



VENTILATIVE COOLING

Nachtlüftungskonzepte gegen sommerliche Überwärmung

Fazit eines Branchenforschungsprojektes im Programm Collective Research
gefördert durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)
und kofinanziert durch die Initiative Ziegel im Forschungsverein Steine-Keramik

FORSCHUNG FÜR KÜHLE KÖPFE

VENTILATIVE COOLING MIT SYSTEM

Mit Blick auf immer heißere Sommer und Übergangszeiten befasst sich das Branchenforschungsprojekt „CoolBRICK“ mit der Evaluierung des Kühlpotenzials, den daraus abgeleiteten normativen Rechenansätzen für passive Nachtlüftungsstrategien sowie der Nutzung von Speichermassen. Zusätzlich wird das Kühlpotenzial der Nachtlüftung durch intelligente Regelstrategien und automatisch gesteuerte Fensteröffnungen untersucht.

Die Nutzung thermischer Speichermassen mit natürlicher, ventilativer Kühlung ermöglicht es, in Wohn-, Büro- oder Betriebsgebäuden im Sommer ausreichend Wärme abzuführen, um den Einsatz mechanischer Kühlung zu vermeiden und Überhitzung zu verhindern. Entscheidend sind eine ausreichende Nachtlüftung, eine effektive Verschattung während des Tages sowie die Aktivierung der Speichermassen.

FORSCHUNGS- UND PROJEKTFÖRDERUNG

Dieses Forschungsprojekt wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen der Collective Research Forschung gefördert und vom Forschungsverein Steine-Keramik mit der Initiative Ziegel durchgeführt, um das Wissen der gesamten Branche zur Verfügung zu stellen.

PROJEKTPARTNER

Forschungsverein Steine-Keramik (Projektleitung)
Verband Österreichischer Ziegelwerke (VÖZ)
Fachhochschule Salzburg
Universität für Weiterbildung Kretz
VELUX Österreich GmbH
ZAB Zukunftsagentur Bau GmbH



Universität für
Weiterbildung
Kretz



VELUX®

ZAB ZUKUNFTS
AGENTUR
BAU



IMPRESSUM

Herausgeber: Department für Bauen und Umwelt, Zentrum für Bauklimatik und Gebäudetechnik, Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30, 3500 Krems an der Donau. www.donau-uni.ac.at/dbu/zbg | Für den Inhalt verantwortlich: siehe Projektpartner | Fotos: siehe Bildbeschreibungen, Foto Titelbild: temer - stock.adobe.com | Erstellung: 2025 | Druck: 06/2025 | Text: www.unisono-pr.at | Layout: www.schaner.at

VORWORT

IMPULSGEBER FÜR INNOVATIONEN AM BAU

Es wird warm und immer wärmer – der Trend der Klimaerwärmung lässt sich durch eine Vielzahl von langjährig gesammelten Daten aus Wetterstationen und anderen Quellen eindeutig nachweisen.

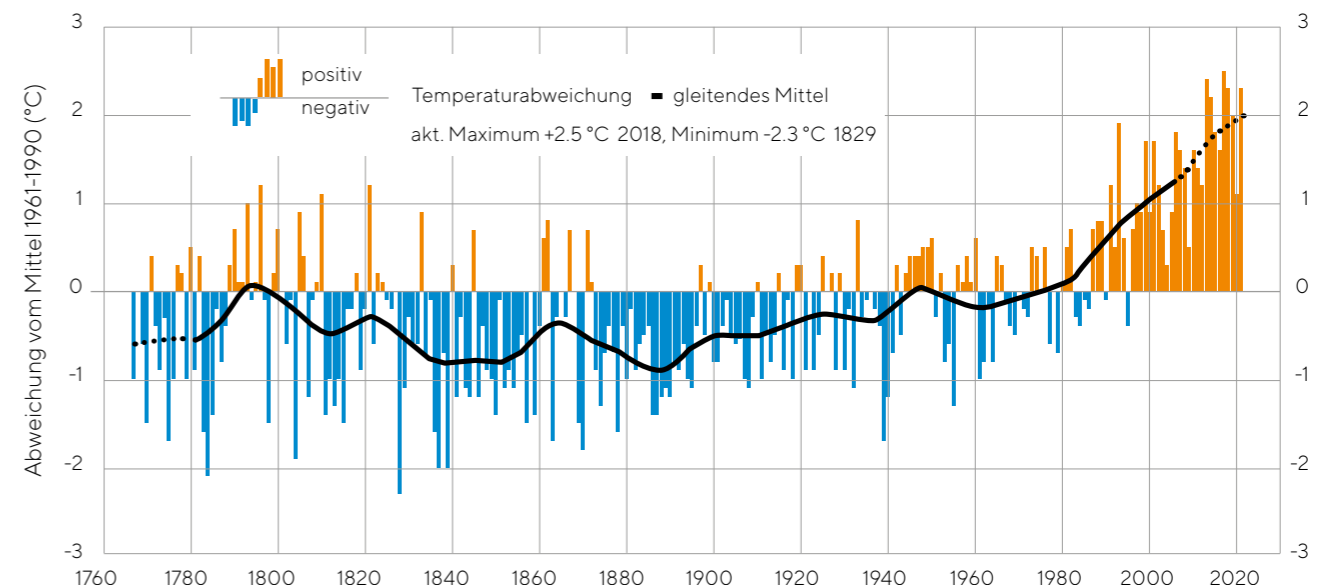
Das Risiko erhöhter, unangenehmer Innenraumtemperaturen ist bereits in den jährlichen Übergangszeiten ohne aktives Zutun der Nutzenden deutlich spürbar. Intuitiv öffnen wir deshalb in der Nacht die Fenster – diese Nachtlüftung über die Fensteröffnung stellt an zahlreichen Standorten nach wie vor eine außerordentlich energieeffiziente Maßnahme zur Vermeidung oder zumindest Reduktion der Überwärmung von Gebäuden dar.

Im Wohnbau ist das nächtliche Öffnen der Fenster relativ einfach, solange jemand zu Hause ist. Ein Raumverbund durch geöffnete Türen kann ebenfalls helfen – doch im Zweckbau und insbesondere in Dienstleistungsgebäuden erfordert diese Art der Lüftung eine Automatisierung, da nachts keine Personen anwesend sind – dennoch müssen Regen-, Wind- und Einbruchschutz sichergestellt sein. Selbst im Wohnbau ließe sich durch maßvolle Automatisierung das Potenzial der Kühlung noch deutlich steigern. Hierzu finden sich in der Praxis bisher nur einige ausgewählte Beispiele mit entsprechenden Nachtlüftungskonzepten wie etwa in Schulen, wo frische Luft und ein gutes Lernklima am Folgetag besonders wichtig sind.

Hier kommt nun das Forschungsprojekt ins Spiel: Um der sommerlichen Überwärmung entgegenzuwirken, wurden gezielte Nachtlüftungskonzepte entwickelt, die die Speichermassen ausnützen.

In diesem Folder erfahren Sie, wie dies funktionieren kann: Anhand empirisch ermittelter Daten wird aufgezeigt, welche Luftwechselraten für passive Kühlstrategien bei entsprechend unterschiedlichen Randbedingungen nachts angesetzt werden können, welches Kühlpotenzial damit möglich ist. So kann gezeigt werden, wie Gebäude selbst in langen Hitzeperioden kühl bleiben – und wie ein angenehm temperierter Raum erholsamen Schlaf und einen entspannten Start in den Tag ermöglicht.

Der Trend der Temperaturabweichungen der letzten 30 Jahre zeigt klar nach oben.



Quelle: www.zamg.at/histalp, Stand 22.12.2022 inkl. Prognosen



>> Dieses Forschungsprojekt zeigt beispielhaft, wie man auf den Klimawandel reagieren und als Impulsgeber für Innovationen in der Bauwirtschaft dienen kann. Der Schwerpunkt auf umweltfreundliche Kühlkonzepte für Gebäude stellt einen bedeutenden Beitrag dar, um auch bei anhaltender Hitze ein komfortables Raumklima zu schaffen und damit die Lebensqualität der Bewohnerinnen sowie Bewohner und auch bei öffentlichen Gebäuden nachhaltig zu verbessern. <<

Mag. Johanna Mikl-Leitner
Landeshauptfrau NÖ

Foto: zVg

AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

COOL BLEIBEN TROTZ KLIMAWANDEL – STRATEGIEN FÜR ENERGIEEFFIZIENTEN HITZESCHUTZ IN GEBÄUDEN

„Der Klimawandel ist längst eine Klimakrise“, sagt Markus Winkler von der Universität für Weiterbildung Krems. „Wir müssen jetzt handeln, um ihr entschieden entgegenzuwirken. Denn dass dabei auch Gebäude überhitzen können, ist längst bekannt.“

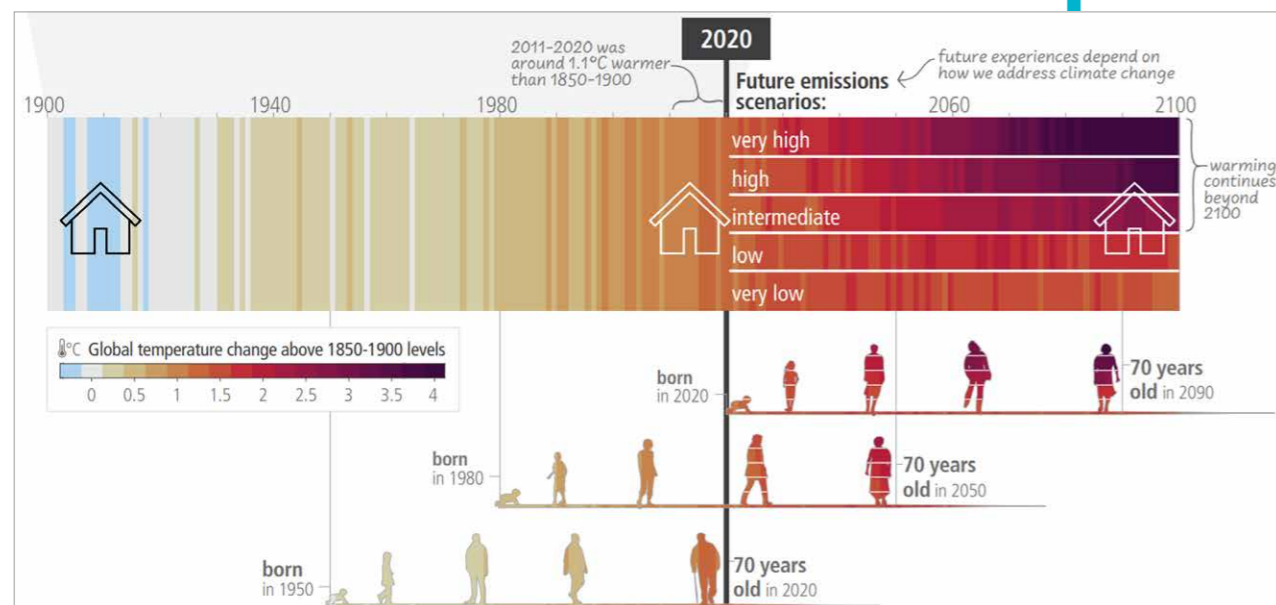
AUSGANGSLAGE

Bereits in den Übergangszeiten speichern Gebäude viel Wärme – und das betrifft längst nicht mehr nur Bauten in Großstädten oder überhitzten Stadtgebieten, sondern zunehmend auch Gebäude im ländlichen Raum. Die Lage wird sich in den nächsten 20 bis 30 Jahren deutlich verschärfen und sich nicht von selbst verbessern. Deshalb braucht es eine umfassende und rasch umsetzbare Strategie, um unsere Gebäude effektiv und möglichst energieeffizient zu kühlen.

Gebäude bieten einen wichtigen Schutz vor Hitze und Hitzewellen, insbesondere für vulnerable Personengruppen. Menschen verbringen etwa 90 Prozent ihrer Zeit in Innenräumen – sowohl im Winter als auch im Sommer. Insbesondere durch den Klimawandel zeichnet sich nun ein steigender Kühlbedarf in Gebäuden ab. Kältemaschinen wie Klimaanlage können die Raumtemperaturen zwar senken, erfordern jedoch einen hohen Energieeinsatz – was wiederum den Klimawandel und die Betriebskosten weiter anheizt. Ein Teufelskreis.

In Wohngebäuden erfolgt die Lüftung meist manuell in den kühleren Nachtstunden, in Nichtwohngebäuden wird oft vollständig auf die Nachtlüftung verzichtet, da Wind, Regen oder andere unvorhersehbare Ereignisse eintreten können und das Risiko für Einbrüche steigt. Automatisierung kann dazu beitragen, diese Probleme effizient zu beheben und das Kühlpotenzial zu optimieren. Aus baurechtlicher Sicht regelt dies die OIB-Richtlinie 6 (2019/2023), die unter dem Titel „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ einen sommerlichen Wärmeschutz vorgibt. Diese gilt für den Neubau und größere Renovierungen und funktioniert analog zum Wärmeschutz im Winter. Doch dadurch ist das Bedürfnis nach Innenraumkomfort nicht automatisch gedeckt – und hier kommt das Forschungsprojekt „CoolBRICK“ ins Spiel.

Temperatur-
entwicklung
seit 1900 und
Prognose bis
2100



Grafik: IPCC (Climate Change 2023: Synthesis Report. Summary for Policymakers), adaptiert

ZIELSETZUNG

Um den Energie- und Ressourcenverbrauch durch Gebäudekühlung nicht anzutreiben, müssen dringend Planungs- und Kühlstrategien weitgehend ohne Einsatz energieintensiver, mechanischer Kühlkonzepte entwickelt werden – zum Beispiel in Form passiver Kühlösungen. Genau das ist das Ziel des Forschungsprojekts „CoolBRICK“. Ein großes Konsortium forscht dabei an der Erhebung des Potenzials passiver, ventilativer Nachtkühlungsstrategien.

Im Fokus steht die Abkühlung von Speichermassen wie Ziegelwänden und Betondecken durch natürliche Nachtlüftung. Dies ist essentiell, da selbst unter Verwendung von sehr effektiver Außenbeschattung sich bei längeren Hitzeperioden alle Bauteile eines Gebäudes unweigerlich erwärmen. Erst wenn diese in den Nachtstunden wieder „entwärmt“ werden, kann ein Gebäude längerfristig kühl gehalten und angenehm temperiert werden.

MONITORING VON TESTGEBÄUDEN

Durch ein umfassendes Monitoring zweier völlig baugleicher Ziegelsimulationsräume am Gelände der BAU Akademie Salzburg wurden sowohl unterschiedliche Regelungsstrategien der Nachtlüftung als auch die Lüftungseffekte bei unterschiedlichen Öffnungssituationen bei identischem Klima und denselben Rahmenbedingungen evaluiert. Zusätzlich wurden umfangreiche thermodynamische Simulationen durchgeführt.

Die Ergebnisse liefern eine Potenzialabschätzung der Kühlleistung derart passiver Maßnahmen bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen. Diese sind eine Basis sowohl für Berechnungsgrundlagen für Normen zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung als auch für Planungsleitfäden.

Zwei identische Simulationsräume, ein Ziel: Optimale Nachtlüftung – Monitoring und Simulation liefern klare Erkenntnisse für energieeffizientes Bauen.



Foto: ZAB



>> Unsere Arbeit richtet den Fokus auf die Erhebung empirischer Daten, da bislang kaum valide und umfassende Daten zu realen Luftwechselraten und deren Einflussfaktoren vorliegen. Gerade im Bereich der automatisierten Nachtlüftung fehlen belastbare Grundlagen für die zuverlässige Weiterentwicklung von Planungs- und Regelstrategien.

Durch die systematische Datenerhebung unter realen Bedingungen schaffen wir eine fundierte Basis, die nicht nur Forschungslücken schließt, sondern vor allem der Baubranche einen klaren Mehrwert bietet: Wir erhalten konkrete Anhaltspunkte für die Auslegung und Optimierung von Lüftungskonzepten – insbesondere hinsichtlich Energieeffizienz, Nutzerkomfort und der Einhaltung von Klimazielen.<<

Bmstr. Arch. DI Gunther Graupner
Geschäftsführer ZAB

Foto: Veigl Fotografie

MIT DATEN ZUR ZUKUNFT DES GESUNDEN RAUMKLIMAS

WIE INTELLIGENTE STEUERUNG UND PRÄZISE DATENERHEBUNG NEUE MASSSTÄBE FÜR EFFIZIENTE NACHTLÜFTUNG SETZEN

Mittels zweier identischer Testgebäude an der BAU Akademie Salzburg wurde über ein Langzeitmonitoring empirisch eine fundierte Datengrundlage für Nachtlüftungskonzepte geschaffen.

Zu Projektstart wurden verschiedene Lüftungskonzepte gründlich untersucht und implementiert. Dazu erklärt Markus Winkler: „Wir haben zusätzlich zu den bestehenden Fenstern sogar je ein Flachdachfenster nachträglich in die Decke eingesetzt, um auch den Effekt von drei Öffnungsebenen testen zu können.“

Während der gesamten Projektlaufzeit wurde an den beiden Testgebäuden Z1 und Z2 ein Langzeitmonitoring durchgeführt. Alle Fenster und Sonnenschutzsysteme ließen sich automatisch und ferngesteuert bedienen. Über 200 Sensoren an und in den beiden baugleichen Gebäuden ermöglichten es, verschiedene Nachtlüftungsstrategien präzise zu erfassen und unter exakt gleichen klimatischen Bedingungen genau miteinander zu vergleichen. Es bestand sogar die Möglichkeit einer vollautomatischen Tracergasmessung zur Evaluierung der Luftwechselrate.

MPC – MODELLPRÄDIKTIVE REGELUNG

Die Ansteuerung der Fenster übernahm eine modellprädiktive Regelung (MPC). Diese vorausschauende Steuerung auf Basis von KI-Modellen sorgt in der Nacht für einen hohen Luftwechsel (ventilative Kühlung) mit maximalem Wärmeabtransport, damit die Speichermassen, die untertags die eingestrahlte Wärme aufgenommen haben, wieder entladen werden. Albert Treytl vom Department für Integrierte Sensorsysteme, der mit seinem Team im Projekt für die Infrastruktur zur Datenerfassung und die modellprädiktive Regelung (MPC) der Fenster verantwortlich war, erklärt: „Auch wenn die Steuerung nur drei Sensoren benötigte, war der hohe messtechnische Aufwand notwendig, um fundierte Ergebnisse zur Validierung zu erhalten.“

Die Messungen fanden über mehrere Monate hinweg unter realen Wetterbedingungen statt – mit variierenden Fensteröffnungen und Wettereinflüssen. Besonders zu erwähnen ist der Einsatz der sogenannten Konstant-Emissions-Methode (KEM) – einer speziellen, bislang kaum angewandten Methode innerhalb der Tracergas-Technik – zur Ermittlung der Luftwechselraten. Im Gegensatz zur Konzentrations-Abfall-Methode (KAM), die üblicherweise verwendet wird, war damit ein Einsatz bei aktiver Regelung durch die MPC und eine Messung über ganze Lüftungsächte möglich.

Durch die so gewonnenen Daten konnten typische Luftwechselraten (LWR) ermittelt und in Gruppen (Cluster) zusammengefasst werden – eine wertvolle Grundlage für die Planung effizienter Nachtlüftungskonzepte und zur Einschätzung ihres Kühlpotenzials.

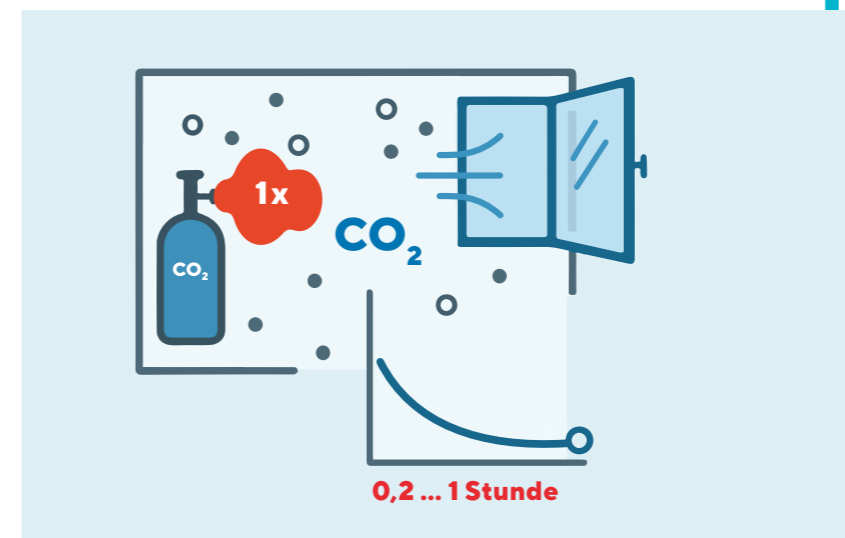


>> Der Klimawandel ist längst eine Klimakrise – eine, der man schnell und effizient entgegenwirken muss. Auch die Überwärmung von Räumen und Gebäuden stellt eine zentrale Herausforderung dar. Um den Energie- und Ressourcenverbrauch durch Gebäudekühlung nicht anzutreiben, müssen dringend Planungs- und Kühlstrategien weitgehend ohne Einsatz energieintensiver Kühlkonzepte gefunden werden – etwa passive Kühlösungen. Genau das war das Ziel des Forschungsprojekts. <<

Dipl.-Ing. Markus Winkler
Leiter des Zentrums für Bauklimatik und Gebäudetechnik am Department für Bauen und Umwelt an der Universität für Weiterbildung Krems

Foto: Daniel Novotny

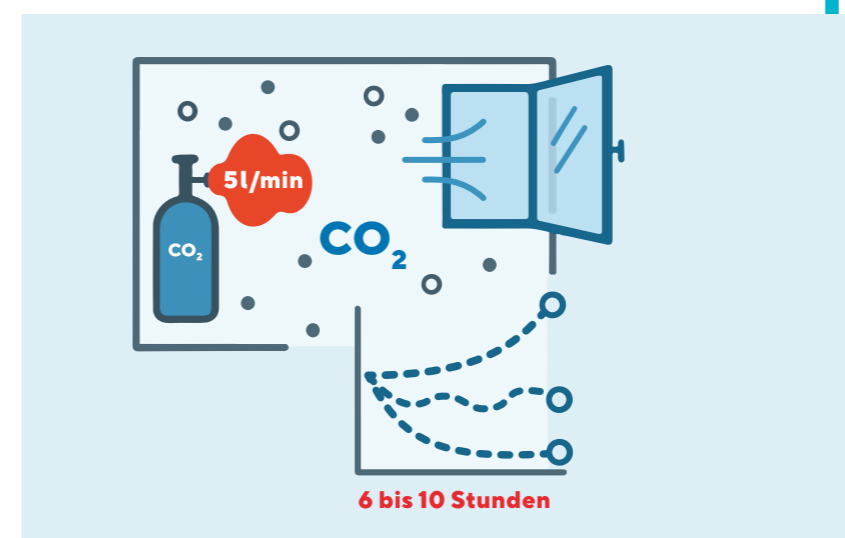
KONZENTRATIONS-ABFALL-METHODE (KAM)



Bei der KAM wird das Tracergas CO₂ in den Raum eingebracht und mithilfe eines Ventilators gut durchmischt. Sobald die Fenster geöffnet werden, werden sowohl das Einbringen des Gases als auch die Durchmischung gestoppt. Anhand der Zeit, die das CO₂ braucht, um auf einen bestimmten Zielwert abzusinken, kann die Luftwechselrate berechnet werden.

Diese Methode liefert nur kurze Momentaufnahmen, da die Messdauer meist unter einer Stunde liegt. Sie eignet sich gut für schnelle Messungen und ist im Vergleich zu anderen Verfahren kostengünstiger.

KONSTANT-EMISSIONS-METHODE (KEM)



Bei dieser Methode wird das Tracergas auch während des gesamten Lüftungsvorgangs kontinuierlich eingebracht. So kann die schwankende CO₂-Konzentration über ganze Lüftungsächte hinweg genau gemessen werden.

Der große Vorteil der KEM liegt darin, dass sie eine durchgehende Messung der Luftwechselrate liefert – und zwar unter ständig wechselnden Bedingungen wie Temperatur, Wind oder Fensteröffnungen. Dadurch entsteht ein sehr genaues Bild davon, wie sich die Luftwechselrate während der Nacht verändert.

Markus Winkler (links) und Albert Treytl beim Einrichten von Steuerungs- und Tracergasequipment, um smarte Strategien für energieeffiziente Nachtlüftungsstrategien zu untersuchen.

Foto: Heinz Hackl



VON DER MESSUNG ZUR LÖSUNG

PRÄZISE SYSTEMANALYSE FÜR EFFIZIENTE REGELUNG

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden verschiedene Nachtlüftungsszenarien getestet und dabei Luftwechselraten gemessen. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Entwicklung automatisierter Steuerungs- und Regelungstechniken für Fenster und Verschattungseinrichtungen.

Im Sommer und Herbst 2024 wurden insgesamt 72 Messreihen durchgeführt. Dadurch konnten sehr genaue Luftwechselraten unter unterschiedlichen Witterungssituationen ermittelt werden. Die Abbildung unten rechts zeigt den Innenraum des Testgebäudes vor Implementierung des Tracergasequipments sowie schematisch die neu geschaffenen automatisierten Lüftungsmöglichkeiten.

Über 200 Sensoren, eine externe Wetterstation und Strahlungssensoren erfassten alle relevanten Daten in den Testgebäuden und sorgten für einen vollautomatisierten Messablauf. Damit konnten unterschiedliche Öffnungsweiten der Fensteröffnung bei einseitiger Lüftung über das Südfenster, über Querlüftung mit verschiedenen Kippstellungen, bis hin zu Kaminlüftungen über das Dachfenster implementiert werden. Auch eine allseitige Fensteröffnung – die sogenannte „Vogelhauslüftung“ – wurde als Variante einbezogen.

LUFTWECHSELRATEN – MITTELWERTE ÜBER NÄCHTE 2024

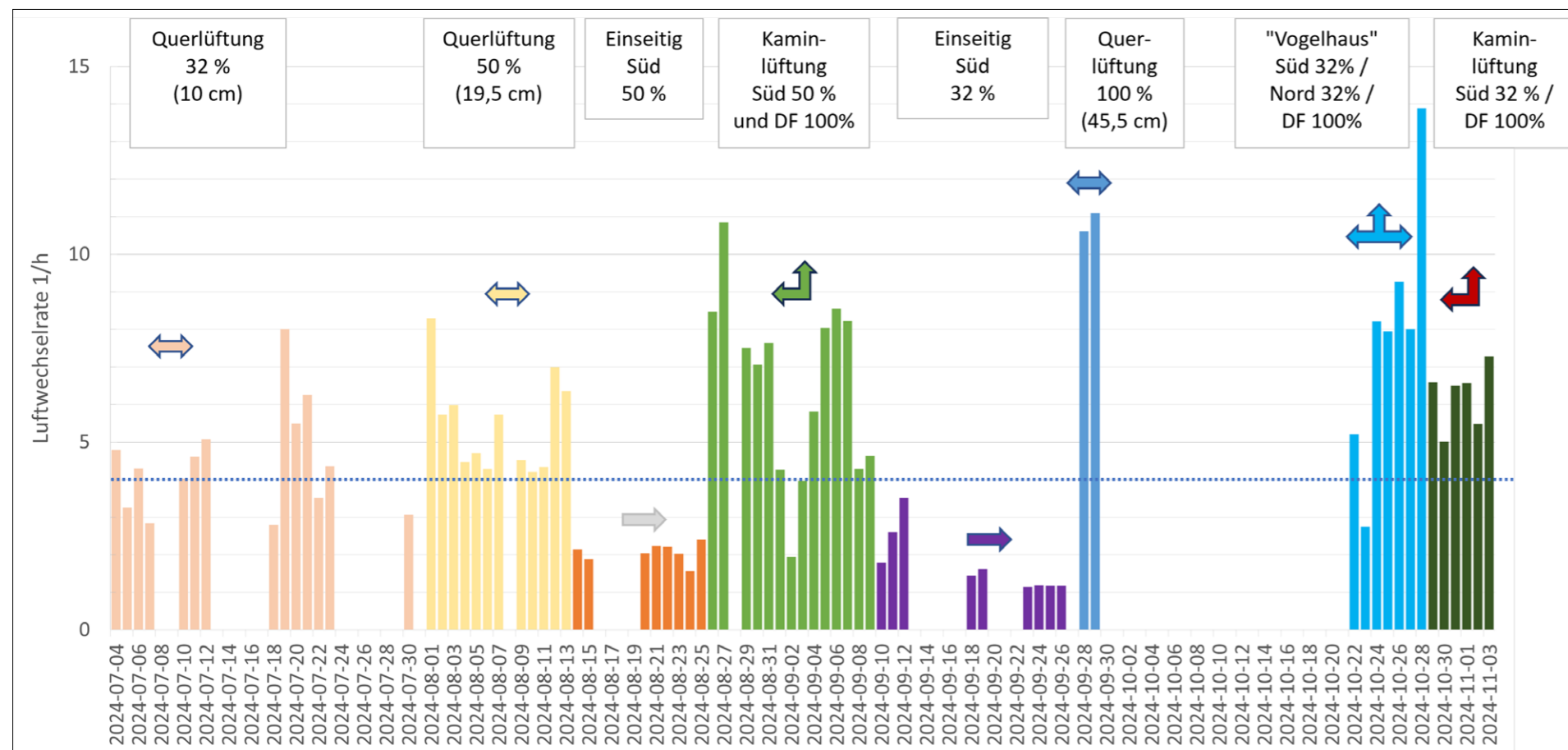


Foto: Hanna Pribitzer



>> Bei jedem Neubau und jeder Renovierung sollte ein Lüftungskonzept erstellt werden. Angesichts steigender energetischer Anforderungen und der damit verbundenen luftdichten Gebäudehülle ist ein nutzerabhängiger Mindestluftwechsel erforderlich. Da der notwendige Luftwechsel individuell stark variieren kann und die Luftqualität nicht unmittelbar wahrgenommen wird, sollte sie sichtbar gemacht werden (CO₂-Anzeige, Hygrometer). <<

DI (FH) Clemens Häusler, MSc
Bauphysikexperte; bauphysik.at

ÜBERSICHT DER VERSCHIEDENEN STEUER- UND REGELALGORITHMEN

STARRE ZEITLICHE FAHRPLÄNE

Eine Zeitschaltuhr ist die einfachste technische Lösung, die ohne großen Aufwand nachrüstbar ist. Werden die Fahrpläne regionalspezifisch statistisch oder über KI-Modelle berechnet, können gerade im Sommer gute Ergebnisse erzielt werden. Insbesondere in den Übergangszeiten kann es zu einer zu großen Abkühlung, aber auch vermeidbaren Erwärmung der Räume kommen.

SENSOR-BASIERTE REGELUNG

Die Fenster werden abhängig von Außen- und Innentemperatur während der Nacht geöffnet und geschlossen. Dadurch kann verhindert werden, dass Fenster zu früh geöffnet werden und warme Luft in den Raum gelangt bzw. zu spät geschlossen werden und die Räume zu sehr auskühlen. Insbesondere die Position des Innentempersensors kann einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Regelung haben. Es ist besonders zu beachten, dass für eine Regelung geeignete Fenstermotoren gewählt werden.

MODELLPRÄDIKTIVE REGELUNG

Diese Art der Regelung, die auch MPC (Model Predictive Control) genannt wird, nutzt ein meist auf maschinellem Lernen (Teilgebiet der KI) basiertes Modell der physikalischen Effekte des Raumes, um vorausschauend Wiedererwärmungseffekte zu berücksichtigen und optimale durchgehende Fensteröffnungszeiten zu berechnen. Dabei werden erwartete Temperaturverläufe und andere Ereignisse und deren Auswirkungen auf die Innenraumtemperatur vorab modellhaft durchgespielt. So kann das System eigenständig Entscheidungen treffen – zum Beispiel, wie lange in den frühen Morgenstunden Fenster während der Übergangszeiten geöffnet bleiben dürfen, ohne dass es den Nutzerinnen und Nutzern im Gebäude zu kühl wird.



>> Die Nutzung von Simulationsmodellen in Planung und Betrieb von Gebäuden ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung von Komfort, Luftqualität und Energieverbrauch und fördert die Entwicklung wesentlich wirtschaftlicherer, zukunfts-fähigerer Gebäude. Durch die fortschreitende Digitalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette lassen sich innovative Ideen zunächst virtuell testen und in reale Produkte überführen – mit Potenzial für neue Märkte und verbesserte Planungsmethoden. <<

Prof. DI Dr. Thomas Bednar
TU Wien

Foto: Raimund Appel

Schematisch dargestellte automatisierte Lüftungsmöglichkeiten im Testgebäude mit nachträglichem Einbau eines Flachdachfensters

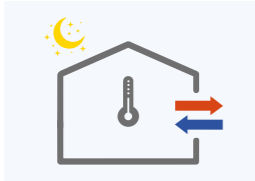


Foto: Weitgasser, ZAB

ERGEBNISSE

ERKENNTNISSE MIT ECHTEM MEHRWERT FÜR DIE PRAXIS

EINSEITIGE LÜFTUNG



RANDBEDINGUNGEN:

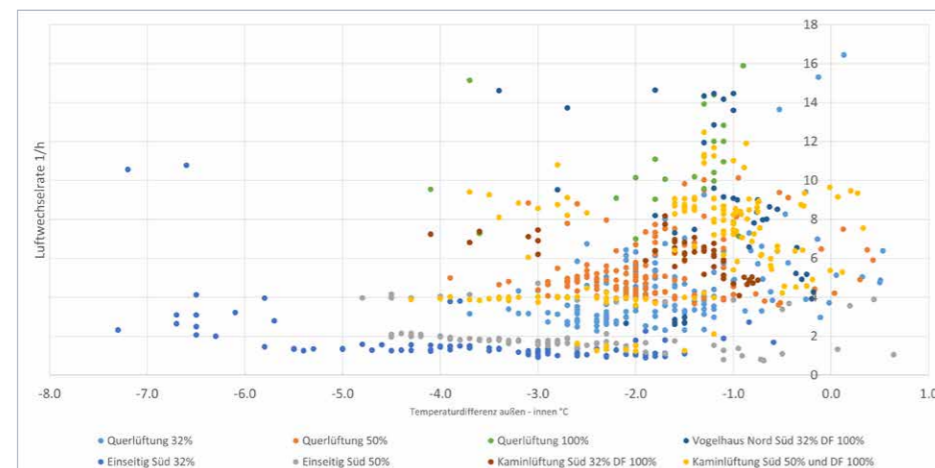
- Einseitige Lüftungsvarianten mit 32 % (10 cm), 50 % (19,5 cm) und 100 % (45,5 cm) Kippstellung.
- Keine höheren oder mittleren Windgeschwindigkeiten während dieser Versuche gemessen.

ERGEBNISSE:

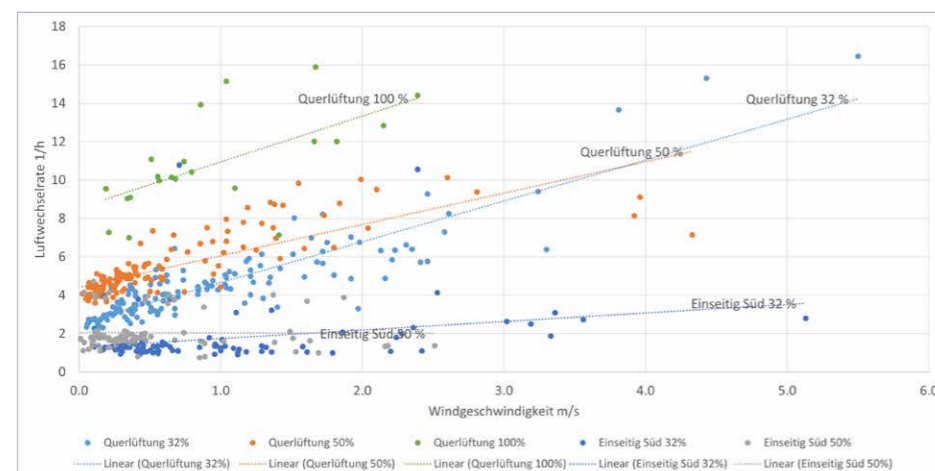
- Unabhängig von der Windgeschwindigkeit stellten sich Luftwechselzahlen um beziehungsweise kleiner 2 h^{-1} ein.
- In 50 % Kippstellung stellte sich ein zirka zweifacher Luftwechsel ein, unabhängig von der Temperaturdifferenz.
- Öffnungsweite des Südfensters sowie unterschiedliche Windgeschwindigkeiten hatten nur einen untergeordneten Einfluss auf die Luftwechselrate.
- Einseitige Lüftung mittels Kippstellung kann bei typischer Schlafzimmerbelegung nur den hygienisch erforderlichen Luftwechsel bewerkstelligen, nicht jedoch effizient kühlen.

- ➔ **Abkühlung der Lufttemperatur in einer Nacht von bis zu $1,6 \text{ K}^{\text{①}}$ möglich.**
Gemessen mit 50 % Kippstellung (entspricht 19,5 cm).

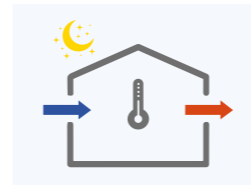
Luftwechselraten aller Lüftungsszenarien in Abhängigkeit der Temperaturdifferenzen zwischen Innen & Außen



Luftwechselraten in Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeiten bei einseitiger Lüftung & Querlüftung



QUERLÜFTUNG



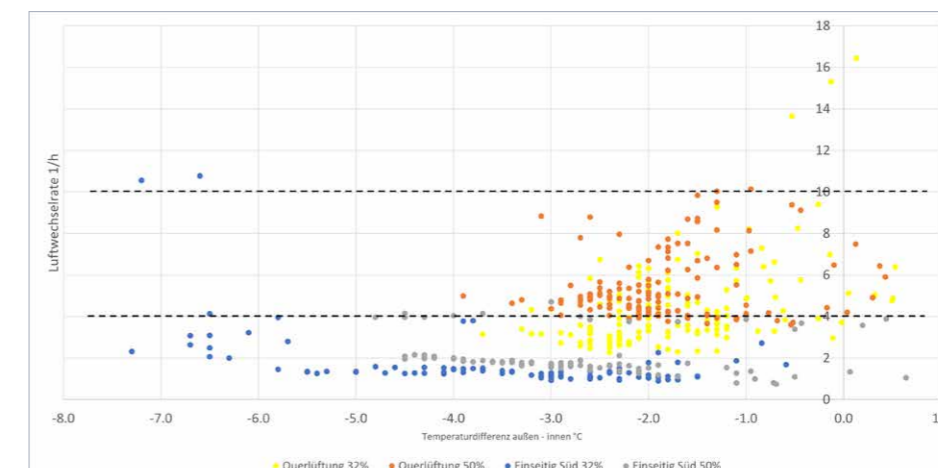
RANDBEDINGUNGEN:

- Querlüftungsvarianten mit 32 % (10 cm), 50 % (19,5 cm) und 100 % (45,5 cm) Kippstellung.

ERGEBNISSE:

- Mit größeren Öffnungsweiten stellten sich im Vergleich zur einseitigen Lüftung auch höhere Luftwechselraten ein, bis hin zu 16 h^{-1} .
 - Die Öffnungsweite der Kippstellung hatte höheren Einfluss auf die Luftwechselrate als die Höhe der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, d. h. höhere Temperaturunterschiede führten nicht zwangsläufig zu höheren Luftwechselraten.
 - Die Luftwechselrate ist bei Querlüftung deutlicher von der Windgeschwindigkeit abhängig als bei einseitiger Lüftung.
 - Bereits bei Kippstellung 50 % und kleinen Temperaturdifferenzen wurden hohe Luftwechselraten über 6 h^{-1} erzielt.
 - Bereits geringste Windgeschwindigkeiten bis $0,5 \text{ m/s}$ hatten bei 50 % Kippstellung Luftwechselraten ab 4 h^{-1} zur Folge.
- ➔ **Abkühlung der Lufttemperatur in einer Nacht von bis zu $5,5 \text{ K}^{\text{①}}$ möglich.**
Gemessen mit 100 % Kippstellung (entspricht 45,5 cm).

Luftwechselraten in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz bei einseitiger Lüftung & Querlüftung



Öffnungsweiten gemessen an der Hauptschließkante; Foto: Projektteam



Einseitige Fensterlüftung mittels Oberlichtern
Foto: Adam Mørk



Gezielte Oberlichtöffnungen ermöglichen Querlüftung; Foto: Adam Mørk



» Die Ergebnisse des Projekts bestätigen unsere mittlerweile jahrzehntelange praktische Erfahrung. Bisher sind wir sehr intuitiv vorgegangen. Dank dieses Forschungsprojekts kennen wir nun die Effekte der einzelnen Lüftungsarten detaillierter und damit besser. So kann die Planung methodischer erfolgen – vom Neubau bis zur Sanierung. Das Ergebnis zeigt auch, welch enormes Potenzial in dieser Low-Tech-Methode steckt. <<

Heinz Hackl
Public Affairs
VELUX Österreich GmbH

Foto: Semrad

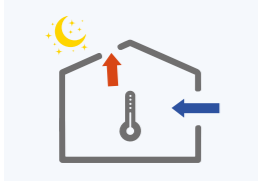
^① Diese Temperaturreduktion gilt nur als Indikation und nur für dieses Testgebäude. Die Temperaturreduktion ist abhängig vom Volumen, der Speichermasse etc. und lässt sich nicht auf andere Gebäude oder Räume 1:1 übertragen. Hätte sich das Gebäude tagsüber stärker aufgeheizt, wäre die nominelle Abkühlung signifikanter, jedoch auf einem höheren Temperaturniveau.

^① Diese Temperaturreduktion gilt nur als Indikation und nur für dieses Testgebäude. Die Temperaturreduktion ist abhängig vom Volumen, der Speichermasse etc. und lässt sich nicht auf andere Gebäude oder Räume 1:1 übertragen. Hätte sich das Gebäude tagsüber stärker aufgeheizt, wäre die nominelle Abkühlung signifikanter, jedoch auf einem höheren Temperaturniveau.

ERGEBNISSE

ERKENNTNISSE MIT ECHTEM MEHRWERT FÜR DIE PRAXIS

KAMIN-LÜFTUNG



RANDBEDINGUNGEN:

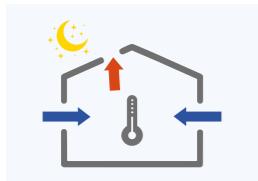
- Öffnung des Südfensters in 32 % (10 cm) und 50 % (19,5 cm) Kippstellung sowie Maximalöffnung des Flachdachfensters.

ERGEBNISSE:

- Die Kippweite des Vertikalfensters hatte einen höheren Einfluss auf die Luftwechselrate als die Höhe der Temperaturdifferenz.
- Bei Kaminlüftung konnten hohe Luftwechselraten bis zu 12 h^{-1} erzielt werden, wobei das Minimum bei 4 h^{-1} lag.
- Trotz größtenteils niedriger Windgeschwindigkeiten am Standort $< 0,5 \text{ m/s}$ konnten zweistellige Luftwechselraten erzielt werden.
- Durch die Öffnung des Dachfensters gelangt kühlere Luft auch in höher gelegene Raum- bzw. Gebäudeteile und kann diese kühlen.

➔ **Abkühlung der Lufttemperatur in einer Nacht von bis zu $4,7 \text{ K}^{1)}$ möglich.**
Gemessen mit 50 % Kippstellung des Südfensters (entspricht 19,5 cm) und 100 % Öffnung des Flachdachfensters (entspricht 20 cm).

VOGELHAUS-LÜFTUNG



RANDBEDINGUNGEN:

- Maximalvariante, bei der zwei Fassaden- und die Dachebene geöffnet sind.

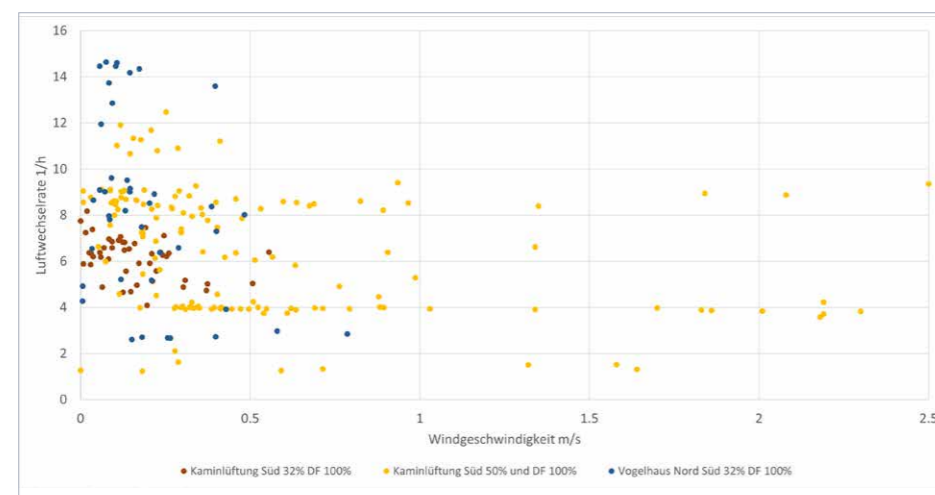
ERGEBNISSE:

- Die Vogelhauslüftung zeigte die größte Bandbreite an Luftwechselraten von zirka 3 bis 14 h^{-1} und damit die höchsten Ergebniswerte.
- Bereits geringste Windgeschwindigkeiten am Standort $< 0,5 \text{ m/s}$ resultierten in hohen Luftwechselraten bis 14 h^{-1} .
- Effizienteste Art der Nachtlüftung, wodurch auch höher gelegene Raum- bzw. Gebäudeteile unabhängig von der Windrichtung entwärmt werden können.

Vogelhauslüftung, Foto: Adam Mørk



Luftwechselraten in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit bei Kamin- und Vogelhauslüftung



DREI MÖGLICHE REGELKONZEPTE

Einfache zeitbasierte Steuerungen, sensorgesteuerte und modellprädiktive Regelkonzepte wurden untersucht, um Unterschiede im Kühlpotenzial zu vermessen und die Eignung für unterschiedliche Einsatzszenarien zu erheben.

ZEITBASIERTE STEUERUNG

- Einfache technische Umsetzung mittels Zeitschaltprogramm.
- Im Hochsommer und während Hitzewellen kaum ein Unterschied zu anderen Regelverfahren, da die tagsüber eingebrachte Wärmemenge so groß ist, dass die Fenster bei allen Ansteuerungen in der Nacht beinahe durchgehend geöffnet sind, um die Wärme abzuführen.
- Lokale Effekte wie Hitzeinseln oder Grünflächen können zu Abweichungen von meist regional definierten Zeitschaltplänen und sogar zu einer Erhöhung der Innenraumtemperatur führen.
- Komfortgrenzen können insbesondere in den Übergangszeiten leicht überschritten werden.

SENSORBASIERTE REGELUNG

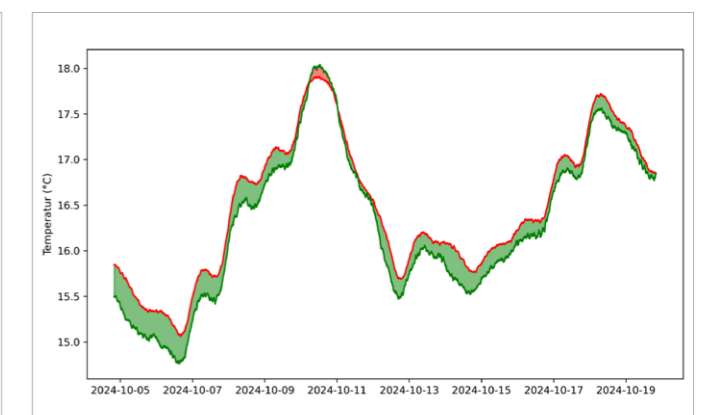
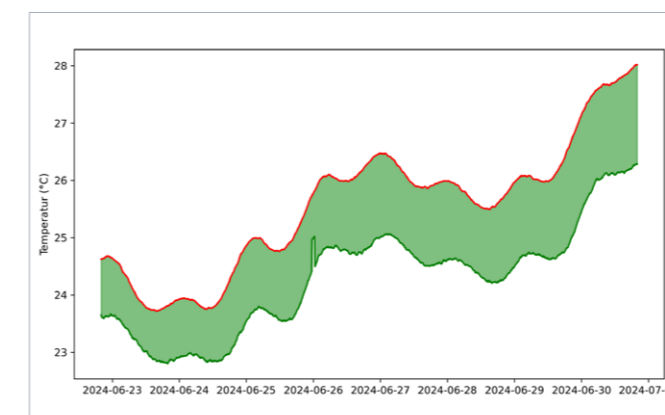
- Erhöhte Nutzung des Kühlpotenzials durch Messung der Innen- und Außentemperaturen.
- Komfortkriterien werden während der gesamten Regelzeit eingehalten.
- Wiedererwärmungseffekte nach dem Schließen der Fenster werden nicht berücksichtigt und resultieren in einer geringeren Kühlleistung.
- Häufiges Öffnen und Schließen während der Nacht mit entsprechendem Einfluss auf den Verschleiß – insbesondere der Motoren.

MODELL-PRÄDIKTIVE REGELUNG (MPC)

- Bestes Kühlpotenzial, da eine optimale Öffnungsdauer berechnet und Wiedererwärmungseffekte durch Speichermassen in den Wänden berücksichtigt werden.
- Die vorausschauende Regelung kann Innenräume effizienter kühl halten – insbesondere während langfristig hoher Außentemperaturen.
- Die vorausschauende Regelung verhindert ein mehrmaliges Schließen und Öffnen der Fenster. Verschleiß und Antriebsgeräusche können reduziert werden.
- Die Regelung kann für die Menschen im Gebäude unter Umständen schwer nachvollziehbar sein, da in den Modellen auch intuitiv schwer erfassbare Informationen integriert sind.

Vorausschauend besser kühlen – die MPC verbessert das Kühlpotenzial um durchschnittlich 1-2 K (siehe grüner Bereich). Die modellbasierte Vorhersage ermöglicht zusätzliche Verbesserungen von bis zu 70 % innerhalb von 7 Tagen.

Auch in der Übergangszeit hebt die MPC zusätzliches Kühlpotenzial. Der orange Bereich zeigt einen außergewöhnlich warmen Oktobertag, den das Modell nicht präzise vorhersagen konnte und an dem die sensorbasierte Regelung geringfügig besser abschnitt.



— Sensorbasierte Regelung
— Modellprädiktive Regelung (MPC)
— MPC < Sensorbasiert
— Sensorbasiert ≤ MPC



>> Sensorbasierte oder modellprädiktive Regelungen ermöglichen es, das Kühlpotenzial durch Nachlüftung effizient zu nutzen. Viele Anwender*innen schätzen aber auch die einhergehende Verbesserung der Raumluftqualität oder eine damit automatisierte Verschattung untertags.

Dipl.-Ing. Albert Treytl
Department für Integrierte
Sensorsysteme
Universität für Weiterbildung
Krems

Foto: Daniel Novotny

¹⁾ Diese Temperaturreduktion gilt nur als Indikation und nur für dieses Testgebäude. Die Temperaturreduktion ist abhängig vom Volumen, der Speichermasse etc. und lässt sich nicht auf andere Gebäude oder Räume 1:1 übertragen. Hätte sich das Gebäude tagsüber stärker aufgeheizt, wäre die nominelle Abkühlung signifikanter, jedoch auf einem höheren Temperaturniveau.

PRAXISBEISPIELE

DASS CLEVERE NACHT- UND FENSTERLÜFTUNG WIRKT, BEWEISEN AUCH DIESE SPANNENDEN REFERENZPROJEKTE

ROBIN SEESTADT (WIEN)

Nachhaltig gebaut, intelligent gedacht – nach dem Prinzip 22-26. Das innovative Baukonzept des renommierten Architekturbüros Baumschlager Eberle, realisiert von SORAVIA in Kooperation mit der 2226 GmbH nutzt das Potenzial natürlicher und automatisierter Fensterlüftung am Tag und in der Nacht. Die hoch gesteckten Ziele – kein CO₂-Ausstoß durch Heizung und Kühlung, Verwendung regionaler Baustoffe, Nutzungsneutralität und langlebige resiliente Substanz, ... erfüllt alle Voraussetzungen einer ÖGNB-Gold Zertifizierung. Über ein Jahr Betrieb zeigen die bis zu 50 % niedrigeren Betriebskosten gegenüber vergleichbaren Gebäuden. Es fallen keine Heiz- und Kühlkosten an.

www.robin.eco



Nachhaltigster Workspace der Stadt Wien



Visualisierung: Patricia Bagienski

PRINZIP 22-26 (LUSTENAU, VBG)

Ein vielbeachtetes Vorzeigeprojekt für das Potenzial natürlicher und automatisierter Fensterlüftung in Verbindung mit hochwertiger Architektur entstand bereits vor einigen Jahren im vorarlbergischen Lustenau: dem Firmensitz von Baumschlager Eberle Architekten.

In Sachen Nachhaltigkeit war das Gebäude seiner Zeit weit voraus – dank des innovativen 22-26-Prinzips. Dieses Konzept widerspricht der weitverbreiteten Annahme, dass Energieeffizienz nur durch aufwendige Gebäudetechnik erreichbar sei. Stattdessen setzt es auf elementare architektonische Mittel: Ein kluges Zusammenspiel aus Speichermasse, Wärmedämmung und intelligenter Lüftung sorgt dafür, dass die Raumtemperatur ganzjährig zwischen 22 °C und 26 °C liegt – ganz ohne konventionelle Heizung, mechanische Lüftung oder Kühlung.

Zum Einsatz kommen massive Ziegelwände mit doppelter 38-Zentimeter-Schicht, die sowohl Dämmung als auch Speichermasse bieten. Diese Masse bleibt vollständig wirksam, da sie nicht durch abgehängte Decken oder Verkleidungen beeinträchtigt wird. Auch der Sonnenschutz ist architektonisch gelöst – über tief ausgebildete Fensterlaibungen.



www.2226.eu



>> Dieses Vorzeigeprojekt war in puncto Nachhaltigkeit schon damals seiner Zeit voraus. Das Resultat ist ein dauerhaft energieeffizientes Gebäude mit minimalen Errichtungs-, Betriebs- und Wartungskosten – ganz ohne konventionelle Gebäudetechnik.<<

DI Norbert Prommer

Geschäftsführer Verband Österreichischer Ziegelwerke



MAISON AIR ET LUMIERE (SÜDLICH VON PARIS) PLANUNG: NOMADE ARCHITECTS

2008, kurz vor dem Entstehen der zweiten Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), stellte VELUX in Zusammenarbeit mit namhaften Wissenschaftlern die Frage, inwieweit sich Energieeffizienz mit Gesundheit, Komfort und Umwelt in Einklang bringen lässt – anhand eines realen Gebäudes. NOMADE architects haben ein flexibles Konzept erarbeitet, das sich sowohl als einzelnes Gebäude, als auch in verdichteter Form als Doppel- oder Reihenhuisanlage umsetzen lässt. Ein Ventilative Cooling Concept (Quer- und Kaminlüftung) mit automatisierten Oberlichtern als Zuluftfenster und perfekt positionierten elektrischen Dachfenstern als Abluftfenster war von Anfang an eine wesentliche Maßnahme zur Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes. Das Steuerungskonzept war sensorbasiert. Die Wirkung wurde umfassend vom Institut Armines untersucht. Dabei wurden beachtliche Luftwechselraten zwischen 10 und 22 h⁻¹ gemessen.

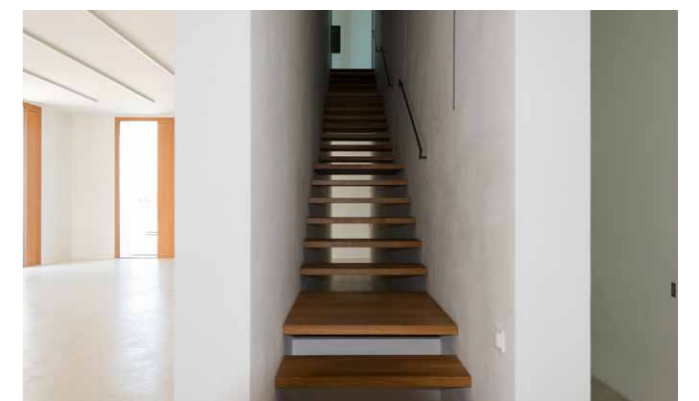
Die Raumtemperatur konnte so immer unter 27 °C gehalten werden, bei einer durchschnittlichen Temperaturreduktion von 5 K pro Nacht in heißen Sommernächten.



Fotos: Adam Mørk



Fotos: Norbert Prommer



PRAXISBEISPIELE

DASS CLEVERE NACHT- UND FENSTERLÜFTUNG WIRKT, BEWEISEN AUCH DIESE SPANNENDEN REFERENZPROJEKTE.



ZU-HAUS (AUERSTHAL, NÖ) PLANUNG: MARTIN RÜHRNSCHOPF

Das Gebäude ist ein Ersatzneubau für einen total desolaten Stadel. Es wurde an das Elternhaus des Bauherrn angebaut – ein Zu-Haus eben.

Architekt Rührnschopf hat in der Entwurfsphase schon ein Ventilative Cooling Concept vorgesehen – mit strategisch perfekt positionierten Zu- und Abluftöffnungen – „Klimaluken“, wie er sie nennt. Diese Fenster sind elektrisch mit Kettenantrieben betrieben und mit einer simplen Zeitsteuerung geregelt. Das Ziel war ein effektives, aber so einfach wie möglich gehaltenes Low-Tech-Konzept. Das Gebäude wurde 2015 vom IBO überwacht – und überschritt selbst am Ende von langanhaltenden Hitzeperioden nie 26 °C im Innenraum. Die Bewohnenden äußerten sich durchweg positiv und haben das Gebäude bislang weder als übermäßig warm noch als unangenehm empfunden.

Das Projekt wurde 2015 mit der „**Goldenen Kelle**“ für vorbildliches Bauen in Niederösterreich ausgezeichnet.



Auszeichnung „Goldene Kelle“ 2015

Fotos: Jörg Seiler

HAUS M (LEOPOLDSDORF IM MARCHFELDE, NÖ) PLANUNG: MARTIN RÜHRNSCHOPF

Typisch für Architekt Martin Rührnschopf ist, dass er wie immer mit viel Feingefühl die Struktur der Umgebung aufgreift und dafür sorgt, dass sich der Ersatzneubau harmonisch einfügt. Deshalb nimmt das Einfamilienhaus zur Straße hin die Proportionen sowie die geschlossene Bebauungsform des abgebrochenen Bestands wieder auf. „Zur Straße hin geschlossen und traditionell, zum Garten hin offen und zeitgemäß“ lautete das Motto der architektonischen Herangehensweise. Großzügige Öffnungen ermöglichen Ausblicke ins Grüne und bringen viel Licht und Sonne ins Innere des Gebäudes.

Für ein angenehmes und ausgeglichenes Raumklima, auch in den Sommermonaten, wurde neben den massiven Bauteilen und der konsequenten Außenbeschattung ein durchdachtes Ventilative Cooling Concept realisiert. Dieses sorgt mit automatisch angesteuerten Oberlichtern und Dachflächenfenstern für eine schnelle und komfortable Querlüftung und somit für eine gezielte, natürliche Nachtkühlung. Die Anlage wurde mit kostengünstigen Standardkomponenten ausgeführt, die sensorbasiert agieren.



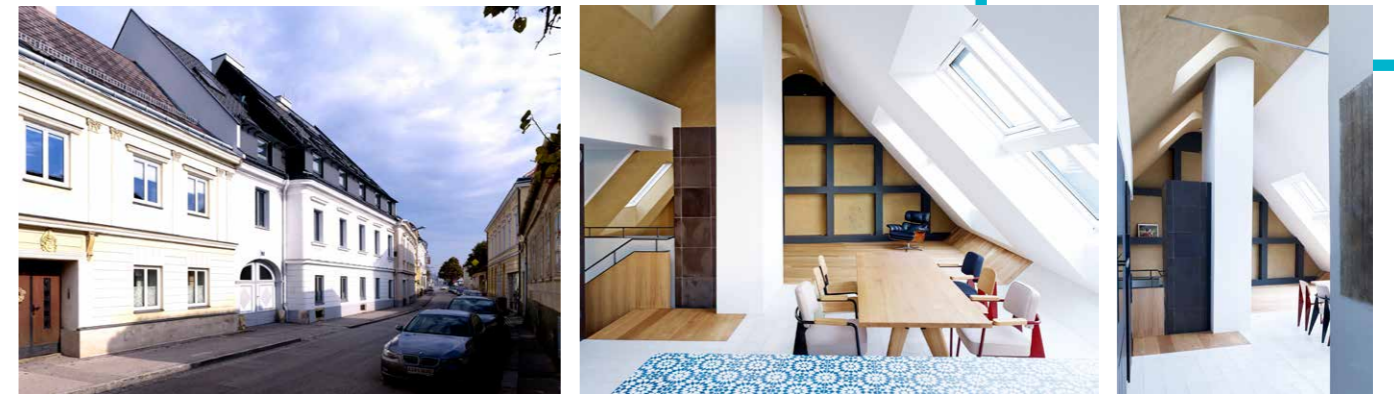
Fotos: Romana Fürnkranz

GESCHICHTET & GESCHLICHTET (KREMS, NÖ) PLANUNG: ALP ARCHITEKTUR ZT GMBH

Ein altes Winzerhaus in Krems wurde von alp Architekten erworben, von Grund auf saniert und um einen Dachausbau ergänzt. Das mit klimaaktiv ausgezeichnete Gebäude ist ein Musterbeispiel für ganzheitliche Betrachtung – mit einem starken Fokus auf den sommerlichen Wärmeschutz. Tageslicht kommt so oft vor: Dabei mussten keine Kompromisse bei der Versorgung mit Tageslicht eingegangen werden; das gesamte Gebäude erfüllt auch hinsichtlich der natürlichen Belichtung die allerhöchsten Anforderungen. Eine effiziente, außenliegende Beschattung, die auch noch Tageslicht in den Raum

lässt, sorgt – in Kombination mit einem durchdachten Ventilative Cooling Concept und Speichermasse durch Lehmputz – selbst im Dachgeschoß im Hochsommer für angenehme Temperaturen – ganz ohne den Einsatz technischer Kühlung. Einige Fenster sind elektrisch ausgestattet und automatisiert.

Die Temperatur im Dachgeschoß war nie höher als 26 °C, verrät Arch. DI Christine Leuthner.



Erneuerung statt Zersiedelung

Fotos: Jörg Seiler

HAUS H+B, BESTANDSGEBÄUDE (WOLKERSDORF / WEINVIERTEL, NÖ)

Ein Bungalow aus den 1980er Jahren steht im Weinviertel, einer der heißesten Gegenden Österreichs. Im Zuge einer Neugestaltung der Innenräume wurde die bisher manuelle Nachtlüftung teilautomatisiert. Einige der 35 Jahre alten Holzfenster wurden nachträglich mit Kettenmotoren ausgestattet, ebenso ein neues Oberlichtfenster im Bad. In Verbindung mit einem am höchsten Punkt positionierten, automatisierten Dachfenster im Stiegenhaus ergibt das eine höchst effektive Quer- und Kaminlüftung.

Durch eine simple Zeitsteuerung werden die kühlen Nachtstunden maximal genutzt, um das Gebäude angenehm kühl zu halten – auch bei Abwesenheit der Bewohnenden. Natürliche Beschattung durch Laubbäume, effiziente außenliegende Beschattungselemente sowie bewusst eingeplante Speichermasse durch Massivbauweise mit Ziegeln und Kalkputz, Estrich mit Steinboden bzw. Klebparkett runden das Gesamtkonzept ab.

Die höchste je gemessene Temperatur am Ende von langen Hitzeperioden betrug im Wohnzimmer 25 °C, im Schlafzimmer höchstens 24 °C.



Fotos: Heinz Hackl

FAZIT & WICHTIGSTE ERKENNTNISSE

FORSCHUNGSERGEBNISSE

Bei Räumen mit einseitiger Lüftung lässt sich die Sommertauglichkeit oft gut anhand der Temperaturdifferenzen beurteilen – auch ohne Berücksichtigung des Windes.

Wenn jedoch eine Querlüftung möglich ist, wurden am Standort Salzburg bereits bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten hohe Luftwechselraten gemessen. Gleiches gilt auch für die Kaminlüftung.

Mit der Konstant-Emissions-Methode (KEM) konnten erstmals über mehrere Monate hinweg indirekt die Luftwechselraten in realen Testgebäuden gemessen werden. Dabei zeigte sich: Schon sehr leichte Winde – also kleine Druckunterschiede zwischen innen und außen – hatten einen stärkeren Einfluss auf die Luftwechselrate als die normalerweise geringen Temperaturunterschiede zwischen innen und außen, wie sie in typischen Sommernächten auftreten. Selbst bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s und wenn mehr als ein Fenster geöffnet war, konnten Luftwechselraten (LWR) deutlich über 4 h⁻¹ gemessen werden. Diese Werte eignen sich gut für eine passive Kühlung.

Um solche Luftwechselraten zu erreichen, mussten die Fensterflügel etwa doppelt so weit geöffnet werden, wie es heute mit einem normalen Kippbeschlag möglich ist – wie auf den Fotos unten ersichtlich. Eine Nachrüstung, die auch bei Bestandsfenstern möglich wäre. Mit einigen bewusst automatisierten Zu- und Abluftfenstern würde sich die Effizienz noch deutlich steigern lassen und auch den Bedienkomfort erhöhen.

Die Messungen zeigten auch, dass Nacht- und Fensterlüftung ein wesentlich größeres Kühlpotenzial haben, als der Nachweis nach Norm ausweist, welcher äußere Windeinflüsse nicht berücksichtigt.



Weitere Infos zum Forschungsprojekt „CoolBRICK“ gibt es zum Download unter:



AUSBLICK

EIN PLANUNGSLEITFADEN FÜR NACHHALTIGE, ENERGIEEFFIZIENTE GEBÄUDE

Aus dem Forschungsprojekt lassen sich erste praxisnahe Handlungsempfehlungen zur Erzielung wirksamer Nachtlüftungseffekte für die passive Kühlung ableiten.

EMPFEHLUNGEN:

- Planung querlüftbarer Grundrisse oder - wenn möglich - der noch effizienteren Kaminlüftung.
- Bei Neubauten oder der Wiederherstellung von Bestandsgebäuden sollten Grundrisse so gestaltet sein, dass in Nächten mit Nachtlüftungsbedarf offene Innentüren möglich sind, um die Luftzirkulation nicht zu behindern.
- Ein zukunftsorientierter Gebäudestandard erfordert die frühzeitige Berücksichtigung automatisierter Fensterlösungen – insbesondere bei Neubauten und umfassenden Sanierungen sollte dies ein zentrales Planungsziel sein.
- Standardfensterbeschläge erlauben im Kippmodus derzeit keine ausreichende Öffnungsweite. Um effektiv zu lüften, wären neue Beschlagsysteme oder die Nutzung von offenen Drehflügeln deutlich geeigneter.
- Die Planungsgrundlagen für den Sommertauglichkeitsnachweis bei Querlüftung und Kaminlüftung sollten überarbeitet werden – denn selbst schwache Windereignisse haben einen messbaren Einfluss auf die Luftwechselrate.
- Die maximale Wirksamkeit solcher Lüftungskonzepte wird künftig nur durch Automation erreichbar sein.

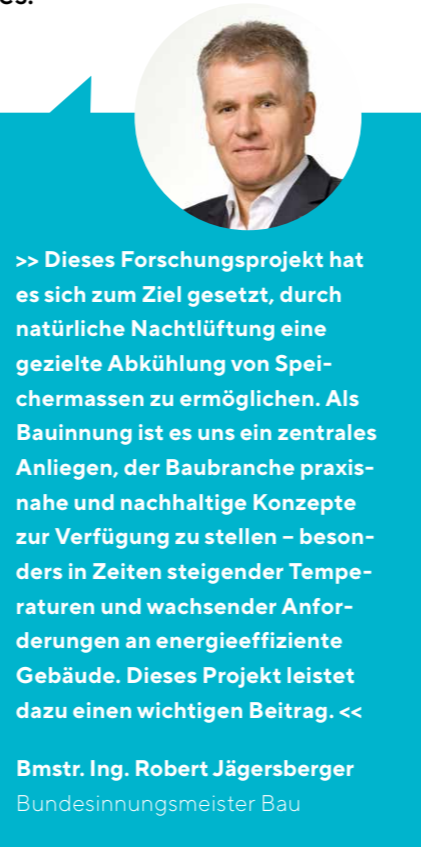
Markus Winkler unterstreicht die Dringlichkeit einer verstärkten Sanierungsdynamik in Österreich: „Derzeit wird nur rund ein Prozent der bestehenden Gebäude pro Jahr saniert – das ist viel zu wenig. Wir brauchen nicht nur mehr Sanierungen, sondern auch tiefgreifende Sanierungen, damit Gebäude den künftigen Anforderungen tatsächlich standhalten. Dazu bedarf es ganzheitlicher Konzepte, die schrittweise umgesetzt werden und das Ziel verfolgen, nachhaltig und generationengerecht zu sanieren.“

Egal, ob Neubau oder Bestand, Einfamilienhaus oder Dienstleistungsgebäude – wenn bereits in der frühen Planungsphase querlüftbare Strukturen oder sogar Kaminlüftungen mitgedacht oder reaktiviert werden, kann ein bedeutender Beitrag zur Klimaresilienz von Gebäuden geleistet werden. So entsteht ein robuster Gebäudebestand, der bestens auf die Herausforderungen steigender Temperaturen vorbereitet ist – ganz ohne aktive Kühlung.

Stark im Verbund: Ein starkes Forschungsteam analysiert das Potenzial passiver Nachtkühlung als Schlüssel für sommertaugliche Gebäude.



Foto: ZAB

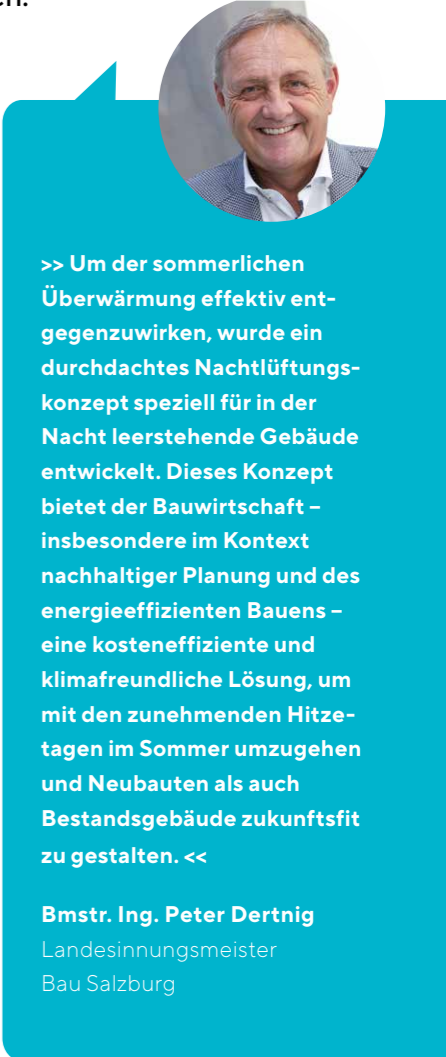


>> Dieses Forschungsprojekt hat es sich zum Ziel gesetzt, durch natürliche Nachtlüftung eine gezielte Abkühlung von Speichermassen zu ermöglichen. Als Bauinnung ist es uns ein zentrales Anliegen, der Baubranche praxisnahe und nachhaltige Konzepte zur Verfügung zu stellen – besonders in Zeiten steigender Temperaturen und wachsender Anforderungen an energieeffiziente Gebäude. Dieses Projekt leistet dazu einen wichtigen Beitrag. <<

Bmstr. Ing. Robert Jägersberger
Bundesinnungsmeister Bau

Foto: Wilke – Das Fotostudio

Frischluft rein, Hitze raus:
Wie Nachtlüftung Räume
spürbar abkühlen kann



>> Um der sommerlichen Überwärmung effektiv entgegenzuwirken, wurde ein durchdachtes Nachtlüftungskonzept speziell für in der Nacht leerstehende Gebäude entwickelt. Dieses Konzept bietet der Bauwirtschaft – insbesondere im Kontext nachhaltiger Planung und des energieeffizienten Bauens – eine kosteneffiziente und klimafreundliche Lösung, um mit den zunehmenden Hitzetagen im Sommer umzugehen und Neubauten als auch Bestandsgebäude zukunftsfit zu gestalten. <<

Bmstr. Ing. Peter Dertnig
Landesinnungsmeister
Bau Salzburg

Foto: Veigl Fotografie

Universität für
Weiterbildung
Krems

Department für
Bauen und Umwelt



Universität für Weiterbildung Krems (Donau-Universität Krems)

Department für Bauen und Umwelt

Zentrum für Bauklimatik und Gebäudetechnik

Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30, 3500 Krems an der Donau

www.donau-uni.ac.at/dbu/zbg