen in VDI 4640-2 [11] definiert und den planenden Ingenieurinnen und Ingenieuren als Auslegungswerkzeug an die Hand gegeben. Inwiefern alle hier besprochenen Wärmetransportphänomene bei der Definition der Entzugsleistungen berücksichtigt worden sind und inwiefern von den Messdaten des ungestörten Erdreichs auf das aktive Erd-

reich geschlossen wurde, ist in der genannten VDI-Richtlinie nicht ausgeführt. Planende müssen sich dieser Situation bewusst sein, wenn sie oberflächennahe Erdwärmekollektoranlagen auslegen und die tabellierten Entzugsleistungen verwenden.

In der Zukunft ist eine gemeinsame Anstrengung verschiedener Fachdisziplinen notwendig, die vorhandenen Erkenntnisse zum ungestörten Erdreich auf das aktive Erdreich zu übertragen. Dazu sollten Vertreter der Geotechnik und Meteorologen mit Gebäudetechnikern zusammenarbeiten und geeignete oberflächennahe Erdwärmekollektoranlagen messtechnisch begleiten und nicht nur Anlagenkennwerte (Solemassestrom, Temperaturen, Entzugsleistung), sondern auch Strahlungswerte, latenten und fühlbaren sowie den Bodenwärmestrom aufzeichnen.

Bereits bei der Errichtung der Anlage muss eine Bodenerkundung zur Ermittlung der thermischen Kennwerte des Bodens erfolgen. Dann können analoge Auswertungen zum ungestörten Erdreich auch im aktivierten Fall erfolgen und Schlussfolgerungen zur Regenerationsfähigkeit gezogen werden. ■

LITERATUR

- [1] Berliner Wasserbetriebe, <https://klasse.wasser.de/content/language1/html/6328.php>, zuletzt abgerufen am 22.08.2023.
- [2] Schlott, A.; Schlott, S.: Vereinbarung einer Vorzeichenkonvention für die Energiebilanz an der Erdoberfläche, HLH Bd. 74 (2023) Nr. 01–02, S. 42–45.
- [3] Brune, M.; Bender, S.; Groth, M.: Gebäudebegrünung und Klimawandel. Anpassung an die Folgen des Klimawandels durch klimawandeltaugliche Begrünung. Report 30, 2017, Climate Service Center Germany, Hamburg.
- [4] Schlott, A.; Schlott, S.; Mauder, M.; Grünwald, T.: Auswertung standardisierter mikrometeorologischer Daten der ICOS-Station Grillenburg mit Ausführungen für die Erdwärmennutzung, Teil 1: Beschreibung der Messstation und Auswertung von Messdaten, HLH Bd. 74 (2023) Nr. 11–12, S. 36–42.
- [5] Bernhofer, C.; Eichmann, U.; Grünwald, T.; Hehn, M.; Mauder, M.; Moderow, U.; Prasse, H.: 2023, ETC L2 Archive, Grillenburg, 2016–12–31–2022–12–31, ICOS RI, https://hdl.handle.net/11676/qROQ7BYzpammUgLLZZ1_ozRD, zuletzt abgerufen am 01.06.2023.
- [6] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Energietransporte im Klimasystem, <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/umsetzungen>, zuletzt abgerufen am 15.08.2023.
- [7] Schlott, A.; Schlott, S.: Einfluss von Albedo und Emissionsgrad eines Grundstücks bei der Nutzung von oberflächenaktiver Erdwärme, Der Sachverständige 2022, Nr. 11, S. 293–300.
- [8] ViZaar Industrial Imaging: Emissionsgradtabelle, <https://vizaar-xtra.de/emissionsgrad-tabelle/>, zuletzt abgerufen am 15.08.2023.
- [9] Mauder, M.; Foken, T.; Cuxart, J.: Surface energy-balance closure over land: A Review, In: Boundary-Layer Meteorology, Bd. 177, 2020, Nr. 2, pp.: 395–426, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10546-020-00529-6>.
- [10] Open Data Server des DWD mit Klimadaten unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/.
- [11] VDI 4640 Teil 2: Thermische Nutzung des Untergrunds – Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Beuth Verlag, Berlin 6/2019.

Dr.-Ing. André Schlott



ist Leiter des Kompetenzzentrum Energie und Thermisches Management am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Institutsteil Dresden.
Foto: Fraunhofer IFAM

Dr.-Ing. Siegfried Schlott, VDI



ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Heiz- und Raumlufttechnik mit Büro in Klingenthal.
Foto: privat

Prof. Dr. rer. nat. Matthias Mauder



ist Professor für Meteorologie am Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden.
Foto: privat

Dr. rer. nat. Thomas Grünwald



ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Hydrologie und Meteorologie der TU Dresden.
Foto: mdr.de

Wärmeversorgung in Industriegebäuden

Das neue GEG: Möglichkeiten für die Industrie

Am 1. Januar 2024 ist das novellierte Gebäudeenergiegesetz (GEG) in Kraft getreten.

Die vorausgegangenen Diskussionen haben viele Kunden verunsichert und selbst Fachleute müssen sich in die Vielzahl der möglichen Gesetzesauslegungen neuerlich intensiv einarbeiten. Was jetzt bei der Beheizung von Gewerbe- und Industriehallen möglich und notwendig ist, erläutert der folgende Beitrag.

TEXT: Professor Dr.-Ing. Friedhelm Schlösser

Grundsätzlich gilt, dass 65 Prozent der Heizenergie ab dem Jahr 2024 regenerativ eingebracht werden muss. Als regenerative Energien zählen Strom, Wasserstoff und Bio-Flüssiggas. Für Nichtwohngebäude wie Hallen über vier Meter Raumhöhe, hat der Gesetzgeber allerdings einige Ausnahmen formuliert. Die Vorgaben werden schrittweise, abhängig davon, ob es sich um Bestandsgebäude oder Neubauten handelt sowie von der Größe einer Stadt beziehungsweise Kommune und der damit verbundenen Wärmeplanung, in Kraft treten.

Grundsätzliches zum GEG

Das GEG soll für Neubauten ab 2024, für Bestandsbauten in Gemeinden mit mehr als 100 000 Einwohnern ab dem 30. Juni 2026, und für Bestandsbauten in Gemeinden mit bis zu 100 000 Einwohnern ab dem 30. Juni 2028 gelten – wenn bis dahin keine kommunale Wärmeplanung vorliegt.

Öl- oder Gasheizungen, die nach dem 1. Januar 2024 eingebaut werden, müssen ab 2029 mindestens 15 Prozent, ab 2035 mindestens 30 Prozent und ab 2040 mindestens 60 Prozent der Wärme aus grünem beziehungsweise blauem Wasserstoff oder Biomasse (Bio-Methan oder Bio-Propan) erzeugen können. Zudem gibt es vor dem Einbau der neuen fossilen Heizungen eine Beratungspflicht. Beraten



Bild 1: Für Hallen mit mehr als vier Metern Deckenhöhe sieht das novellierte GEG Ausnahmeregelungen vor (* im Bild: jegliche Effizienzgewinne durch Verbesserung der Bauphysik, Abwärmennutzung, Solarthermie usw. fließen in die Betrachtung des Endenergieverbrauch mit ein). Grafik: Schwank

können beispielsweise Energieberater, Installateure, Schornsteinfeger oder auch die Hersteller selbst.

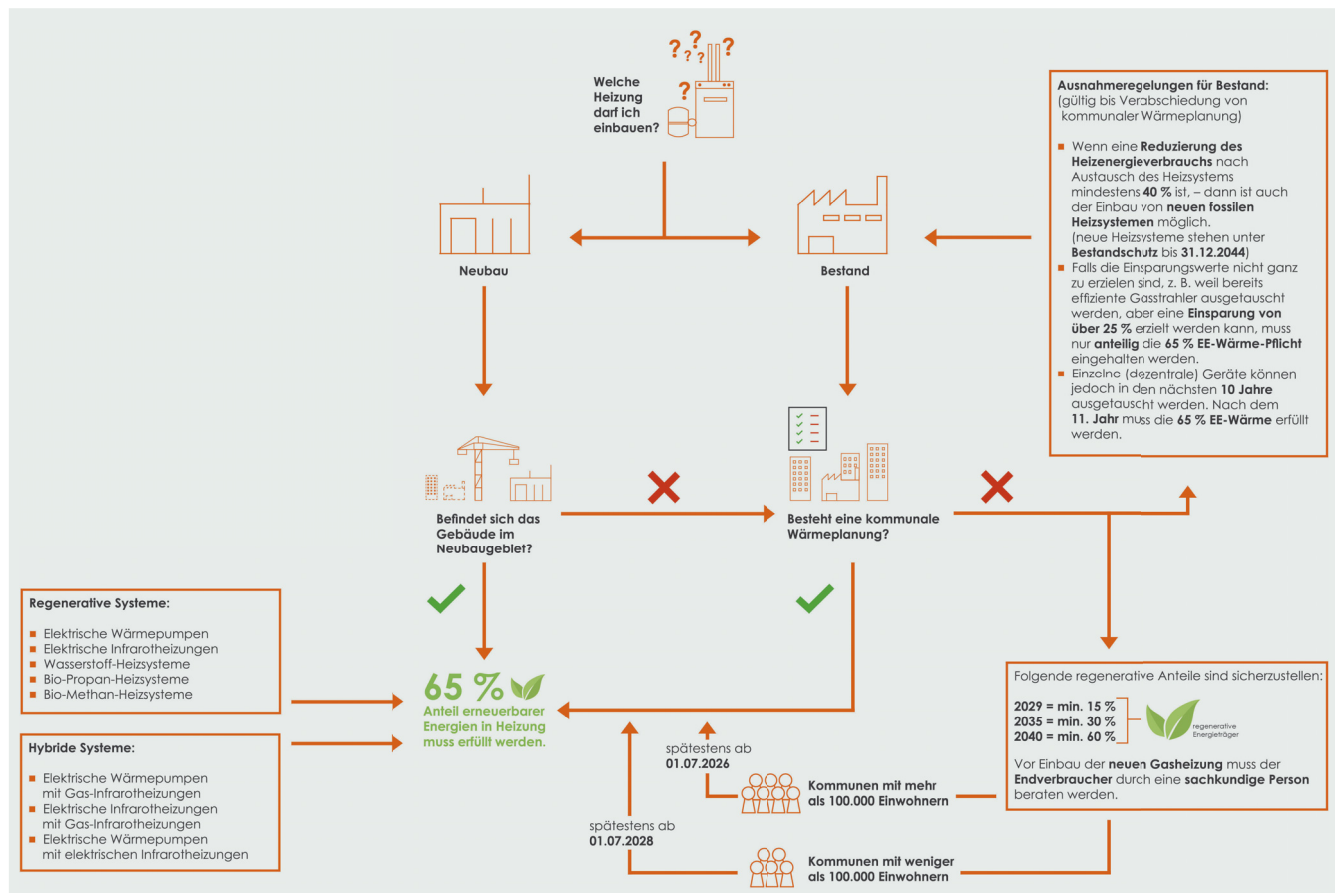
Auf der Webseite des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz findet man das GEG als Ganzes für Wohngebäude und Nichtwohngebäude (Industriebau): <https://www.energiewechsel.de/KAENEf/Redaktion/DE/Dossier/geg-gesetz-fuer-erneuerbares-heizen.html>

Übergangsfristen für Gas- und Ölheizungen in Hallen

Für Hallen mit über vier Meter Deckenhöhe formuliert das neue GEG Ausnahmen, die es ermöglichen, sich von der Erfüllungspflicht der 65 %-Erneuerbare-Energien-Regelung zu befreien. So dürfen fossil befeuerte Heizungen gemäß dem neuen GEG noch lange Zeit repariert werden. Erst wenn die Heizung havariert

ist, also nicht mehr repariert werden kann und komplett getauscht werden muss, treten Übergangsfristen in Kraft. In diesen Fällen darf für bis zu fünf Jahren eine fossil betriebene Heizung eingebaut werden (Gas- oder Ölheizung). Für dezentrale Heizungen beziehungsweise Hallen mit mehr als vier Meter Höhe, gelten darüber hinaus nachfolgende Ausnahmeregelungen (**Bild 1**):

1. Der Tausch von einzelnen Geräten (Infrarotstrahler oder Warmluftheizungen) kann über zehn Jahre erfolgen. Die Frist beginnt nach Tausch des ersten Strahlers oder Warmluftgeräts. So muss nach spätestens elf Jahren die 65 %-Regel erfüllt werden. Dabei sollten vernünftigerweise die einzelnen Strahler oder Warmluftgeräte gegen die beste verfügbare Technik getauscht werden. Ab dem ersten Tausch bleiben demnach noch zehn Jahre Zeit das □



Umsetzung des neuen GEG für Nichtwohngebäude mit einer Deckenhöhe von mehr als vier Metern (verschiedene Optionen). *Quellen: BMWK, BMWSB, Novelle des Gebäudeenergiegesetzes auf einen Blick (GEG). Gesetzentwurf der Bundesregierung: Drucksachen 20/6875, 20/7619. Stand Oktober 2023. Grafik: Schwank*

Heizungssystem rein fossil zu betreiben. Mit Beginn des elften Jahres hat der Betreiber ein Jahr Zeit, um auf 65 Prozent erneuerbare Wärme umzurüsten.

2. Wenn beim Tausch der alten Heizanlage gegen eine neue 40 Prozent Energie eingespart werden können, gilt die Ausnahmeregelung, dass das neue (fossile) System bis Ende 2044 weiterbetrieben werden kann, zum Beispiel bei einem Wechsel von einer alten Warmluftheizung zu einer neuen und effizienten Dunkelstrahler-Anlage.
3. Falls die Einsparungswerte nicht ganz zu erzielen sind, zum Beispiel weil bereits effiziente Gasstrahler ausgetauscht wurden, aber eine Einsparung von mindestens 25 Prozent erzielt werden kann, muss nur anteilig die 65 Prozent-Erneuerbare-Energie-Pflicht eingehalten werden.

Wichtig: Jegliche Effizienzgewinne durch Verbesserung der Bauphysik, Deckenventilatoren, Raumlufttechnische Anlagen, Abwärmenutzung, Solarthermie und so weiter fließen in die

Betrachtung des Endenergieverbrauchs mit ein.

Optionen zur Erfüllung des regenerativen Anteils

Das GEG ist grundsätzlich technologieoffen. Es sind pauschale Erfüllungsoptionen vorgegeben, welche der Gesetzgeber ohne weiteren Nachweis anerkennt. Doch darüber hinaus können auch individuelle Lösungsoptionen umgesetzt werden, die dann jedoch über einen Nachweis nach DIN 18599 den Einsatz von 65 Prozent regenerativer Wärme nachweisen müssen.

Pauschale Optionen

Bild 2 zeigt jene Optionen, die im Gesetz genannt sind und für die damit kein weiterer Nachweis benötigt wird.

Elektrische Wärmepumpen

Wärmepumpen sind eine einfache Art, das neue GEG zu erfüllen. Sie sind flexibel einsetzbar, energieeffizient, förderfähig

und erfüllen ohne weiteres den vorgeschriebenen 65 Prozent-Anteil an regenerativer Energie. Der große Nachteil: Die Investitions- und auch die Installationskosten liegen etwa vier mal über dem Niveau einer indirekten Strahlungsheizung. Abhängig von der Architektur und dem Nutzungsprofil der Halle, können auch die Energiekosten, die einer Strahlungsheizung übersteigen.

Hybrid-Lösung

Unter Hybridlösung wird die Kombination aus zwei oder mehreren unterschiedlichen Wärmeerzeugern verstanden. Zum Beispiel elektrische Wärmepumpen in Verbund mit einer Strahlungsheizung. Dabei wird die Grundlast von den Wärmepumpen übernommen, die Spitzenlast an extrem kalten Tagen, in denen der Wirkungsgrad der Wärmepumpen nachlässt, von der Strahlungsheizung abgedeckt. Das spart Geld und Energie: im Vergleich zur „Nur-Wärmepumpenlösung“ lassen sich Investitionskosten von bis zu 50 Prozent einsparen.

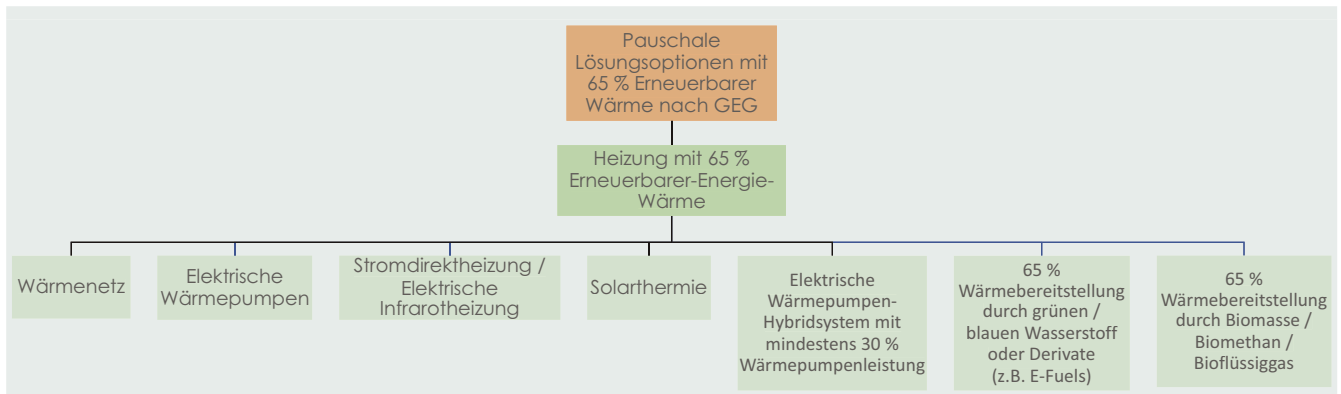


Bild 2: Die pauschalen Lösungsoptionen im GEG. Grafik: Schwank

Gas-Strahlungsheizung

Jede Strahlungsheizung muss ab Januar 2024 zu 65 Prozent regenerativ betrieben werden. Das kann sie mit Wasserstoff, Biomethan oder Bio-Flüssiggas. Wer noch keinen Wasserstoff hat, kann eine wasserstofftaugliche Strahlungsheizung einbauen, die zuerst mit Erdgas betrieben und später auf 100 Prozent Wasserstoffbetrieb umrüstet wird. Das geht deshalb, weil bis zum 31. Dezember 2034 fossiles Gas genutzt werden darf, wenn die Heizung sowohl fossiles Gas als auch 100 Prozent Wasserstoff verbrennen kann und der Gasnetzbetreiber einen Transformationsplan vorlegt, der ab dem 1. Januar 2035 eine 100 prozentige Wasserstofflieferung vorsieht. Zudem muss die Heizung schrittweise ab dem 1. Januar 2030 insgesamt 50 Prozent beziehungsweise ab 1. Januar 2035 insgesamt 65 Prozent Biogas, grünen oder blauen Wasserstoff oder aus daraus hergestellte Derivate verbrennen können.

Elektrische Strahlungsheizung

Die elektrische Strahlungsheizung wird zu 100 Prozent regenerativ bewertet und ist vergleichsweise preiswert in der Anschaffung (etwa 70 Prozent günstiger als die Wärmepumpe). Aber Achtung: Die Verbrauchskosten können abhängig vom Strompreis relativ hoch werden. Im Gegensatz zu Wärmepumpen arbeitet eine elektrische Strahlungsheizung nur etwa ein Drittel so effizient. Dafür ist die elektrische Infrarotheizung für punktuelle Wärme, zum Beispiel als Arbeitsplatz- oder temporäre Beheizung, sehr gut geeignet. Außerdem könnte eine intelligente, hybride Lösung elektrische Infrarotstrahler mit Gas-Infrarotstrahler kombinieren. Das ist auch dann besonders sinnvoll,

wenn eigens produzierter PV-Strom zur Verfügung steht.

Weitere Optionen

Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten, die jedoch immer nachweispflichtig sind, zum Beispiel:

- Elektrostrahler und Dunkelstrahler-Hybrid ähnlich zur Wärmepumpen-hybridlösung mit 30 Prozent Anteil der Elektrostrahlerleistung an der Heizlast, die Spitzenlast wird dann durch die Gas-Dunkelstrahler abgedeckt.
- eine Kombination aus Wärmepumpen, Elektrostrahler, H₂- oder Gas-Dunkelstrahlern.

Konsequenzen für die Hersteller

Erst einmal sei es wichtig, dass die Branche jetzt Planungssicherheit hat und Produktentwicklungen gezielt auf das neue GEG abstimmen könne, bewertet Oliver Schwank, CEO der Schwank Gruppe, die Veränderungen durch das neue GEG. Positiv hervorzuheben sei, dass das GEG eine effiziente, fossil befeuerte Hallenheizung zu Recht noch als saubere Lösung einstuft, die bis zum generellen Ausstieg aus den fossilen Energieträgern im Jahr 2044 weiter betrieben werden kann. „Trotzdem schläft die Branche keineswegs. Wir beobachten im Markt zweierlei Richtungen: Zum einen setzt man gezielt auf Strom, um den 65 prozentigen regenerativen Anteil zu erfüllen. Gerade neue, leistungsfähige Großwärmepumpen und elektrische Infrarotstrahler sind gefragt. Andererseits arbeiten die Hersteller aber auch an Produkten, die speziell auf die schrittweise Erhöhung von Wasserstoff-beziehungsweise Biogasanteil im Netz abgestimmt sind. In Summe wird ein Kunde

in den nächsten zwei bis drei Jahren aus deutlich mehr klimafreundlichen Produkten auswählen können als heute“, prophezeit Schwank.

Fazit

Die öffentlich geführte Diskussion sowie die mitunter komplett gegensätzlichen Sichtweisen auf die Anforderungen und Realisierbarkeit des Gebäudeenergiegesetzes, haben das final verabschiedete GEG deutlich technologieoffener gestaltet als die ersten Entwürfe.

Es gibt verschiedene Lösungswege, wie das neue GEG in Hallenbauten erfüllt werden kann. Einige sind mit wenig Planungsaufwand zu realisieren, andere erfordern bei der Auslegung einen genauen Blick auf die Nutzung der Hallenbauten. Darum ist Bauherren, Planern und Betreibern von Industriehallen zu raten, einen Experten hinzuzuziehen, der die verschiedenen Erfüllungsoptionen sowohl systemneutral, zukunftsorientiert als auch mit einem ganzheitlichen Blick auf Wirtschaftlichkeit und Sinnhaftigkeit bewertet. Denn klar ist: Unternehmen müssen sich die neue Heizung auch morgen noch leisten können. ■

**Professor
Dr.-Ing.
Friedhelm
Schlösser**



ist Präsidiumsmitglied des figawa e.V. (Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach) sowie Geschäftsführer der Schwank GmbH, Köln.
Foto: Michael Bäter



Mit einer Sauerstoffzehrpatrone (im Bild: OxRed von perma-trade) kann nach Art einer „Filterpatrone“ der im Anlagenwasser gelöste Sauerstoff direkt beim Hindurchströmen eliminiert und auf diese Weise Korrosionsproblemen entgegengewirkt werden. Foto: perma-trade

Korrosion

Probleme und Lösungen bei Sauerstoffzutritt in Heiz- und Kühlkreisläufen

In der Regel bestehen wesentliche Teile geschlossener Heiz- und Kühlkreisläufe aus niedrig- oder unlegierten Eisenwerkstoffen. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Stähle liegt dabei weniger in einer Werkstoffeigenschaft begründet. Sie hängt vielmehr mit der primären Abwesenheit von Sauerstoff im Anlagenwasser zusammen. Im nachfolgenden Fachbeitrag werden die Probleme, die sich durch Sauerstoffeintrag ergeben, aufgezeigt und neue, wasserseitige Lösungsmöglichkeiten vorgestellt.

TEXT: Dr. Dietmar Ende

Die populärsten technischen Regeln zur Beurteilung der Korrosionsgefährdung von geschlossenen, wassergeführten Heiz- und Kühlwasserkreisläufen sind in Deutschland die VDI 2035 und die VDI/BTGA 6044. Während die VDI 2035 ex-

plizit von einer korrosionstechnisch geschlossenen Anlage ausgeht, betrachtet die VDI/BTGA 6044 auch solche Anlagen, die lediglich als atmosphärisch geschlossen gelten. Der Unterschied besteht darin, dass eine korrosionstechnisch geschlossene Anlage keinen nennenswerten Zutritt von Sauerstoff erfährt, und sich dadurch

im laufenden Betrieb eine Sauerstoffkonzentration von $< 0,1 \text{ mg/l}$ im Anlagenwasser einstellt. Kommt es aber zu einem intermittierenden oder dauerhaften Eindringen von Sauerstoff, zum Beispiel über Werkzeugwechsel oder diffusionsoffene Komponenten, so sind im Umlaufwasser auch Parameter wie zum Beispiel Chlorid

zu überwachen. Außerdem besteht die Gefahr der Bimetallkorrosion bei ungünstiger Werkstoffpaarung.

Die Rolle des Sauerstoffs

In den hier betrachteten Heiz- und Kühlsystemen werden die Korrosionsprozesse im Wesentlichen durch die Menge des hinzutretenden Sauerstoffs bestimmt – so lange sich der pH-Wert des Umlaufwassers im Bereich von 8 bis 10 befindet. Der im Wasser gelöste Sauerstoff hat hierbei die Aufgabe, die bei der Metallauflösung zurückbleibende elektrische Ladung (**Bild 1**) aufzunehmen, um den Korrosionsprozess (den Metallaustritt in die Wasserphase) in Gang zu halten. Niedrige pH-Werte < 6 können dies auch, man spricht dann von Säurekorrosion.

Wie schnell die Korrosionsreaktion abläuft, hängt dann jeweils noch von der Temperatur und der Leitfähigkeit des Wassers ab. Im günstigsten Fall kommt es bei einer Anlage nur zur erhöhten Bildung von „Schwarzschlamm“ (Magnetit) und nicht zu Durchrostungen an Heizkesseln, wobei sich aus 10 mg Sauerstoff 36 mg Magnetit bilden. Aber auch, wenn kein Wanddurchbruch auftritt, können die Korrosionsprodukte empfindlich stören (**Bild 2** und **Bild 3**).

Sauerstoff kann auf verschiedenen Wegen in ein Heiz- oder Kühlsystem eindringen:

- durch mangelhafte Druckhaltung aus der Atmosphäre (Mindestdruck 0,5 bar an allen Punkten)
- durch Diffusion über permeable Bauteile (Dichtungen, Schläuche, Kunststoffrohre, Membranen)



Bild 2: Moderne Nassläuferpumpen reagieren sensibel auf Magnetit im Anlagenwasser.
Foto: perma-trade

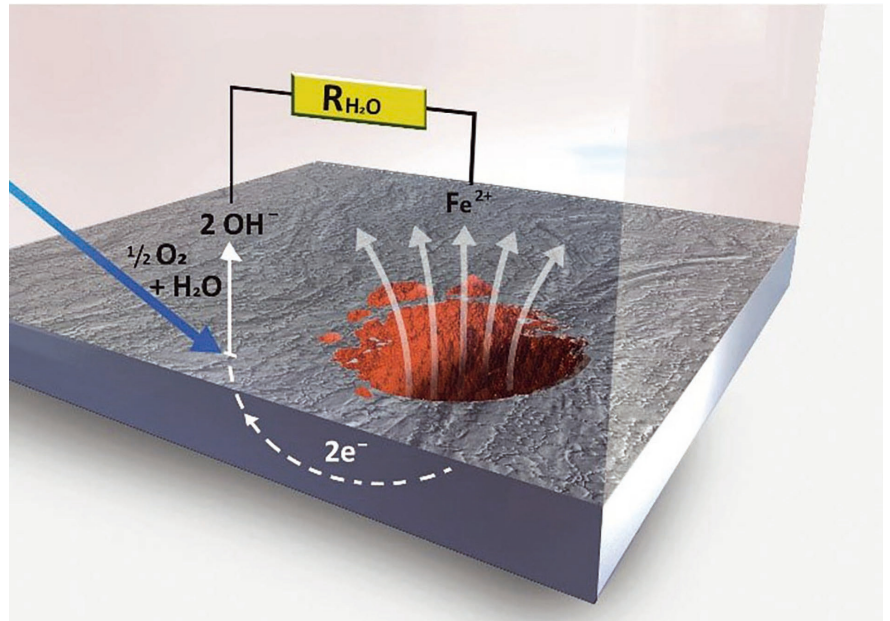


Bild 1: Grundsätzlich hat Schwarzstahl (Eisen, Fe) die Tendenz, sich in wässriger Umgebung aufzulösen (Fe^{2+}), wie schematisch gezeigt. Die am Metall zurückbleibende Ladung (e^-) wird in unmittelbarer Nähe zur Austrittsstelle einem Oxidationsmittel – in der Regel im Wasser gelöstem Sauerstoff – angeboten, wobei sich Hydroxidionen (OH^-) bilden. Der „elektrische“ Ladungsausgleich geht dabei über das Wasser. Eine niedrige Leitfähigkeit, wie sie bei salzärmer Betriebsweise gegeben ist, begrenzt die Korrosionsgeschwindigkeit deutlich, kann aber letztlich auch nicht vor Sauerstoffkorrosion schützen.
Grafik: perma-trade

- als gelöster Sauerstoff über das Füll- oder Ergänzungswasser (7–13 mg/l)
- aus Luftpolstern, die bei Wartungs- oder Umbauarbeiten entstehen

Die Korrosionsrate bleibt vernachlässigbar gering, wenn der im Füllwasser vorhandene natürliche Sauerstoffgehalt durch Korrosionsprozesse aufgezehrt, über die Lebensdauer der Anlage nicht mehr als deren doppeltes Anlagenvolumen nachgespeist wird und Sauerstoffzutritt kaum möglich ist.

Drei Punkte sind hier nicht zu unterschätzen:

1. Ein Liter Luft enthält 260 mg O_2 im Vergleich zu den 10 mg in einem Liter frischen Trinkwassers.
2. Nichtgesperrte flexible Schläuche, etwa an Deckenheizstrahlern, zeigen beträchtliche Diffusionsraten, ein EPDM-Schlauch beispielsweise bis zu 7 mg pro Tag und Schlauchmeter (40 °C/DN 20).
3. Auch als gesperrt geltende Schläuche zeigen bei höherer Temperatur



Bild 3: Diffusionsoffener Gummischlauch mit deutlichen Magnetitablagerungen auf der Innenseite. Platzen diese ab, kommt es zu Störungen von BHKWs oder Wärmepumpen. Edelstahlwellrohre schaffen hier Abhilfe. Foto: perma-trade

(> 60 °C) eine nicht zu vernachlässigende Zutrittsrate.

Was bedeutet „diffusionsdicht“ nach DIN 4726?

Die wesentlichste Unterscheidung bei Kunststoffrohren/-schläuchen ist die Einteilung in „sauerstoffdiffusionsdicht“ und „nicht sauerstoffdiffusionsdicht“. Kunststoffrohre gelten nach DIN 4726 als sauerstoffdicht, wenn sie eine maximale Sauerstoffdurchlässigkeit von weniger als 0,32 mg / (m²xd) bei einer Wassertemperatur von 40 °C aufweisen. Bei nicht sauerstoffdichten Rohren oder Schläuchen liegt der entsprechende Wert im Extremfall bei 16 mg / (m²xd).

Bei höheren Wassertemperaturen steigt die Diffusionsrate deutlich an, und zwar um den Faktor 2 bis 3 je 10 °C Temperaturerhöhung. Die Norm berücksichtigt dies und erlaubt bei 80 °C daher 3,60 mg / (m²xd).

Innenbeschichtung diffusions-offener Rohre

Während im Trinkwasser die Innenbeschichtung von Rohren < DN 80 mit Epoxidharz nicht zugelassen ist, lag es nahe, eine derartige Methode auf alte, diffusionsoffene Fußbodenheizungsrohre anzuwenden (zum Beispiel Oxyproof). Die Durchführung war allerdings nicht unkompliziert und wurde in Fachkreisen auch kontrovers diskutiert. Das Verfahren ist aktuell nicht mehr am deutschen Markt.

Weitere Einflussfaktoren auf die Sauerstoffkorrosion

pH-Wert: Je alkalischer beziehungsweise je höher der pH-Wert, desto gehemmter läuft die Reduktion von Sauerstoff an der

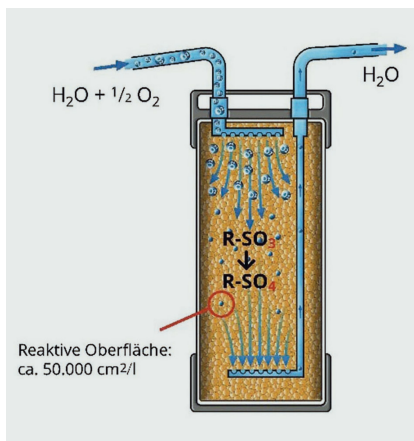


Bild 4: Die Sauerstoffzehrpatrone OxRed im Schnitt. Sie enthält ein Ionenaustauscherharz, das mit einem anorganischen Sauerstoffbindemittel beladen ist. Grafik: perma-trade

Metalloberfläche ab. Hinzu kommt noch, dass sich auf den üblicherweise verbauten Metallen bei alkalischen pH-Werten eine schützende Passivschicht bildet.

Elektrische Leitfähigkeit: Bei salzreicher Betriebsweise, also niedriger Leitfähigkeit des Anlagenwassers, werden generell alle elektrochemischen Vorgänge an der Metalloberfläche verlangsamt.

Härte: Etwas Resthärte im Anlagenwasser wirkt sich hinsichtlich der Sauerstoffkorrosion positiv aus, da sich Kalziumkarbonat – insbesondere bei neutralen Wässern – an Stellen abscheidet, wo die Sauerstoffreduktion stattfindet. Der Härtebildner wirkt hier als (kathodischer) Korrosionsinhibitor.

Flächenverhältnis: Sind in einer Anlage viele korrosionsbeständige Komponenten, wie zum Beispiel Rohrleitungen aus Kunststoff oder Edelstahl (1.4520) verbaut, an denen Sauerstoff nicht oder nur langsam abreagiert, so wird sich dieser auf die wenigen Bauteile aus Schwarzstahl konzentrieren und dort die Wahr-

scheinlichkeit für einen Korrosionsschaden erhöhen.

In der Zusammenfassung bedeutet dies, dass eine salzarme Betriebsweise mit möglichst hohem pH-Wert wasserseitig zwar den bestmöglichen Korrosionsschutz darstellt, diese jedoch im Falle eines nennenswerten Sauerstoffeintrags keinen ausreichenden Schutz mehr bietet. Lässt sich der Sauerstoffeintrag nicht durch andere technische Maßnahmen beheben, sollten daher in geschlossenen Anlagen Zehrmaßnahmen erwogen werden. Bevor wir uns den Möglichkeiten der Sauerstoffbindung zuwenden, vorab noch ein paar Hinweise zu sogenannten Vollschutzprodukten. Diese sollen Sauerstoff nicht zehren, aber die Metalloberfläche „versiegeln“.

Vollschutzprodukte enthalten meist anodische Korrosionsinhibitoren und sollten nur in atmosphärisch offenen Systemen zum Einsatz kommen – und dies nicht nur alleine aus Umweltschutzgründen und wegen des Minimierungsgebots. Tatsächlich funktionieren diese nur auf metallisch blanken Oberflächen gut. Sie sind zudem in ihrer Konzentration regelmäßig zu überwachen und bieten – je nach Produkt – auch Nahrung für Mikroorganismen. Bei Unterkonzentration treten leicht lokale Korrosionsphänomene auf.

Sauerstoffbindemittel

Für die chemische Bindung von Sauerstoff wird meist Natriumsulfit dosiert, das ab Temperaturen von etwa 40 °C eine hohe Sauerstoffbindegeschwindigkeit zeigt. Organische Bindemittel wirken erst oberhalb von 60 °C, fördern die Biofilmbildung und erhöhen so die Wahrscheinlichkeit für mikrobiell induzierte Korrosionserscheinungen. Die VDI 2035 rät daher – in ihrem Gültigkeitsbereich – zum Verzicht.

Aber auch Natriumsulfit zeigt Nebenwirkungen. Bei der Reaktion mit Sauerstoff entsteht Sulfat, das die Leitfähigkeit des Heizungswassers im Laufe der Zeit stark erhöht. In der Anlagenpraxis finden sich hier nicht selten Werte bis 2 000 µS/cm, die gelegentlich Ausblühungen (Salzkrusten) an Regelventilen verursachen. Zudem besteht vor allem im Niedertemperaturbereich auch wieder eine erhöhte Wahrscheinlichkeit dafür, dass sulfatreduzierende Mikroorganismen korrosiv wirkendes Sulfid erzeugen.

SAUERSTOFFMESSUNG IM HEIZUNGSWASSER

Wie das Blut im menschlichen Körper, verrät auch das Umlaufwasser viel über den Zustand einer Anlage – in puncto Sauerstoffmessung allerdings nur, wenn diese direkt am System erfolgt. Eine Probenahme für ein Labor oder die Messung in einem Gefäß würde hier ansonsten nur falsche, deutlich erhöhte Werte, liefern. Damit die Korrosionswahrscheinlichkeit für die in Fließrichtung nachfolgenden Bauteile gering bleibt, sollte die Konzentration des gelösten Sauerstoffs < 0,1 mg/l betragen (Richtwert VDI 2035).

Elektrochemische Verfahren

Diese Verfahren nutzen ein „unedles“ Metall – in der Regel eine Magnesiumlegierung – im galvanischen Kurzschluss mit einem Bauteil aus Edelstahl. Während sich das Magnesium auflöst, findet parallel dazu an der Edelstahloberfläche die elektrochemische Reduktion von Sauerstoff statt. In der Summe entsteht dann Magnesiumhydroxid als Korrosionsprodukt, das als Schlamm entfernt werden muss. Gleichzeitig wird der pH-Wert etwas angehoben. So weit so gut, wäre da nicht die Sauerstoffbindegeschwindigkeit recht niedrig und das Gerät auch eher für den Hauptstrom auszulegen. Wird die Anlage salzarm betrieben, ist die Funktion zu hinterfragen.

Vakuumentgasung

In atmosphärisch geschlossenen, aber korrosionstechnisch offenen Anlagen ist eine Reduzierung des korrosionsrelevanten, gelösten Sauerstoffs im Umlaufwasser über Entgaser nur bedingt möglich (VDI 6044). Auch Unterdruck und Membranentgaser, welche zwar gelösten Sauerstoff entfernen können sind nicht ausreichend geeignet, diesen so weit zu reduzieren, dass keine Korrosionsschäden mehr zu befürchten sind. Zum Vergleich: Der Richtwert liegt bei 0,1 mg/l, der Vakuumentgaser bringt es auf 1–2 mg/l gelösten Restsauerstoff.

Interessant bleibt aber das Nachspeisewasser, das sich im direkten Durchlauf deutlich absenken lässt, in der Regel zwischen 60 Prozent und 80 Prozent.

Filterung

Bei dieser neuen, derzeit in der Markteinführung befindlichen Methode, kann nach Art einer „Filterpatrone“ der im Wasser gelöste Sauerstoff direkt beim Hindurchströmen eliminiert werden. Diese Patronen enthalten ein anorganisches Sauerstoffbindemittel, das auf einem Trägermaterial komplexiert ist und nach der Reaktion mit dem Sauerstoff auch auf diesem verbleibt (Bild 4). Im Gegensatz zur Dosierung von Sauerstoffbindemittel, wird die Zusammensetzung des Umlaufwassers hier nicht nennenswert verändert und die bekannten Nachteile/Nebenwirkungen treten daher nicht auf.

Wird eine Heizungsanlage mit kaltem Trinkwasser über eine solche Patrone –

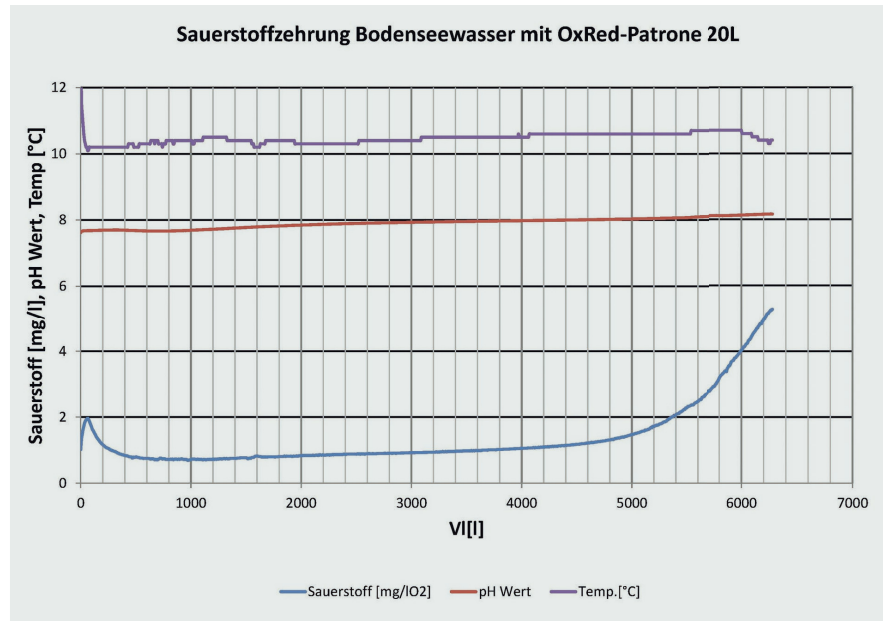


Bild 5: Sauerstoffkonzentration hinter der Filterpatrone in Abhängigkeit des durchgesetzten Volumens. Durchgeführt mit Bodenseewasser ($O_2 = 13 \text{ mg/l}$) im Einwegbetrieb bei $q = 7 \text{ l/min}$. Grafik: perma-trade

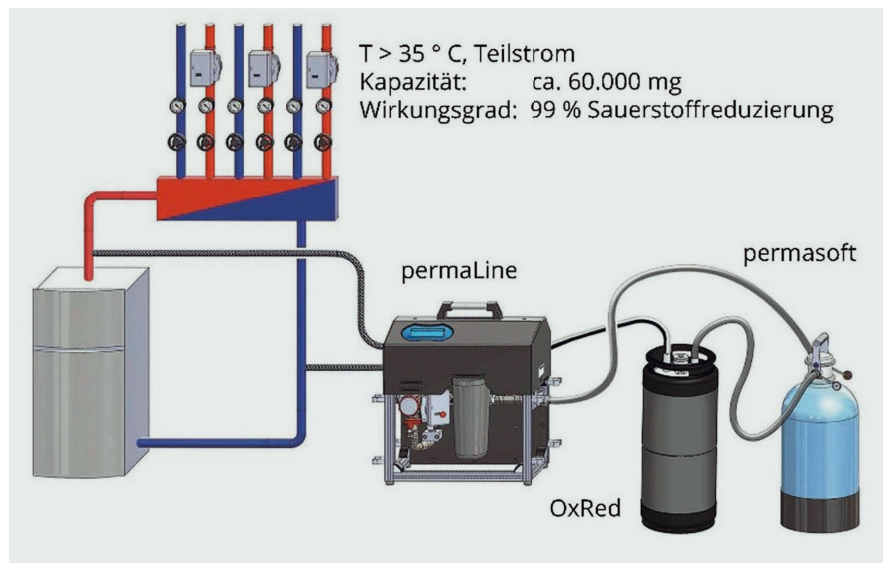


Bild 6: Kombinierte Entsalzung und Sauerstoffzehrung im Teilstrombetrieb, zum Beispiel nach Füllen der Anlage mit Trinkwasser. Grafik: perma-trade

gegebenenfalls in Kombination mit einer Entsalzung oder Enthärtung – neu befüllt, können dem Füllwasser direkt 80 bis 90 Prozent Sauerstoff entzogen werden (Bild 5). Grund dafür ist auch die extrem große Oberfläche der vorbehandelten Harzkugeln im Vergleich zur Elektrodentechnik (etwa 1000:1), bei der dies so nicht möglich ist. Logischerweise bilden sich dann auch bis zu 90 Prozent weniger Korrosionsprodukte, die zum Beispiel die Topmeter von Fußbodenheizungsverteilern belegen könnten. Für die Aufbereitung von

Nachspeisewasser könnte eine solche kombinierte Patrone einen neuen Standard definieren.

Prädestiniert für dieses Filterverfahren ist die Anwendung im Teilstrom, wenn die Anlage nach dem Spülen mit Trinkwasser aufbereitet wird. Ab einer Wassertemperatur von 35°C lässt sich der gelöste Sauerstoff mit hoher Geschwindigkeit auf eine Restkonzentration von $< 0,05 \text{ mg/l}$ zehren. In einem Arbeitsgang lassen sich so die relevanten Korrosionstreiber Salze, Säuren und Sauerstoff beherrschen (Bild 6). □

Für großvolumige (Problem-)anlagen bietet sich als technisch elegante Lösung die Kombination mit einem festinstallierten Modul zur Teilstromentsalzung an. Hier kann das Wasser zeitgesteuert mechanisch filtriert und von kontinuierlich oder intermittierend eindringendem Sauerstoff befreit werden. Falls erforderlich, wird zudem eine Entsalzungspatrone in Abhängigkeit der Leitfähigkeit des Anlagenwassers automatisch hinzu geschaltet, so dass auch immer eine salzarme Betriebsweise sichergestellt ist.

Fazit

Mit Sauerstoffzehrpatronen kann nun auf einfache Weise der Korrosionstreiber Nr. 1 in geschlossenen Heiz- und Kühlsystemen durch den Fachhandwerker beherrscht werden. Besonders interessant ist diese Methode nicht nur für die perfekte

Aufbereitung größerer Nachfüllwassermengen, sondern auch als sichere Lösung für größere Problemanlagen. Die Verbindung eines fest installierten Moduls zur Teilstromaufbereitung, in Kombination mit einem Korrosionsmonitoring-System, das den erforderlichen Patronenaustausch anzeigen könnte, wäre eine optimale Problemlösung. Auch deshalb, weil die eingesetzten Ionenaustauscharze alle regeneriert werden und kein nennenswerter Abfall entsteht. ■

- [3] Ende, D.: Korrosionsschäden durch Sauerstoffzutritt, TGA-Fachplaner, Gentner Verlag, Stuttgart 05/2020.
- [4] Suissetec Merkblatt: Apparateanschlüsse – Einsatz von EPDM-Rohrverbindungen, 8/2021.
- [5] BDH Informationsblatt Nr. 3: Korrosionsschäden durch Sauerstoff im Heizungswasser – Sauerstoffkorrosion, Köln/Berlin 03/2011.
- [6] Kruse, C.-L.: Der Lufteintrag ist nach wie vor ein Problem, Heizungsjournal, Heizungsjournal Verlags-GmbH, Winnenden 12/2008.

LITERATUR

- [1] VDI 2035: Vermeidung von Schäden in Warmwasser-Heizungsanlagen, Steinbildung und wasserseitige Korrosion, Beuth Verlag, Berlin 03/2021.
- [2] VDI/BTGA 6044: Vermeidung von Schäden in Kaltwasser- und Kühlkreisläufen, Beuth Verlag, Berlin 04/2023.



Dr. Dietmar Ende

ist Sachverständiger für Korrosion und Leiter Forschung/Entwicklung bei der perma-trade Wassertechnik GmbH, Leonberg.
Foto: perma-trade

Vorschau 03/2024



„Wir haben nichts zu verschenken“: Sparen, Zurückhalten, Versickern, Stoffkreisläufe schaffen, fordert die „Nationale Wasserstrategie“. Allerdings hat sie die Regierung bisher nicht in Verordnungen überführt. Die neuen Eigentümer des BUFA-Filmgeländes in Berlin warten die gesetzlichen Bestimmungen nicht ab – sie handeln bereits. Foto: MVRDV

Sanitärtechnik

Intelligente Wassernutzung auf dem Filmgelände Atelier Gardens in Berlin

Energiebedarf

Forschungsprojekt FlexEhome: Flexible Versorgung eines Einfamilienhauses durch PV und Wasserstoff

Heiztechnik

Neue Richtlinie für die Auslegung und Inbetriebnahme von Großwärmepumpen

Kältetechnik

Die Wärmeleitfähigkeit siedender Kohlenwasserstoffe und Luftkomponenten nach Tsvetkov

Brandschutz

Brandschutzabnahme leicht gemacht



VRF-Wärmepumpensystem zum Kühlen und Heizen

Vorbildliche Lösung für eine besondere Location

Die Planung von außergewöhnlichen Gebäuden ist immer eine Herausforderung für die Beteiligten. Dies gilt oftmals besonders für die gebäudetechnische Ausstattung eines Gebäudes, da hier keine „Standard-Lösungen“ genutzt werden können.

Die Flexibilität der VRF-Wärmepumpentechnologie ermöglicht auch für Sondergebäude Lösungen, mit denen sich eine effiziente und komfortable Klimatisierung realisieren lässt – wie die Freizeit-Event-Location Topgolf in Oberhausen beweist.

Mittlerweile 70 Topgolf-Anlagen existieren weltweit, eine davon wurde im Ruhrgebiet eröffnet. Das Unternehmen Greenreb hat als exklusiver Lizenznehmer für Deutschland, die Schweiz, Österreich und Italien das erste fertiggestellte Objekt in Oberhausen in Betrieb genommen. Die Location befindet sich auf einem ehemaligen 30 000 Quadratmeter großen Stahl-

werksgelände und beschäftigt rund 300 Mitarbeitende. Umgeben ist das Spielfeld von einem 54 Meter hohen Zaun, der den sicheren Verbleib der Golfbälle auf dem Areal, auch bei hoher Abschlagskraft, gewährleistet. Das Angebot ist vor allem auf Nicht-Golfer ausgerichtet und kann von Einzelpersonen, Paaren oder Gruppen genutzt werden, beispielsweise für Geburtstage oder Firmenveranstaltungen. Zu der Freizeitanlage gehören ein dreistöckiges Gebäude mit einem Res-

taurant und drei Bars, 102 bediente Abschlagplätze von denen Golfbälle auf ein 200 Meter langes Außenfeld abgeschlagen werden können sowie eine große Anzahl an Gästeparkplätzen inklusive Ladestationen für E-Fahrzeuge. Auf der Topgolf-Anlage in Oberhausen können Gäste ganzjährig mit Mikrochips ausgestattete Golfbälle abschlagen und zwischen mehr als zehn verschiedenen Spielen auswählen, um ihr Golfspiel zu üben und zu verbessern. Überhaupt haben es die Golfbälle □



Entstanden ist die **Topgolf-Anlage** auf einem 30 000 Quadratmeter großen, ehemaligen Stahlwerks-gelände. Foto: Mitsubishi Electric



Das eingesetzte **City Multi VRF-System** verfügt über eine integrierte Wärmepumpenfunktion und ermöglicht über eine Umschaltfunktion wahlweise den Kühl- oder den Heizbetrieb. Foto: Mitsubishi Electric



Die Innengeräte sind mit **3D-i-see-Sensor-Technologie** für eine intelligente Klimatisierung ausgestattet. Der Sensor erkennt die Anwesenheit von Personen im Raum und passt die Temperatur entsprechend an. Foto: Mitsubishi Electric

im wahrsten Sinne des Wortes „in sich“. In ihrem Inneren ist ein Computerchip verbaut, der die Flugdaten beim Abschlag misst sowie die Flugbahn und die erreichte Punktzahl im Ziel den Spielern auf einem Monitor anzeigt.

Bestmögliche gebäude-technische Lösungen

Auch in anderen Bereichen spielt die Technik in dieser hochmodernen Anlage eine zentrale Rolle für den angenehmen Aufenthalt und das unvergleichliche Eventerlebnis. Beispielsweise sind für die Entwässerung des Spielfeldes viele industrielle Sonderlösungen verbaut worden. Da es sich um eine relativ große Fläche handelt, die zuverlässig entwässert werden muss, hat das Ingenieurbüro Fuhrmann & Keuthen beratende Ingenieure PartG mbB, ein Entwässerungskonzept entwickelt, sodass die im Boden verbauten Targets selbst bei Starkregen- oder

Jahrhundertregenereignissen nicht geflutet werden. Das Ingenieurbüro hat unter der Leitung des Geschäftsführers Dipl.-Ing. Lars Hendriks die Planung der gesamten Technischen Gebäudeausrüstung inklusive der Klimatisierung übernommen. „Während für diese und viele weitere gebäudetechnische Bereiche in enger Zusammenarbeit mit der Industrie Sonderlösungen erstellt und erarbeitet werden mussten, konnte das Klimasystem für das Gebäude dieser gerade auch aus planerischer Sicht außergewöhnlichen Event-Location aufgrund seiner hohen Flexibilität ohne Sonderanfertigungen oder Speziallösungen problemlos realisiert werden“, so Hendriks. Die Klimaanlage erfüllt im Wesentlichen die Aufgabe, reaktionsschnell verschiedene Heiz- oder Kühllasten im Gebäude aufbringen zu können.

Primär dient die Anlage zur Kühlung des Gebäudes. Die Grundlast-Temperierung erfolgt über klassische Heizkörper

mittels der vor Ort vorhandenen Fernwärme. Darüber hinaus entstehen manchmal kurzfristige Spitzenlasten, für die dann die Klimaanlage als Luft-Luft-Wärmepumpe zum Heizen genutzt werden kann. So unterstützt die Klimaanlage in der Übergangszeit und in den Wintermonaten die statische Heizungsanlage. Dies ist möglich, da das eingesetzte VRF-System über eine integrierte Wärmepumpenfunktion verfügt und über eine Umschaltfunktion jederzeit wahlweise den Kühl- oder den Heizbetrieb ermöglicht. Darüber hinaus erforderte die Architektur des Gebäudes eine hohe Flexibilität bei der Leitungsauslegung. Infrage kam also nur ein System, mit dem sich lange Rohrleitungen zwischen den Außen- und den Innengeräten realisieren lassen.

Klima-Technologie zum Kühlen und Heizen

Zum Einsatz kommt ein City Multi VRF-System der Y-Serie zum Kühlen oder Heizen von Mitsubishi Electric. Die Außengeräte der Y-Serie umfassen einen Leistungsbereich von 12,5 bis 150,0 kW Kälte- und 14,0 bis 168 kW Heizleistung. In dem Objekt sind insgesamt fünf Außengeräte vom Typ PUHY-P-YNW-A1 und PUHY-P-YNW-A1 in unterschiedlichen Leistungsstufen installiert. Mit einer Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) von 6,70 beziehungsweise 6,39 für den Kühlbetrieb, und einem Seasonal Coefficient of Performance (SCOP) von 4,16 beziehungsweise 4,13 im Heizbetrieb, überzeugt die YLM-Serie bereits in der Standard-Bauweise durch eine hohe Energieeffizienz und ermöglicht einen besonders energiesparenden Betrieb.

Die Versorgung im Gebäude erfolgt über 55 Innengeräte als 4-Wege-Deckenkassetten im klassischen Eurorastermaß. Dabei bilden immer mehrere Innengeräte und jeweils ein Außengerät einen Kältekreislauf. Die 4-Wege-Deckenkassette vom Typ PLFY kommen in unterschiedlichen Leistungsgrößen von 1,2 bis 5,6 kW Kälteleistung zum Einsatz. Der Betrieb erfolgt im Umluftverfahren, das heißt die Raumluft wird von den Innengeräten angesaugt, über einen Wärmetauscher geleitet und konditioniert wieder in den Raum geleitet. Auf diesem Weg wird die Raumluft entsprechend der Filterstufe gereinigt und entfeuchtet und sorgt so zusätzlich für ein hohes Maß an Hygiene.

Von besonderem Vorteil sind die kompakten Abmessungen von 570 mal 570 Millimeter, die den Einbau in die Zwischendecke nach dem genormtem Eurorastermaß erleichterten und zu einer schnellen Montagezeit beitrugen. Mit der geringen Höhe von 245 Millimeter konnten die Geräte zudem problemlos in die Zwischendecke mit einer begrenzten Einbauhöhe eingesetzt werden. Die moderne Innengeräte-Serie weist zudem zahlreiche Funktionalitäten auf. Der horizontale Luftausblas sorgt für eine optimale und für Nutzende nahezu zugluftfreie Durchströmung der zu klimatisierenden Räume mit gekühlter beziehungsweise vorerwärmter, gefilterter Luft.

Sensor passt Leistung bedarfsgerecht an

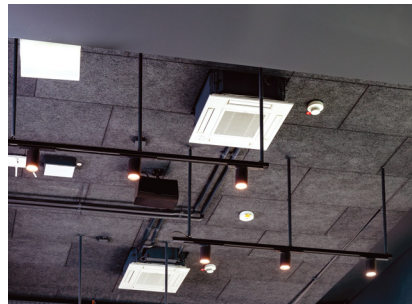
Alle Innengeräte sind mit 3D-i-see-Sensor-Technologie für eine intelligente Klimatisierung ausgestattet. Der Sensor erkennt die Anwesenheit von Personen im Raum und passt die Temperatur entsprechend an. Neben der Energieeinsparung sorgt dies auch für einen hohen Komfortstandard, da die Gäste so nicht direkt angeblasen werden. Durch die regelungstechnische Verknüpfung von Außen- und Innengeräten schalten die Geräte in einen erweiterten Energiesparmodus, wodurch die Kompressorleistung reduziert werden kann. Dies ermöglicht einen automatischen Energiesparbetrieb an Orten, an denen sich die Anzahl der Personen häufig ändert und deshalb geringere Wärmelasten abzuführen sind. Erhöht sich die Anzahl der Personen im Raum wieder, fährt der Kompressor mit seiner Leistung hoch.

Das Regelungskonzept basiert auf zwei unterschiedlichen Stufen. Zum einen gibt es eine raumgeführte Temperaturregelung mit einer Solltemperatur, die hinterlegt wurde. Darüber hinaus wurde hier auch ein zeitgesteuertes Programm hinterlegt, um den Betrieb in der Nacht auszuschließen und entsprechend energiesparend arbeiten zu können.

Für die Bedienung der Innengeräte in den einzelnen Temperaturzonen stehen in jedem Raum Kabelfernbedienungen als busfähige Gruppenfernbedienung zur Verfügung. Übergeordnet lassen sich sämtliche VRF-Systeme auch über eine gemeinsame Zentralfernbedienung steuern. Dieses Zentralsteuerungssystem bie-



Der horizontale Luftausblas sorgt für eine optimale und für Nutzende nahezu zugluftfreie Durchströmung der zu klimatisierenden Räume. Foto: Mitsubishi Electric



Gekühlte bzw. vorerwärmte gefilterte Luft: Als Innengeräte kommen Vier-Wege-Deckenkassetten im Euro-Rastermaß in unterschiedlichen Leistungsgrößen zum Einsatz.

Foto: Mitsubishi Electric



Das Zentralsteuerungssystem bietet die Möglichkeit des Fernzugriffs via Smartphone-App oder Internet, um beispielsweise den Betriebszustand oder eine eventuelle Fehlerdiagnose auszulesen. Foto: Mitsubishi Electric

tet dem Betreiber unter anderem auch die Möglichkeit des Fernzugriffs via Internet oder Smartphone-App, um beispielsweise den Betriebszustand oder eine eventuelle Fehlerdiagnose aus der räumlichen Distanz auszulesen. Auch Störmeldungen per E-Mail oder SMS sind möglich. Der betreuende Fachhandwerksbetrieb verfügt über einen Fernzugriff auf die Anlagendaten und kann Störungen gegebenenfalls aus der Ferne – ohne Vor-Ort-Einsatz – analysieren oder bestenfalls beheben.

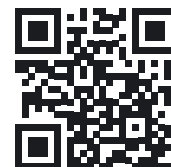
Neben den VRF-Systemen sind in Oberhausen auch noch drei Power Inverter Systeme aus der Mr. Slim-Serie für die Technikraumkühlung verbaut worden. Zur ganzjährigen Kühlung hängen zwei große 4-Wege-Deckenkassetten in einem großen Serverraum und werden redundant betrieben. Eine weitere Anlage besteht aus einem Mr. Slim-Außenmodul und einem Wandgerät, das in einem weiteren, kleineren Serverraum montiert wurde. Alle Systeme werden von dem

Zentralsteuerungssystem angesteuert und überwacht.

Fazit

Die Freizeit-Event-Location Topgolf in Oberhausen ist in vielerlei Hinsicht etwas Besonderes. Als erstes fertiggestelltes Objekt in Deutschland übernimmt die Anlage Vorbildcharakter und -funktion für weitere Anlagen, die durch das Unternehmen Greenreb in den kommenden Jahren in Deutschland, der Schweiz, Österreich und Italien geplant und gebaut werden sollen. Das gilt ebenso für Lösungen im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung wie beispielsweise der Klimatechnik. ■

www.mitsubishi-les.com



Das Projekt im Video:
Einfach den QR-Code scannen.

CO₂-freies Plusenergiehaus mit Baujahr 1970

Nachhaltige Verwandlung

Wer es nicht besser weiß, bezeichnet das Haus am Ende der Straße als „den Neubau“.

Tatsächlich versteckt sich hinter dem modernen weißen Zweifamilienhaus im südlichen Ruhrgebiet aber ein Baukörper aus dem Baujahr 1970. Das Haus wurde in mehreren Etappen energetisch ertüchtigt und produziert heute mehr Energie als seine Bewohner verbrauchen.

Als die junge Familie im Jahr 2001 das elterliche Zweifamilienhaus mit rund 240 Quadratmeter Wohnfläche übernahm, befand es sich energetisch im Originalzustand. Das bedeutete einen spezifischen primärenergetischen Energiebedarf von 270 kWh/m² im Jahr, nach heutiger Einstufung Energieeffizienzklasse H. Der durchschnittliche Gasverbrauch lag bei 45 000 kWh pro Jahr, was etwa mit 4 500 Litern Heizöl gleichzusetzen ist. Die Vorlauftemperatur für die Heizkreise betrug 75 °C.

Für die Familie war es deshalb wichtig, das Haus energetisch zu ertüchtigen – jedoch ohne es dafür komplett zu entkernen. Damit fiel auch die grundlegende Entscheidung, dass die Heizwärme wie gehabt über Heizkörper übertragen werden sollte. Daher wurden umfangreiche Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle durchgeführt. Die alten zweifachverglasten Holzfenster (U-Wert etwa 3,0) wurden gegen wärmedämmende Fenster mit einer Zwei-Scheiben-Isolierverglasung (U-Wert 1,4) getauscht, das Dach wurde mit 18,5 Zentimeter Dämmstärke gedämmt und neu gedeckt (U-Wert 0,23).

Auf der Südostseite des Daches wurde eine 16 Quadratmeter große Solarthermische Anlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung installiert und entsprechend für das erzeugte Warmwasser im Keller ein 800-Liter-Pufferspeicher mit 180 Liter Trinkwarmwasser-Tank aufgestellt. Dieses Maßnahmenpaket senkte den Gasverbrauch des Hauses um



Im Rahmen des letzten Umbaus mussten die auf dem Dach befindlichen Solarthermie-Module an die Fassade „umziehen“. Foto: Wolf GmbH

etwa ein Viertel auf 33 000 kWh. Jetzt entsprach das Gebäude mit einem spezifischen primärenergetischen Energiebedarf von 145 kWh/m² im Jahr nach heutiger Einstufung der Energieeffizienzklasse E. Die 1993 neu eingebaute Gasheizung mit einer Leistung von 29 kW blieb erhalten. Das Vorgängermodell, eine Ölheizung von 1970, hatte eine Leistung von 53 kW.

Ertüchtigung zum KfW-Effizienzhaus-Standard 55

Nach 18 Jahren wurde der Grundriss nochmals an die neuen Bedürfnisse der Bewohner angepasst und dabei das Gebäude im gleichen Zug energetisch auf den KfW-Effizienzhaus-Standard 55 er-

tüchtigt. Ziel war, das Haus zu einer modernen Wohn- und Gewerbeeinheit mit hoher Aufenthaltsqualität umzubauen. Die Gewerbeeinheit sollte ins Erdgeschoss einziehen, die Wohnung der sechsköpfigen Familie wurde im ersten Obergeschoss und im Dachgeschoss erweitert.

Auf der 30 Quadratmeter großen Dachterrasse entstand ein Holzständeranbau in Passivhausqualität. Im Rahmen der Ertüchtigung der bestehenden Aufsparrendämmung wurde die bestehende Dämmschicht des Satteldaches von 18 auf 28 Zentimeter verstärkt, auf beiden Dachschrägen wurden große Dachgauben eingebaut. Das bedeutete wiederum für die auf dem Dach befindlichen Solarthermie-Module, dass sie an die Fassade „umzie-

hen“ mussten. Dort wurden vier neue Solarthermie-Kollektoren installiert. Die thermische Solaranlage produziert von Februar bis November warmes Wasser, das sowohl dem Pufferspeicher als auch dem Trinkwarmwasserspeicher zugeführt wird.

Statt der 18 Jahre alten, doppelverglasten Fenster sind heute im ganzen Haus Holz-Alu-Fenster mit Dreifachverglasung in Passivhausstandard (U-Wert 0,7) eingebaut. Auch die neue Haustür entspricht dem Passivhaus-Standard.

An den Kelleraußenwänden wurde bis auf die Kellersohle hinunter eine Perimeterdämmung angebracht. Außerdem wurden die Außenwände (Urzustand: U-Wert 1,65) des Gebäudes mit einer ökologischen, 20 Zentimeter starken Holzfaserdämmung versehen (U-Wert 0,20). Zwischen die an den Wänden geschraubte Holzkonstruktion und die außen abschließende Holzfaserplattendämmung ist Holzwole eingeblasen.

Vorlauftemperatur zwischen 38 °C und 45 °C

Durch diese Maßnahmen konnte das neue Gas-Brennwert-Solar-Center deutlich kleiner ausfallen als sein Vorgängermodell. Die Heizung hatte jetzt statt 29 kW nur noch 20 kW Leistung und eine Vorlauftemperatur von 50 °C.

Um die jetzt luftdichte Gebäudehülle vor Feuchte-Schäden zu bewahren und gleichzeitig den Wohnkomfort zu erhöhen, haben die Bauherren eine zentrale Wohnraumlüftungsanlage eingebaut. Die Verrohrung in abgehängten Decken wurde in Eigenleistung durchgeführt. Durch diese weiteren Sanierungsschritte war mit einem spezifischen primärenergetischen Energiebedarf von 52 kWh/m² pro Jahr der KfW-55-Standard bereits unterschritten.

Bereits zwei Jahre später folgten die nächsten Maßnahmen mit dem Ziel, das Gebäude energetisch möglichst autark bewirtschaften zu können. Die Berechnung der erforderlichen Einzelmaßnahmen hat der Wärmepumpenspezialist Wattgeht durchgeführt. Jeder einzelne Raum wurde neu berechnet und die Vorlauftemperatur auf die geringstmögliche Gradzahl eingestellt. Somit konnten die Vorlauftemperatur sowie die tatsächliche Heizlast nochmals erheblich abgesenkt werden. Statt 12,2 kW aus der ursprünglichen Heizlastberechnung wurden 6 kW als die tatsäch-



Die Monoblockwärmepumpe ist elektronisch in ihrer Leistung auf 6 kW begrenzt. Foto: Wolf GmbH



Die aus 50 Modulen bestehende PV-Anlage auf einem Nebengebäude hat eine Leistung von 21 kWp. Foto: Wolf GmbH



Überschüssige Energie der PV-Anlage wird in einem Batteriespeicher mit 25,2 kWh Ladekapazität gespeichert. Foto: Wolf GmbH



Die Solaranlage produziert während des ganzen Jahres Warmwasser, das in einem Schichten-Pufferspeicher zwischengespeichert wird. Foto: Wolf GmbH

liche Heizlast bestimmt. Damit reduziert sich die Vorlauftemperatur für die Heizkörper je nach Witterung auf Werte zwischen 38 °C und 45 °C.

Für den Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger wurde die noch junge Gastherme gegen eine Monoblock-Wärmepumpe mit 10 kW Leistung ausgetauscht. Sie wurde elektronisch auf 6 kW begrenzt.

PV-Anlage und Batteriespeicher

Zuletzt wurde aus 50 Modulen eine rund 100 Quadratmeter große PV-Anlage auf einem Nebengebäude installiert sowie ein Batteriespeicher mit 25,2 kWh Ladekapazität im Kelleranschlussraum angeschlossen. Die Summe aller Maßnahmen hat bewirkt, dass sich das Gebäude zu einem Energie-Plus-Haus gewandelt hat, das deutlich mehr Energie produziert als es verbraucht. Der spezifische primärenergetische Energiebedarf liegt heute bei 8 kWh/m². Die SENECloud, ein virtuelles Konto für Stromguthaben, führt den im Sommer ins Netz eingespeisten Überschuss an PV-Strom in der Heizperiode der Wärmepumpe zu. Somit sind das Gebäude und die Elektrofahrzeuge der Familie so gut wie komplett energieautark.

Das zentrale Element der Haustechnik ist das Energiemanagementsystem des Batteriespeichers. Dieses sorgt dafür, dass der kostenlos erzeugte PV-Strom zuerst direkt im Haus, in der Wärmepumpe oder mit den Elektroautos verbraucht und in zweiter Instanz in den Speicher eingespeist wird. Erst wenn der Speicher voll beladen ist und keine weitere Energie mehr verbraucht werden kann, wird der überschüssige PV-Strom ins Netz eingespeist, wo er nach Bedarf wieder zur Verfügung steht.

Die ursprünglichen Energiemengen für die Heizungsanlage (18 500 kWh Erdgas/Jahr) konnten mit der Wärmepumpe auf 3 800 kWh Strom pro Jahr reduziert werden (16 000 kWh Wärmeenergie/JAZ 4,2). Die Gesamtenergiekosten für Heizung, Warmwasser, Haushaltsstrom und Strom für die E-Fahrzeuge belaufen sich auf unter 50 Euro pro Monat (vorher 600 Euro pro Monat). Die Investitionskosten der neuen Wärmepumpenanlage und der PV-Anlage mit Batteriespeicher werden sich nach maximal zehn Jahren amortisiert haben. ■

www.wolf.eu



Mit seinen kompakten Abmessungen (238 x 73 x 50 Millimeter) und einem Gewicht von nur 448 Gramm liegt das Gerät gut in der Hand.
Foto: Teledyne Flir

Überwachung der Luftqualität

Der Extech VPC260 von Teledyne Flir ist ein 6-Kanal-Partikelzähler zur Überwachung der Luftqualität am Arbeitsplatz. Mit sechs Kanälen erfasst das Gerät ein breites Spektrum an Partikelgrößen (0,3 µm, 0,5 µm, 1,0 µm, 2,5 µm, 5,0 µm, 10 µm). Die maximale Durchflussrate beträgt 1,06 cm³/min (1,0 l/min) und liefert damit umfangreiche Daten für ein ganzheitliches Verständnis von Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Sauberkeit der betrachteten Umgebung. Die Raumluftqualität kann auf Abgase, Rauch, lungengängigen kristallinen Siliciumdioxidstaub (RCS), entzündlichen Staub in der Luft und andere Luftschadstoffe überprüft werden. Drei Anzeigemodi stehen zur Auswahl: Kumulativ, Differenzial und Konzentration. Der interne Speicher kann bis zu 1 000 Datensätze erfassen.
www.teledyneflir.com



Der Hochdruck-Axialventilator wurde für industrielle Anwendungen und Prozessanwendungen entwickelt.
Foto: Systemair

Höhere Drücke und verbesserte Effizienz

Systemair hat mit dem AXC-H einen neuen Hochdruck-Axialventilator im Portfolio. Das Gerät ist in den Ausführungen 630 Millimeter und 710 Millimeter erhältlich und sowohl mit zwei- als auch vierpoligen Motoren verfügbar. Mit hoher Druckleistung in kleineren Baugrößen ermöglicht der Ventilator eine Kosten- und Platzerparnis. Darüber hinaus zeichnet sich die vierpolige Variante durch eine geringere Lautstärke im Vergleich zu Mitteldruckaxialventilatoren aus, was besonders in geräuschempfindlichen Umgebungen von Vorteil ist. Um die Auswahl des richtigen Produkts zu erleichtern, hat Systemair eigens einen Konfigurator entwickelt. Mit dem Tool können Kunden schnell den passenden Axialventilator und entsprechendes Zubehör für ihre Anforderungen auswählen.
www.systemair.de

Unkomplizierter Anschluss

Die Doyma GmbH & Co hat ihr Produktportfolio um zwei Anschlusssets für Luft-Wasser-Wärmepumpen (Monoblock) erweitert: Während es sich bei der Doymafix Connect HP/B um ein Anschlusssystem für erdberührte Gebäudeaußenwände handelt, ermöglicht die Doymafix Connect HP/P den fachgerechten Anschluss von Wärmepumpenanlagen durch die Bodenplatte. Beide Varianten werden als anschlussfertige Komplettsets inklusive der erforderlichen Abdichtung zum Gebäude ausgeliefert. Die Sets sind in DN 32 (in den Längen drei und fünf Meter) sowie in DN 40 (in den Längen: 10, 15 und 20 Meter) erhältlich. Die Verwendung von Edelstahlwellrohren schafft größtmögliche Flexibilität im Bauablauf. Das ebenfalls flexible Mantelrohr zeichnet sich durch einen geringen Biegeradius von nur 0,5 Meter aus. www.doyma.de



Das Anschlussset ermöglicht den fachgerechten Anschluss von Wärmepumpenanlagen durch die Bodenplatte.
Foto: Doyma

Besseres Raumklima durch Luftbefeuchter

Der Dampf-Luftbefeuchter Condair RH ergänzt eine kontrollierte Wohnraumlüftung und sorgt damit für ein ideales Wohlfühlklima. Das Wandgerät, geeignet für Neubauten wie für die Nachrüstung, benötigt nur eine Wandsteckdose und einen Wasseranschluss. Bedient wird der Befeuchter über eine Smartphone-App, in der Nutzende die zu erzielende Luftfeuchtigkeit vorgeben und den Gerätebetrieb überwachen können. Angenehmer Nebeneffekt der Luftbefeuchtung ist, dass feuchte Luft als wärmer empfunden wird als trockene. Daher kann die Heizung bei einer idealen relativen Feuchte (40 bis 60 Prozent) oft um ein oder zwei Grad heruntergeregelt werden. www.condair.de



Der Dampf-Luftbefeuchter kann bis zu 1,8 Kilogramm Dampf pro Stunde erzeugen.
Foto: Condair

Neues Edelstahl-Presssystem

Mit dem Edelstahl-Presssystem Mapress Therm hat Geberit zwei elementare Eigenschaften bestehender Systeme zusammengeführt. In Kühlanlagen und Heizungssystemen ist Kondensat oder Feuchtigkeit an Rohrleitungssystemen nicht immer vermeidbar. Das neue Produkt bietet Installateuren und Betreibern für diese Situationen eine wirtschaftliche Lösung mit Korrosionsbeständigkeit. Das niedrig legierte Systemrohr besteht aus CrTi Edelstahl 1.4520. Hauptanwendungsbereiche sind geschlossene Kühl- und Heizungskreisläufe mit und ohne Frostschutzmittel sowie Solar-, Fernwärme- und Druckluftanwendungen. Das Rohrleitungssystem wird mit den gleichen Installationsroutinen verarbeitet wie das bewährte Mapress Pressverbindingssystem und eignet sich gleichermaßen für Haustechnik, industrielle Anwendungen und Wohnanlagen. Verfügbar ist es ab dem 1. April 2024.

www.geberit.de/mapress-therm



Die korrosionsbeständigen Systemrohre sind durch die orangefarbene Linie sowie weitere Kennzeichnungen klar erkennbar.

Foto: Geberit



Die WPL 10/13 HK Premium kann nicht nur Heizen, sondern auch Kühlen.

Foto: Stiebel Eltron

WP für die Heizungs-sanierung

Mit der WPL 10/13 HK Premium hat Stiebel Eltron eine Wärmepumpe für den Heizungstausch im Bestand vorgestellt. Die Luft-Wasser-Wärmepumpe aus dem Low-GWP-Portfolio erreicht im reinen Wärmepumpenbetrieb Vorlauftemperaturen von bis zu 65 °C. Das Modell WPL 10 HK hat eine Wärmeleistung von 8,60 Kilowatt, die WPL 13 HK erreicht als stärkere Variante bei gleichen Bedingungen 11,60 Kilowatt Leistung. Die Leistungszahl liegt bei A2/W35 nach EN 14511 bei beiden Varianten bei 3,82. Beide Wärmepumpen sind invertergeregelt und passen ihre Leistung dadurch stets an den aktuellen Bedarf an. Die Aufstellung erfolgt als kompakte Monoblock-Ausführung im Außenbereich, der Schallleistungspegel liegt bei 55 dB(A). Bis zu sechs Wärmepumpen können zu einer Standard-Kaskade zusammengefasst werden. www.stiebel-eltron.de



Der Wirkdruck wird über die patentierte Achse direkt in das Regelgerät geleitet, daher sind keine Anschlussdosen erforderlich.

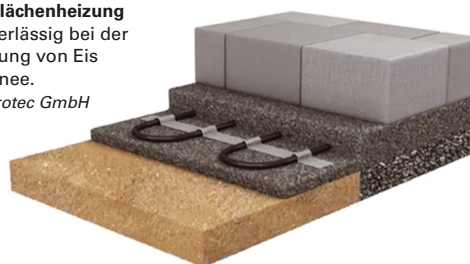
Foto: Trox

Eckiger Volumenstromregler

Mit der Einführung der TVE-Serie präsentierte Trox erstmals ein völlig neues Messprinzip zur präzisen Erfassung des Wirkdrucks und der automatischen Regelung des Volumenstroms. Nun folgt auf den runden Volumenstromregler TVE ein Schwestermodell für rechteckige Kanäle. Bei typischen Reglern erfolgt die Messung des Wirkdrucks mittels Messlanzen im Lüftungskanal. Dabei muss sowohl die korrekte Anströmrichtung wie auch eine ausreichende Anströmlänge für exakte Messergebnisse beachtet werden. Die Neuerung bei dem Trox-Produkt: Die Messung des Wirkdrucks erfolgt direkt über das Klappenblatt. Dieses patentierte Messprinzip wurde jetzt auf die rechteckige TVE-Q-Variante übertragen. Ein zentraler Kanal in der Klappenachse überträgt den Wirkdruck beim TVE-Q an den Transmitter, der direkt ins Stellmotorgehäuse integriert ist. Hierdurch können selbst bei geringen Luftgeschwindigkeiten < 1 m/s exakte Messwerte ermittelt werden. Der Vorteil: Durch den Wegfall von Messlanzen, außen liegenden Schläuchen oder Sensorik wird eine äußerst kompakte Bauform erzielt, die auch bei engen Platzverhältnissen einen problemlosen Einbau ermöglicht – bei dynamischer Messung sogar unabhängig von der Anströmrichtung. Selbst bei statischer Messung ist die Einbaulage beliebig. www.trox.de

Die Freiflächenheizung hilft zuverlässig bei der Beseitigung von Eis und Schnee.

Foto: Herotec GmbH



Option gegen Eis und Glätte

Mit der Freiflächenheizung tempusVolt out hat Herotec eine Systemlösung im Programm, die im Winter für gesteigerte Sicherheit sorgt: Schnee und Eis auf Wegen, Rampen, Einfahrten und anderen Außenflächen kann damit automatisiert beseitigt werden; weder Personal noch Streusalz sind dafür notwendig. Die ganzjährig verfügbare Freiflächenheizung ist komfortabel zu verlegen und für zwei Einbausituationen angepasst: Estrich/Sand, Beton und Gussasphalt. Sie verfügt über einen äußerst robusten Außenmantel. Die Eckdaten: Netzspannung 400 V, Leistung 300 W/m², CE-konform. www.herotec.de

Fehlerhafte Rechnungsprüfung und Schadensersatz

Eine fehlerhafte Rechnungsprüfung durch den Objektüberwacher kann – insbesondere im Fall der Überzahlung des Unternehmers – Schadensersatzansprüche gegen den Objektüberwacher auslösen.

Über einen solchen Fall hat das Oberlandesgericht Köln (Urteil vom 16.4.2021 – 19 U 56/20) entschieden: Der Kläger hat die Beklagte zu 1 mit Bauleistungen beauftragt, die Beklagte zu 2 mit den Leistungen der Objektüberwachung. Die Beklagte zu 1 hat die Leistung anders ausgeführt als geplant, wobei streitig ist, ob dies die einzig ausführbare Bauweise ist oder nicht. In diesem Zusammenhang ist auch bislang ungeklärt, ob abgerechnete Mehrkosten als Massenmehrung (Paragraf 3 Absatz 2 VOB/B) oder als Vergütung einer eigenmächtigen Leistungsabweichung (Paragraf 2 Absatz 8 Nr. 2 VOB/B) vergütungsfähig sein können. Der Kläger verlangt von der Beklagten zu 1 Rückzahlung einer Überzahlung in Höhe von 55 000 Euro, von der Beklagten zu 2 Schadensersatz in derselben Höhe wegen fehlerhafter Rechnungsprüfung.

Das Oberlandesgericht weist die Klage gegen die Beklagte zu 2 ab. Der Planer ist im Rahmen seiner Verpflichtungen aus der Bauüberwachung verpflichtet die Rechnungen von Bauunternehmen daraufhin zu überprüfen, ob sie fachtechnisch und rechnerisch richtig sind, ob also die in Rechnung gestellten Leistungen erbracht worden sind und die Abrechnung der vertraglichen Vereinbarung entspricht. Unterlaufen dem Planer dabei Fehler, die dazu führen, dass der Auftraggeber einen zu hohen Betrag auszahlt, kommt eine Haftung in Betracht. Bei einer Überzahlung steht dem Auftraggeber ein Rückzahlungsanspruch gegen den Unternehmer zu. Das Gericht kommt aber zu dem Ergebnis, dass ein Schaden des Auftraggebers nicht erst dann besteht, wenn der Rückzahlungsanspruch gegen den Unternehmer (endgültig) gescheitert ist, insbesondere wegen dessen Insolvenz. Bereits die Überzahlung als solche stellt einen vom Planer verursachten Schaden im Sinne einer Vermögenseinbuße dar. Das Bestehen eines Schadens wird nämlich nicht dadurch gehindert, dass der Geschädigte zugleich gegen einen Dritten (hier den Unternehmer) einen Ersatzanspruch hat. Der Auftraggeber kann den Planer daher unmittelbar in Anspruch nehmen, muss allerdings im Gegenzug den Rückzahlungsanspruch gegen den Unternehmer an den Planer abtreten, der diesen dann im eigenen Namen gegen den Unternehmer geltend machen kann.

Im konkreten Fall kann das Gericht aber keine schuldhaft Pflichtverletzung der Beklagten zu 2 erkennen. Zum einen hat der Kläger nicht hinreichend konkret dargestellt, worin genau die Pflichtverletzung gelegen haben soll. Darüber hinaus stellt das Oberlandesgericht fest, dass es hier für die Frage einer etwaigen Pflichtverletzung darauf ankam, ob von einer Mengenmehrung oder von Ausführungsabweichung auszugehen war. Das stellt eine Rechtsfrage dar, die insbesondere eine Auslegung des Vertrages erfordert. Nach Ansicht des Gerichts würden die Sorgfaltsanforderungen des Objektüberwachers bei der Prüfung von Abschlagsrechnungen erheblich überspannt, würde man ihm einen schuld-

haften Pflichtverstoß vorwerfen, wenn er in einer komplexen Situation wie im vorliegenden Vertragsverhältnis solche Rechtsfragen unzureichend erfasst oder unrichtig beantwortet.

Im Hinblick auf den Anspruch gegen den Unternehmer, den Beklagten zu 1, stellt das Gericht fest, dass im vorliegenden Fall keine Massenüberschreitung vorlag, sondern eine eigenmächtige Abweichung vom Vertrag und eine Vergütung daher nur in Betracht kommt, wenn der geschuldete Erfolg nur über die vom Unternehmer gewählte Art der Ausführung erreicht werden konnte und dem mutmaßlichen Willen des Auftraggebers entsprach. Paragraf 2 Absatz 8 Nr. 2 Satz 2 VOB/B fordert als Anspruchsvoraussetzung für einen Vergütungsanspruch zudem eine unverzügliche Anzeige der eigenmächtig ausgeführten Leistung an den Auftraggeber; eine Anzeige an den Objektüberwacher wird als nicht genügend angesehen. Das Gericht sieht mangels Anzeige im vorliegenden Fall einen Anspruch als nicht gegeben an. Es übersieht allerdings, dass Paragraf 2 Absatz 8 Nr. 2 Satz 3 VOB/B auf die Regelungen der Geschäftsführung ohne Auftrag im BGB verweist, die ebenfalls zu einem Vergütungsanspruch führen, wenn die eigenmächtige Abweichung interessengerecht war und dem mutmaßlichen Willen des Auftraggebers entsprochen hat. Die dort geforderte Anzeige stellt keine Anspruchsvoraussetzung dar, sodass die fehlende Anzeige im Ergebnis nicht relevant ist.

Allerdings bedarf es einer Anzeige nicht, wenn der Auftraggeber die eigenmächtige Abweichung nachträglich anerkannt hat, Paragraf 2 Absatz 8 Nr. 2 Satz 1 VOB/B. In der Prüfung von Abschlagsrechnungen oder der Schlussrechnung durch den Objektüberwacher liegt kein nachträgliches Anerkenntnis. Die Leistung von Abschlagszahlungen stellt generell keinerlei Anerkenntnis (im Hinblick auf den Leistungsstand, die Mangelfreiheit, die Beauftragung der abgerechneten Leistung) dar, sondern nur eine vorläufige Zahlung auf einen voraussichtlichen späteren Schlussrechnungsbetrag. Im Übrigen kann der Objektüberwacher auch ein solches Anerkenntnis nicht abgeben; dies kommt nur dem Auftraggeber zu. Auch die Tatsache, dass sich der Auftraggeber (notgedrungen) mit dem abweichend vom Vertrag ausgeführten Werk abfindet, wird nicht als Anerkenntnis angesehen. ■



Dr. Reinhard Voppel

Rechtsanwaltskanzlei
Osenbrück, Bubert, Kirsten, Voppel, Köln
www.obkv-rechtsanwaelte.de

Foto: Foto Stephan Behrla/Nöhrbaß GbR

Jetzt auf E-Paper-Teamlizenz umstellen und profitieren

**50%
Rabatt***

Ihre Vorteile:

- * **50% Rabatt auf den regulären Jahresabonnementpreis.**
Angebot nur gültig für das erste Jahr sowie nur für Neu-Abonent*innen.
- E-Paper für den Desktop
- Downloadfunktion
- Zugriff auf das Archiv
- Volltext-Suche über das Archiv seit 2015
- E-Paper bereits fünf Tage vor Printausgabe verfügbar

Ihre Zugänge:

- Bis 10 Nutzer*innen = personenbezogene Zugangscodes
- Ab 10 Nutzer*innen = IP-Range

Jetzt E-Paper-Lizenz HLH bestellen!

Anzahl Nutzer*innen	Preise in EUR
1	219,20
2–5	438,40
6–10	657,60
11–50	876,80
> 50	1.096,00

Alle Preise brutto.



Technikwissen für Ingenieur*innen

Leserservice VDI Fachmedien
T +49 6123 9238-202
E vdi-fachmedien@vuservice.de





DC TOWER, WIEN

mit hygienischer Luftbefeuchtung durch
Dampf-Luftbefeuchter von Condair

Der Donau City Tower ist ein architektonisches Wahrzeichen der Stadt Wien und mit seiner Gesamthöhe von 250 Metern das derzeit höchste Gebäude Österreichs. Er ist Teil des Donau City Komplexes und befindet sich direkt am Ufer der Donau. Sein Design zeichnet sich durch eine avantgardistische Form und die Verwendung von Glas und Stahl aus, das dem Gebäude eine futuristische Ästhetik verleiht.

Das Gebäude wurde nach ökologischen Gesichtspunkten gestaltet und erhielt die LEED-Gold-Zertifizierung, was seine umweltfreundlichen Eigenschaften hervorhebt. Für eine gesunde Raumluftfeuchte sorgen Dampf-Luftbefeuchter RS von Condair.



Condair GmbH
Parkring 3, 85748 Garching
Tel. +49 89 20 70 08-0
www.condair.de

Luftbefeuchtung, Entfeuchtung
und Verdunstungskühlung

 **condair**