

att. zuschnitt

Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel Einfluss der Bauweise und weiterer Faktoren



Heinz Ferk, Daniel Rüdiger et al.

Richtig bauen im Klimawandel stellt eine zentrale Herausforderung unserer Zeit dar. Die wesentlichen Risikofaktoren der Überwärmung in Räumen und deren Vermeidung zu untersuchen, war das Ziel der Forschungsarbeit „RIOPT – Risiko-optimiertes Bauen im Klimawandel“. Vor dem Hintergrund des Klimawandels und den Ergebnissen der prognostischen Klimamodelle, die für Österreich einen Anstieg der sommerlichen Temperaturen, vermehrte Hitzetage und ausgedehnte Hitzeperioden vorhersagen, ist eine sofortige Untersuchung dieses Themas essenziell, um eine Hilfestellung für Architekten und Planer bieten zu können. Die Gebäude, die wir heute bauen und sanieren, sind bereits jetzt und werden in zunehmendem Maße von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein.

Wesentlich wird es auch sein, den Energieeinsatz für ein behagliches Sommerklima in den Gebäuden so gering wie möglich zu halten. Betrachtet man die Ursachen des Klimawandels, so sollte dieses Ziel, wo immer möglich, gänzlich ohne den Einsatz energieintensiver Klimatisierung erreicht werden. Das Klima in Mitteleuropa bietet hierfür auch künftig gute Bedingungen, insbesondere dort, wo auch unter Einbeziehung der Klimaprognosen an der überwiegenden Zahl der Sommertage eine nächtliche Abkühlung unter 20 °C vorausgesetzt werden kann. Somit steht ein begrenztes, aber nutzbares Potenzial

zur „natürlichen“ Wärmeabfuhr zur Verfügung, das jedenfalls ausgeschöpft werden sollte. Ungünstiger stellt sich dies in den Ballungsräumen und überall dort dar, wo mit einem deutlichen Anstieg der Anzahl der Tropennächte zu rechnen ist. Welche Sensitivitäten und Voraussetzungen zu beachten sind und inwieweit die Bauweise dabei eine Rolle spielt, wurde in diesem Forschungsprojekt untersucht.

Die zentralen Erkenntnisse daraus werden auf den folgenden Seiten dargelegt.

Aus der Vielzahl der Ergebnisse der parametrisierten Gebäudesimulationen kristallisiert sich heraus, dass dem Sonnenschutz hier entscheidende Bedeutung zukommt, weil dieser unabhängig von Bauweise, Nutzung und Standort dafür sorgen kann, dass die Wärmebelastung des Gebäudes minimiert wird.

Soll in weiterer Folge zur Kühlung die klimaneutrale Methode der natürlichen Lüftung eingesetzt werden, so gilt es auch, die Voraussetzungen für einen effektiven Luftwechsel zu schaffen.

Abschließend wird auch auf diese Aspekte näher eingegangen, um mögliche Stoßrichtungen für eine planerische Optimierung und erforderliche Entwicklungsarbeit aufzuzeigen. Hier ist noch weitere wichtige Forschungsarbeit zu leisten, um Industrie, Planer und Nutzer bestmöglich dabei zu unterstützen, sowohl den Auswirkungen als auch den Ursachen des Klimawandels effektiv begegnen zu können.

SEITE 3
 Einleitung
 Beschreibung des
 Forschungsprojekts
 Bauweise und Bauteil-
 aufbauten

SEITE 5
 Gebäudemodell und
 Grundriss
 Klimaszenario und Lage

SEITE 6
 Nutzung, Nutzerverhalten
 und inneren Lasten
 Luftwechselmodell –
 Kühlung durch natürliche
 Lüftung

SEITE 7
 Beschattungsmodell
 Simulationssoftware
 Simulations- und Aus-
 wertemethodik

SEITE 8
 Simulationsergebnis Wohn-
 nutzung mit Fensterlüftung
 Temperaturmittelwerte und
 Überschreitungskriterien

SEITE 11
 Temperaturverläufe

SEITE 12
 Temperaturstatistik
 (vgl. andere Zusammen-
 setzungen mit Temperatur)

14
 Simulationsergebnis
 Büronutzung
 Nicht klimatisiertes Büro
 Klimatisiertes Büro

SEITE 15
 Exkurs: Normenberechnung
 und Gegenüberstellung der
 speicherwirksamen Masse
 unterschiedlicher Bauweisen

SEITE 18
 Resümee und Handlungs-
 empfehlungen
 Trägheitseffekt der speicher-
 wirksamen Masse
 Bedeutung der speicher-
 wirksamen Masse bei Küh-
 lung mit natürlicher Lüftung

SEITE 19
 Bedeutung des Luftwechsels

SEITE 20
 Bedeutung der Beschattung

SEITE 22
 Fazit
 Literaturverzeichnis

Durch den prognostizierten Klimawandel und dessen weitreichende Folgen müssen bei der Planung von Gebäuden zusätzliche Anforderungen erfüllt werden. Viele neue bzw. sich stärker auswirkende Faktoren sind zu berücksichtigen, zum Beispiel der Anstieg der Temperaturen, vermehrt auftretende Wetterkapriolen, Starkregen oder auch Hitzewellen. Das Institut für Meteorologie und Physik der Universität für Bodenkultur Wien hat ein Szenario für Österreich und auch konkret für Wien errechnet. Demnach wird sich in Wien die Anzahl der sogenannten Tropentage mit Temperaturen über 30 °C in den nächsten 25 bis fünfzig Jahren gegenüber der Periode 1961 bis 1990 – mit durchschnittlich zehn Tropentagen – mehr als verdoppeln. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff der sommerlichen Überwärmung der Gebäude zunehmend ins Spiel gebracht. Bereits in der österreichischen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel aus dem Jahre 2012 wurde auf eine verstärkte Hitzebelastung in dicht bebauten Siedlungsbereichen insbesondere in exponierten und überhitzungsgefährdeten Gebäuden hingewiesen. Die höheren Extrem- und Durchschnittstemperaturen sowie die häufigeren und intensiveren Hitzewellen hätten ein ungünstigeres Raum- und Wohnklima und damit

gesundheitliche Belastungen (besonders für gesundheitlich vorbelastete und alte Menschen sowie Kinder) zur Folge. Verstärkt werde der Effekt durch die fehlende nächtliche Abkühlung. Insbesondere im Bereich der städtischen Wärmeinseln werde der Kühlbedarf besonders groß sein. Folglich wurden etwa die Beschattung und Kühlung von Gebäuden sowie präventive Maßnahmen vorgeschlagen – auch weil eine Bauteilaktivierung nur bei Gebäuden, die über ausreichende Beschattungsmaßnahmen und Nachtlüftungsmöglichkeiten verfügen, einen positiven Effekt erzielen werde. Umso interessanter sind die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsprojekts, in dessen Rahmen die für Mitteleuropa prognostizierten, heißer werden den sommerlichen Bedingungen und die Reaktionen unterschiedlicher Bauweisen darauf untersucht wurden. Der spezielle Fokus wurde hierbei auf die passive Kühlung mit natürlicher Lüftung gelegt. Um den zu erwartenden negativen Folgen des Klimawandels auf baulicher Ebene entgegenzuwirken, wird es notwendig, geeignete Vorkehrungen zu treffen, sich ergebende Handlungsmöglichkeiten optimal zu nutzen und sich den Änderungen auch baulich anzupassen. Dieses Projekt soll aufklärend wirken und die Thematik aufbereiten.

Dieter Lechner – Berufsgruppe Bau im Fachverband der Holzindustrie Österreich

Impressum

Medieninhaber und
 Herausgeber
proHolz Austria
 Arbeitsgemeinschaft der
 österreichischen Holz-
 wirtschaft zur Förderung
 der Anwendung von Holz

Obmann
 Christoph Kulterer
 Geschäftsführer
 Georg Binder
 Projektleitung
 Alexander Eder
 proHolz Austria
 A-1030 Wien
 Am Heumarkt 12
 T +43 (0)1/712 04 74
 info@proholz.at
 www.proholz.at

Preis Einzelheft Euro 7
 Preis inkl. USt., exkl. Versand

ISBN 978-3-902926-16-6
 ISSN 1814-3180

Druck
 Eberl Print, Immenstadt

gesetzt in Foundry Journal
 auf PhöniXmotion



Gedruckt auf PEFC zertifi-
 ziertem Papier. Dieses Pro-
 dukt stammt aus nachhaltig
 bewirtschafteten Wäldern
 und kontrollierten Quellen.
 www.pefc.at

Autoren und Projektdurch-
 führung „RIOPT“ Heinz Ferk,
 Daniel Rüdisser, Gregor
 Riederer, Edina Majdanac

LKI, Labor für Bauphysik
 Technische Universität Graz
 A-8010 Graz, Inffeldgasse 24
 T +43 (0)316/873 1301
 office@bauphysik.tugraz.at
 www.bauphysik.tugraz.at

Das Projekt „RIOPT“ wurde
 durch die Österreichische For-
 schungsförderungsgesell-
 schaft (FFG) unterstützt.

Lektorat: Esther Pirchner
 Gestaltung: Gassner Redolfi KO
 1. Auflage 2016, 20.000 Stk.

Copyright 2016 bei proHolz
 Austria und den AutorInnen.
 Die Publikation und alle in
 ihr enthaltenen Beiträge
 und Abbildungen sind
 urheberrechtlich geschützt.
 Jede Verwendung außerhalb
 der Grenzen des Urheber-
 rechts ist ohne Zustimmung
 des Herausgebers unzuläs-
 sig und strafbar.
 proHolz Austria und die
 AutorInnen sind bemüht,
 Informationen richtig und
 vollständig zu recherchieren
 bzw. wiederzugeben. Wir
 ersuchen jedoch um Ver-
 ständnis, dass wir für den
 Inhalt keine Gewähr über-
 nehmen können.

Der Klimawandel und dessen weitreichende Folgen zählen zu den größten Herausforderungen unserer Gesellschaft. Globale Temperaturerhöhung, Wetterextreme und Windspitzen sind einige der Auswirkungen. Es besteht Unsicherheit über das Ausmaß des Klimawandels und darüber, in welchem Zeitrahmen konkrete Folgen für die Gesellschaft spürbar werden. Es gilt jedoch, bereits heute Vorkehrungen zu treffen, um sich rechtzeitig und bestmöglich auf die zu erwartenden Änderungen einzustellen. Gleichzeitig sollten alle Anstrengungen unternommen werden, um die Problematik nicht wissentlich zu verschärfen, etwa durch den massiven Einsatz von mechanischer Kühlung in Gebäuden und den damit erforderlichen erheblichen Energieeinsatz.

Beim hier vorgestellten Forschungsprojekt haben wir uns auf die für Mitteleuropa prognostizierten, heißer werdenden sommerlichen Bedingungen und die Reaktion unterschiedlicher Bauweisen auf diese Randbedingungen konzentriert. Es sollte untersucht werden, wie verschiedene gängige Bauweisen auf diese Hitzeperioden reagieren und welche Faktoren künftig einen relevanten Einfluss auf die Sicherstellung des thermischen Komforts in der warmen Jahreszeit haben werden. Der spezielle Fokus wurde hierbei auf die passive Kühlung mit natürlicher Lüftung gelegt. Vor dem Hintergrund der Ursachen des Klimawandels sollten alle Anstrengungen unternommen werden, um einen optimalen sommerlichen Wohnkomfort auch ohne den Einsatz von Klimaanlagen zu erreichen.

Um das komplexe Thema möglichst grundlegend zu untersuchen, musste eine Reihe von Randbedingungen sinnvoll definiert werden.

Insbesondere waren dies:

- _ Bauweise und Bauteilaufbauten
- _ Gebäudemodell und Gebäudegrundriss
- _ Klimaszenario und Lage
- _ Nutzung, Nutzerverhalten und innere Lasten
- _ Luftwechselmodell – Kühlung durch natürliche Lüftung
- _ Beschattungsmodell
- _ Simulationssoftware
- _ Simulations- und Auswertungsmethodik

Die hierbei getroffenen Entscheidungen und deren Grundlagen werden im ersten Teil kurz erläutert. Im weiteren Verlauf wird eine Auswahl der wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung präsentiert und am Ende werden die sich daraus ergebenden Schlussfolgerungen, Interpretationen und Handlungsempfehlungen erörtert.

In einem Exkurs wird die speicherwirksame Masse eines Modellraums auf Basis der gewählten Bauweisen und weiterer Variationen ermittelt. Hierbei werden die theoretischen Kennwerte für die Nachweisführung zur sommerlichen Überwärmung erklärt, mit verschiedenen Methoden berechnet und einander gegenübergestellt.

Wie sich bei der Bearbeitung des Themas zeigt, kann die Abhängigkeit der sommerlichen Überwärmung von der Bauweise nur bedingt isoliert untersucht werden. Die Ergebnisse sind systemisch in einen sehr viel umfassenderen Kontext eingebettet und werden maßgeblich von unterschiedlichsten Einflussfaktoren bestimmt. Diese sind neben der Bauweise etwa das Nutzerverhalten, die Beschattungssituation, die effektiven Strömungsverhältnisse im Gebäude sowie das Mikroklima und damit auch städte- und raumplanerische Aspekte. Trotz dieser vielfältigen Abhängigkeiten konnten im Projekt wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Sensitivitäten der einzelnen Faktoren gewonnen und wesentliche Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Darüber hinaus wurden im Lichte der künftigen Herausforderungen notwendige Entwicklungsarbeiten und Forschungserfordernisse identifiziert.

Bauweise und Bauteilaufbauten

Die Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Bauweise stellt die zentrale Aufgabe dieser Untersuchung dar. Um ein möglichst breites Spektrum von Bauweisen abzudecken, aber den Simulationsaufwand hinsichtlich der Variation weiterer Parameter beherrschbar zu machen, wurden schließlich vier unterschiedliche Bauweisen-Grundtypen definiert:

- _ Massivbau – Stahlbeton
- _ Massivbau – Ziegel
- _ Holzbau – Brettspertholz
- _ Holzbau – Holzrahmenbau

In der Übersicht auf Seite 4 sind die für die Analyse verwendeten Aufbauten der Außenwände, der tragenden Trennwände zwischen den Nutzungseinheiten, der tragenden Innenwände innerhalb einer Nutzungseinheit sowie der Geschossdecken aller Bauweisen dargestellt. Ergänzend kommen als nicht tragende Trennwände innerhalb der Einheiten bei allen Bauweisen idente, einfach beplankte und mit Mineralwolle ausgefüllte Metallständerwände hinzu.

Im Unterschied zu den stationären thermischen Simulationen oder Berechnungen, die etwa aus Wärmebrückenberechnungen und U-Wert-Bestimmungen bekannt sind, sind bei instationären (zeitaufgelösten) thermischen Simulationen neben den Dicken d und den Wärmeleitfähigkeiten λ auch die spezifischen Wärmekapazitäten c und die Rohdichten ρ der einzelnen Baustoffschichten maßgeblich. Es wurde darauf geachtet, dass mit den gewählten Bauteilaufbauten auch heutige Anforderungen an den Brandschutz (OIB-Richtlinie 2, Bezug auf Gebäudeklasse 4 [1]), an den Schallschutz (OIB-Richtlinie 5 [2]) und an den Wärmeschutz (OIB-Richtlinie 6 [3]) eingehalten werden. Ausgewählt wurden die Bauteilaufbauten so, dass sie dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Die Bauweisen sind in vergleichbarer Form in der dargestellten Art auf aktuellen österreichischen Baustellen häufig zu finden.

Bezüglich der Fenster und Türen wurden für alle Bauweisen die gleichen Komponenten vorgesehen. Als Fenster wurden dem aktuellen Stand der Technik entsprechende Dreifachisolierverglasungen, eingefasst in aktuelle Fensterrahmenmaterialien, gewählt. Die Dreifachverglasung wurde detailgetreu nachgebildet, weil die verwendete Simulationssoftware die Möglichkeit bietet, winkelabhängige Sonneneinstrahlungseffekte realistisch nachzubilden. Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung lag bei $g = 0,5$, der Wärmedurchgangskoeffizient bei $U_g = 0,61 \text{ W/m}^2$.

Bauteilaufbauten der untersuchten Bauweisen

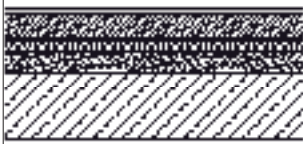
Massivbau
Stahlbeton

Massivbau
Ziegel

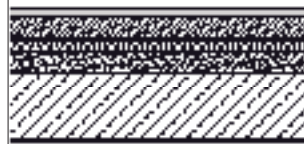
Holzbau
Brettsperrholz

Holzbau
Holzrahmenbau

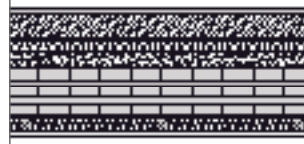
Geschossdecken



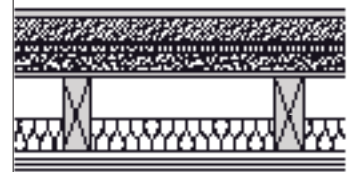
Parkett 20 mm
Zementestrich 70 mm
PE-Folie
Trittschalldämmung 30 mm
Schüttung, gebunden 60 mm
Stahlbeton 200 mm
Spachtelung 3 mm



Parkett 20 mm
Zementestrich 70 mm
PE-Folie
Trittschalldämmung 30 mm
Schüttung, gebunden 60 mm
Stahlbeton 200 mm
Spachtelung 3 mm



Parkett 20 mm
Zementestrich 70 mm
PE-Folie
Trittschalldämmung 30 mm
Schüttung, lose 50 mm
PE-Folie
Brettsperrholz 140 mm
Lattung auf Schwingbügeln,
dazw. Mineralwolle 50 mm
Gipskartonplatte 12,5 mm

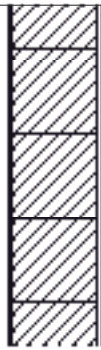


Parkett 20 mm
Zementestrich 70 mm
PE-Folie
Trittschalldämmung 30 mm
Schüttung, lose 50 mm
PE-Folie
osb-Platte 18 mm
Deckenbalken 80 x 220 mm,
dazw. Mineralwolle 100 mm
Federschiene zw. Sparschalung 27 mm
Gipskartonplatten 2 x 12,5 mm

Innenwände



Spachtelung 3 mm
Stahlbeton 160 mm
Spachtelung 3 mm



Innenputz 15 mm
Innenwandziegel
250 mm
Innenputz 15 mm



Gipskartonplatte 12,5 mm
Brettsperrholz 100 mm
Gipskartonplatte 12,5 mm

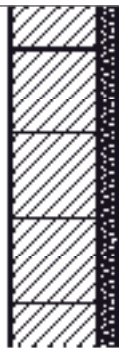


Gipskartonplatten
2 x 12,5 mm
Holzriegel 80 x 160 mm,
dazw. Mineralwolle 160 mm
Gipskartonplatten
2 x 12,5 mm

Wohnungstrennwände



Spachtelung 3 mm
Stahlbeton 200 mm
Spachtelung 3 mm
Stahlblechprofil dazw.
Mineralwolle 50 mm
Gipskartonplatte
12,5 mm



Innenputz 15 mm
Schallschutzziegel
250 mm
Spachtelung 3 mm
Stahlblechprofil,
dazw. Mineralwolle
50 mm
Gipskartonplatte
12,5 mm

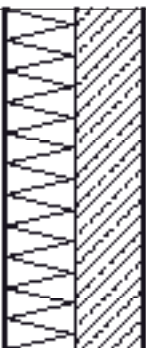


Gipskartonplatte
12,5 mm
Lattung, dazw.
Mineralwolle 60 mm
Brettsperrholz 100 mm
Lattung, dazw.
Mineralwolle 80 mm
Gipskartonplatte
12,5 mm



Gipskartonplatten
2 x 12,5 mm
Holzriegel 60 x 100 mm,
dazw. Mineralw. 100 mm
Gipsfaserplatten
2 x 12,5 mm
Mineralwolle 20 mm
Gipsfaserplatten
2 x 12,5 mm
Holzriegel 60 x 120 mm,
dazw. Mineralw. 120 mm
Gipskartonpl. 2 x 12,5 mm

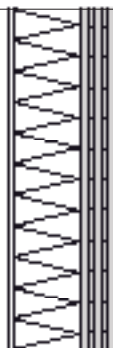
Außenwände



Dünnputz 8 mm
Mineralwolle-
Putzträgerplatte
200 mm
Stahlbeton
200 mm
Spachtelung
3 mm



Außenputz
20 mm
Hochloch-
ziegel mit
Mineralwolle-
füllung
425 mm
Innenputz
15 mm



Dünnputz 8 mm
Mineralwolle-
Putzträgerplatte
200 mm
Brettsperrholz
100 mm
Gipskartonplatte
12,5 mm



Dünnputz 8 mm
Holzfaserdämm-
platte 80 mm
MDF-Platte 15 mm
Holzriegel 80 x 160 mm,
dazw. Mineralw. 160 mm
Gipsfaserplatten 15 mm
Dampfbremse
Lattung, dazw.
Mineralwolle 40 mm
Gipskartonplatte
12,5 mm

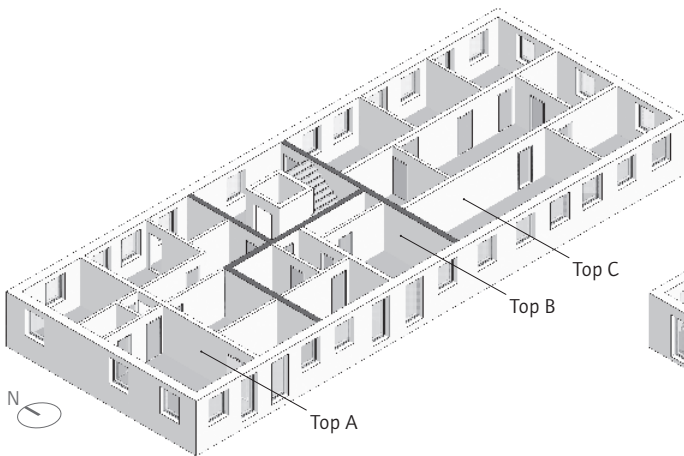


Abb. 1: Simulationsmodell – Teil 1 (Verglasungsanteil 17 Prozent)

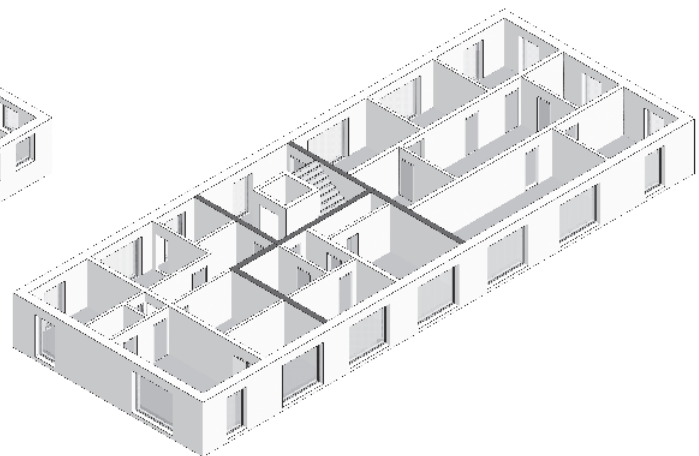


Abb. 2: Simulationsmodell – Teil 2 (Verglasungsanteil 32 Prozent)

Gebäudemodell und Grundriss

Im Zuge des Projekts wurde aus einer Vielzahl an diskutierten Regelgrundrissen ein Regelgeschoss mit drei Nutzungseinheiten entwickelt, bei dem sowohl eine Wohn- als auch eine Büronutzung möglich ist. Bei der Wohnnutzung wurden drei unterschiedlich große Wohnungen konzipiert. Dabei handelt es sich um einen Dreipersonenhaushalt (Top A), um eine Singlewohnung (Top B) und einen Vierpersonenhaushalt (Top C). Der rechteckig geformte Grundriss des Gebäudes mit Außenmaßen von ca. 12 x 31 Metern und einer lichten Höhe der Räume von 2,6 Metern weist weder Vor- noch Rücksprünge auf und ist nach den Haupthimmelsrichtungen orientiert. Diese geometrischen Eckdaten sowie die Positionierung und Größe der transparenten Bauteile kommen bei beiden Nutzungsweisen und für alle unterschiedlichen Bauweisen zur Anwendung. Bedingt durch die unterschiedlichen Wandstärken der einzelnen Bauweisen ergibt sich bei konstanter Bruttogeschossfläche eine leicht differierende Nettogeschossfläche. Da auch die flächenbezogenen Simulationsparameter bezüglich Luftwechsel, Belegungsdichte und inneren Lasten aus technischen Gründen als konstant angenommen werden, ergeben sich auch beim daraus folgenden Gesamtenergieeintrag leichte Variationen. Diese spielen hinsichtlich der Ergebnisse der Simulationen und der daraus folgenden Aussagen und Schlussfolgerungen aber kaum eine Rolle. Im ersten Teil der Untersuchung weisen die Fenster eine einheitliche Größe von 123 x 148 cm auf. Zusätzlich sind im Süden in den Einheiten Top A und B jeweils zwei Fenster mit Abmessungen von 110 x 230 cm („französischer Balkon“) vorgesehen. Dabei ergibt sich ein Verglasungsanteil von 17 Prozent der Außenwandfläche (siehe Abbildung 1). Dieses Modell wurde zur Untersuchung der Simulationsfälle „Büronutzung“ und „Wohnnutzung“

herangezogen. Um auch die Auswirkungen des Trends zu größeren Verglasungsflächen zu untersuchen, wurde im zweiten Teil des Projekts der Simulationsfall „Wohnnutzung“ erneut mit einem deutlich erhöhten Verglasungsanteil der Fassade von insgesamt 32 Prozent untersucht. Hierbei kamen raumhohe Fenster mit einer Größe von 130 x 230 cm bzw. 260 x 230 cm zum Einsatz (siehe Abbildung 2). Für alle Wohnungs- bzw. Büroeingangstüren wurde eine einheitliche Größe von 90 x 200 cm vorgesehen. Für alle Innentüren wurde ein Maß von 80 x 200 cm festgesetzt.

Klimaszenario und Lage

Infolge der Klimaerwärmung ist auch in Österreich mit einer weiteren Zunahme von heißen Tagen und warmen Nächten zu rechnen. Dabei ist insbesondere in Ballungsräumen, bedingt durch die dichtere Bebauung und den Wärmeinseleffekt, von höheren Temperaturen auszugehen. Da keine akzeptablen Wetterdaten für künftige Klimaszenarien verfügbar waren, die prognostisch das lokale Klima in Österreich für eine derartige Simulation ausreichend detailliert abbilden können, wurde eine Analyse bestehender Klimadaten einzelner Jahre und Standorte durchgeführt. Hierbei fiel das Jahr 2003 besonders auf. Es handelt sich um das Jahr mit dem sechstheißesten Sommer seit Beginn der Aufzeichnung (1767). Zusätzlich weist das Jahr 2003 die größte Anzahl an heißen Tagen seit Aufzeichnungsbeginn auf. Aus den prognostischen Klimamodellen wird für Österreich insbesondere eine Zunahme der heißen Tagen vorhergesagt. Aus diesem Grund eignet sich dieses Jahr sehr gut, um zukünftig zu erwartende sommerliche Wetter-szenarien abzubilden. Bei der Wahl des Standorts wurde neben den aktuellen und zu erwartenden lokalen Klimabedingungen auch die prognostizierte Entwicklung der Bevölkerung

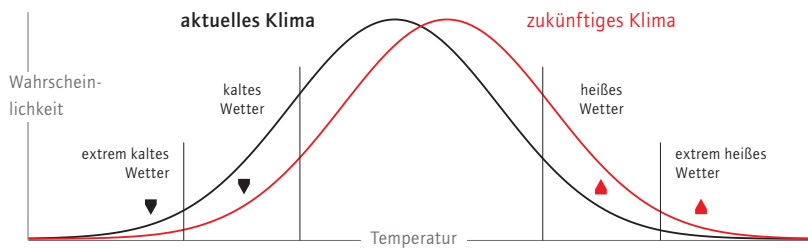


Abb. 3: prognostizierte Klimaentwicklung

berücksichtigt. Aus einer Haushalts- und Familienprognose der Statistik Austria [4] geht hervor, dass insbesondere in den Bezirken Graz-Umgebung, Linz-Land und in Teilen der an Wien grenzenden niederösterreichischen Bezirke die Anzahl der Haushalte um mehr als 20 Prozent steigen wird. Unter Berücksichtigung des derzeitigen Gebäudebestands und der prognostizierten Bevölkerungsentwicklung waren für die Auswahl als Referenzstandort vorwiegend die Städte Wien, Graz und Linz und die dazugehörigen Umlandgemeinden von zentraler Bedeutung. Beim Vergleich der für den sommerlichen Wärmeschutz wesentlichen Klimakenndaten Außenlufttemperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten sowie der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage und der heißen Tage in diesen Ballungsräumen und deren Umgebung ergaben sich vor allem an den Messstationen „Wien-Innere Stadt“ und „Schwechat“ im Hinblick auf die Aufgabenstellung sehr anspruchsvolle Klimawerte. Die daraus abgeleiteten Wetterdaten sind für die vorgesehenen Simulationen deshalb gut geeignet.

Aus den oben dargelegten Gründen wurde für die Simulation somit der Standort „Wien-Schwechat“ mit den Wetteraufzeichnungen des Jahres 2003 ausgewählt. Die Klimadaten basieren auf stündlichen Wetterdaten der lokalen ZAMG Wetterstation [5]. Von den stündlichen Klimawerten dienten die folgenden Parameter als Basisdaten für die Simulation:

- _ Außenlufttemperatur
- _ Taupunkt/relative Luftfeuchte
- _ Atmosphärischer Luftdruck
- _ Windrichtung
- _ Windgeschwindigkeit
- _ Globalstrahlung (horizontal)
- _ Diffusstrahlung (horizontal)
- _ Direktstrahlung
- _ Sonnenstand (Sonnenwinkel)

Nutzung, Nutzerverhalten und innere Lasten

Wie bereits erwähnt, wurde hinsichtlich der Nutzung grundlegend zwischen der Büro- und Wohnnutzung unterschieden. Abhängig davon wurden typische Anwesenheitszeiten und innere Lasten definiert. Die Festlegungen der Anwesenheitszeiten wurden bei der Wohnnutzung auf Basis dreier unterschiedlicher Belegungen der einzelnen Wohneinheiten durchgeführt: Single-, Dreipersonen- und Vierpersonenhaushalt. Beim Büro wurde von

üblichen Büroanwesenheitszeiten ausgegangen. Die Festlegung der Anwesenheitszeit erforderte eine gewisse Willkür, ist aber für die Simulationsergebnisse von erheblicher Bedeutung. Zum einen generieren die anwesenden Personen physiologische Abwärme, zum anderen steuern sie auch diverse weitere innere Lasten, also Wärmequellen, etwa PCs, Beleuchtung und Warmwasser. Noch bedeutender ist aber, dass die anwesenden Personen auch Einfluss auf die Beschattung und die Fensteröffnung nehmen, also die maßgeblichen Wärmeeintrags- und Wärmeabfuhrmechanismen. Im Fall der Beschattung wurde aus diesem Grund zur besseren Objektivierung eine automatisch gesteuerte Variante gewählt. Die Fensterlüftung jedoch wird mit der tatsächlichen Belegung gekoppelt, um so möglichst praxisrelevante Ergebnisse zu erzielen.

Auf die detaillierten Werte kann aus Gründen der Kompaktheit hier nicht näher eingegangen werden, diesbezüglich wird auf die Forschungsarbeit verwiesen. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, dass bei der Büronutzung durch die Kombination der dichteren Belegung und der umfangreicheren technischen Ausrüstung (PC, Server etc.) deutlich höhere innere Lasten auftreten.

Luftwechselmodell – Kühlung durch natürliche Lüftung

Im Fall der natürlichen Lüftung kommt der Simulation des Luftwechsels naturgemäß maßgebliche Bedeutung zu. Gleichzeitig stellt dieser Mechanismus beim aktuellen Stand der Gebäudesimulationsmöglichkeiten aber auch den am schwersten abzubildenden Vorgang dar. Dies liegt einerseits daran, dass eine befriedigende Simulation nur mittels aufwändigster numerischer Strömungssimulation („computational fluid dynamics“) mit gleichzeitiger Wärmeübertragungsberechnung möglich ist („Multiphysik-Simulation“), und andererseits daran, dass das – für die natürliche Lüftung ebenfalls sehr relevante – Nutzerverhalten betreffend der Fensteröffnung nur sehr eingeschränkt abgebildet werden kann. Aus diesem Grund wurde versucht, unter Ausnutzung der gegebenen Möglichkeiten ein möglichst nachvollziehbares Modell zu entwerfen, das insgesamt zu einem erfahrungsgemäß plausiblen Luftwechsel führt und eine gute Vergleichbarkeit der Konstruktionsweisen ermöglicht.

Das Modell sieht vor, dass immer dann gelüftet wird, wenn zumindest eine Person in der entsprechenden Einheit anwesend ist und die Außenlufttemperaturen unter den Innenlufttemperaturen liegen. Unterschreiten die Innenlufttemperaturen 18 °C, so werden die Fenster wieder geschlossen. Bei den Simulationsfällen mit Klimaanlage gilt die zusätzliche Regel, dass die natürliche Lüftung nur bei Innenlufttempe-

peraturen kleiner 24 °C eingesetzt wird. Bei höheren Temperaturen wird mit der Klimaanlage gearbeitet. Das vereinfachte Modell erfordert die Annahme von konstanten Luftwechselzahlen für die einzelnen Zonen, weil es mit den derzeit gebräuchlichen Gebäudesimulationsmodellen nicht möglich ist, den Luftwechsel physikalisch korrekt nachzubilden. Darüber hinaus sind die tatsächlichen Strömungsverhältnisse von einer Vielzahl an oft schwer ermittelbaren oder variablen Randbedingungen abhängig. Dies sind zum Beispiel Öffnungsgeometrien, Raumgeometrien, Druckverhältnisse, Windlasten, Türstellungen, Möblierungen und Oberflächenbeschaffenheiten.

Die in diesem Projekt verwendeten Luftwechselwerte orientieren sich an der Anordnung der Zonen bezüglich der Fenster und an Messwerten der einschlägigen Literatur. Um die Sensitivität bezüglich dieser wichtigen, aber schwer bestimmbarer Parameter darzustellen, wurden drei unterschiedliche Fälle definiert: „base case“, „verringertes Luftwechsel“ und „erhöhter Luftwechsel“.

Beschattungsmodell

Während der Luftwechsel im Fall ausreichend niedriger Außenlufttemperaturen den maßgeblichen Beitrag zur Abkühlung des Gebäudes leistet, liefern die solaren Einträge bei üblicher Bauweise und üblicher Nutzung im Sommer meist den größten Beitrag hinsichtlich der Erwärmung. Dieser Wärmebeitrag kann durch eine Beschattung deutlich beeinflusst werden. Die Abbildung der Beschattung in der Simulation stellt eine ähnliche Herausforderung dar wie jene des Luftwechsels (siehe oben). Die physikalischen Vorgänge können hier jedoch durch ein entsprechendes Simulationsmodell besser nachgebildet werden. Die verbleibende Unschärfe begründet sich vor allem in der ungenauen Abbildbarkeit des subjektiven Nutzerverhaltens. Aus diesem Grund wurde versucht, im Rahmen der gegebenen Randbedingungen ein möglichst einfaches, nachvollziehbares Modell zu erarbeiten, das summarisch die Einträge durch Sonnenstrahlung plausibel abbildet. Dazu wurde eine Beschattungsanlage definiert, die zentral und automatisch anhand der auf die horizontale Ebene einfallenden Globalstrahlung die Beschattung jeweils für alle Fenster gleichzeitig aktiviert. Derartige Anlagen werden auch in der Praxis immer wieder eingesetzt. Um die Nachvollziehbarkeit zu erhöhen, wurde darüber hinaus definiert, dass die Beschattung nur die Zustände „unbeschattet“ und „beschattet“ annehmen kann. Um den wichtigen Einfluss der Beschattung als bestimmenden Faktor abbilden zu können, wurden analog zum Luftwechsel jeweils drei Variationen

festgelegt: „base case“, „erhöhte Beschattung“ und „verringerte Beschattung“.

Für die einzelnen Fälle werden unterschiedliche Schwellwerte der Globalstrahlung als Schaltpunkte definiert. Für die Schaltpunkte 240, 360 und 480 W/m² ergaben sich im Durchschnitt tägliche Beschattungsdauern von 9,1, 7,3 und 5,3 Stunden. Um bei der Wohnnutzung eine noch größere Spreizung zu erzielen, wurden zusätzlich unterschiedliche Lamellenwinkel für die drei Zustände definiert. Obwohl die Beschattungszeiten recht stark variieren, stellt dieses Modell hinsichtlich des Energieeintrags nur eine mäßige Variation dar. Die Automatik sorgt zum Beispiel konsequent dafür, dass zu den Zeitpunkten der höchsten solaren Einstrahlung – etwa zur Mittagszeit – die Beschattung jedenfalls aktiviert ist. Berücksichtigt man das tatsächliche Nutzerverhalten, also eine manuelle Steuerung der Beschattung, so könnten auch erheblich größere Variationen entstehen, zum Beispiel durch Eingriffe zur Veränderung der Ausleuchtung des Arbeitsplatzes oder durch Wochenendabwesenheiten.

Simulationssoftware

Die zur Gebäudesimulation verwendete Software Design-Builder [6] bietet die Möglichkeit, auf Basis von CAD-Plänen simulationsfähige Gebäudemodelle zu generieren. Darüber hinaus erlaubt Design-Builder die Bearbeitung und Darstellung der sehr umfangreichen Simulationsrandbedingungen und -ergebnisse. Die Simulationsberechnungen werden dabei von der Software EnergyPlus (Version 8.1) durchgeführt. Diese stammt vom us-amerikanischen Department of Energy. Die erste Version entstand vor ca. 15 Jahren und basiert auf den Vorläuferprogrammen BLAST und DOE-2.

EnergyPlus gehört zu den am besten etablierten Gebäudesimulationsprogrammen weltweit und wurde bereits anhand mehrerer Normverfahren (z. B. BESTEST [7]) validiert. Aus diesem Grund wurde diese Software zur Durchführung der Simulationen im Rahmen des Projekts ausgewählt. Eine zusätzliche eigene Validierung war im Rahmen des Projekts aus Zeitgründen nicht möglich.

Simulations- und Auswertemethodik

Da bereits zu Beginn des Forschungsprojekts von einer hohen Relevanz der Luftwechsel- und der Beschattungssituation auszugehen war, wurde eine Methodik gewählt, bei der es möglich war, den Einfluss der Bauweise auf die sommerliche Überwärmung bei unterschiedlichen Szenarien zu untersuchen beziehungsweise die Sensitivitäten hinsichtlich der Bauweise jenen hinsichtlich einer geänderten Beschattungs- und Luftwechselsituation gegenüberzustellen.

Simulationsergebnis Wohnnutzung mit Fensterlüftung

Auf der Grundlage eines Ausgangsszenarios („base case“) wurden jeweils der Luftwechsel und/oder die Beschattung variiert. Für den jeweiligen definierten Zustand wurden wiederum vier Gebäudesimulationen für die unterschiedlichen Bauweisen durchgeführt. Bei der Wohnnutzung ergaben sich daraus 28 Fälle (siehe Abbildung 4). Bei den bereits zuvor durchgeführten Simulationen zur Büronutzung und der Wohnnutzung mit geringerer Fensterfläche wurden die Extremfälle („erhöhte Beschattung, erhöhter Luftwechsel“ und „verringerte Beschattung, verringerter Luftwechsel“) nicht extra simuliert. Deshalb wurden für diese Untersuchungen noch weitere achtzig Gebäudesimulationen durchgeführt. Jede dieser Simulationen lieferte einen Datensatz bestehend aus 18 Parametern, wie Lufttemperatur, operative Temperatur, Kühlleistung, solarer Eintrag, Infiltrationsrate etc. Jeder dieser Datensätze wurde mit stündlicher Auflösung für das gesamte simulierte Jahr ausgegeben. Zudem erfolgte die Ausgabe aus EnergyPlus/DesignBuilder jeweils als Datensatz für das gesamte Geschoss und zusätzlich für jede der 21 Zonen einzeln. Somit entstanden bei jedem Simulationsfall ca. 3,5 Millionen Datenwerte (18 Parameter x 365 Tage x 24 Stunden x 22 Zonen). Da für die Untersuchung insgesamt 108 Simulationsfälle durchgerechnet wurden, ergab sich eine Gesamtanzahl von 378 Millionen Datenwerten. Um dieser enormen Datenmenge zu begegnen, musste ein maßgeschneidertes Software-Tool („RIOPT-Analyser“) zur Verwaltung, Auswertung und Darstellung der Daten programmiert werden. Nur mithilfe dieses Programms war es möglich, die gewünschten Auswertegrößen in annehmbarer Zeit zu ermitteln, zu untersuchen und darzustellen. Da die grafischen Ausgabemöglichkeiten von EnergyPlus und DesignBuilder leider sehr beschränkt sind, wurden auch die Falschfarbendarstellungen der Zonendaten („Renderings“) mithilfe einer weiteren, selbst entwickelten Funktion generiert.

Temperaturmittelwerte und Überschreitungskriterien

Die hier präsentierten Simulationsergebnisse für die Wohnnutzung stammen aus den Berechnungen mit dem Modell „erhöhter Verglasungsanteil“ (siehe Projektbeschreibung). Die Ergebnisse der zuvor durchgeführten Berechnungen mit geringerem Glasanteil werden aus Gründen der Kompaktheit hier nicht dargestellt. Es soll jedoch hervorgehoben werden, dass sich bei diesen qualitativ gleichwertige Ergebnisse zeigten.

Wie bereits erwähnt, wurde bei diesem Fall von einer Unterteilung des Geschosses in drei Wohneinheiten ausgegangen. Es wurde angenommen, dass bei Anwesenheit von zumindest einer Person in einer Wohneinheit konsequent Fensterlüftung zur Kühlung eingesetzt wird, sobald die Außentemperatur unter der Raumtemperatur liegt.

Temperaturmittelwerte

Bei der Analyse der umfangreichen Ergebnisse wurde der Schwerpunkt zunächst auf den Zusammenhang der Temperaturmittelwerte aller Räume gelegt. Es wurden jeweils die Mittelwerte über die gesamte Periode vom 1. Mai bis zum 30. September gebildet. Die Temperaturmittelwerte weisen abhängig von der Raumorientierung und dem Fensteranteil deutliche Unterschiede auf (siehe Abbildung 6). Der Einfluss des Luftwechsels und der Beschattung ist ebenfalls stark ausgeprägt (siehe Abbildung 5). Hinsichtlich der unterschiedlichen Bauweisen zeigt sich qualitativ die zu erwartende Abhängigkeit, d. h. die leichteren Bauweisen weisen im Mittel eine höhere Temperatur auf als die schweren. Quantitativ hingegen liegen diese Mittelwerte sehr eng beisammen. Die Differenz zwischen leichtester und schwerster Bauweise liegt bei allen untersuchten Fällen im Bereich von 0,2 °C. Die Variationen hinsichtlich der Beschattungssituation und des Luftwechsels hingegen führen zu deutlichen Temperaturunterschieden im Bereich von mehreren Grad Celsius.

Abb. 4: Simulationemethodik – schematische Darstellung der untersuchten Simulationsfälle

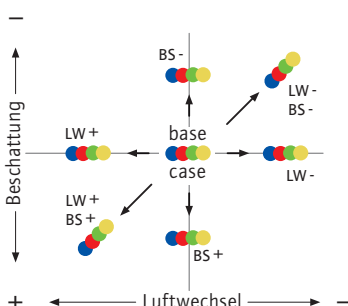
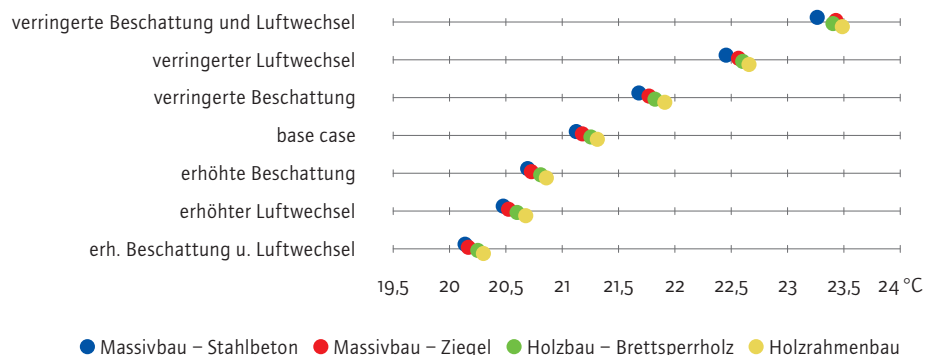


Abb. 5: Gemittelte operative Temperatur der Simulationsfälle – Wohnnutzung



Aus der Zonenübersicht in Abbildung 6 wird gut erkennbar, dass die Temperaturmittelwerte in Bezug auf die einzelnen Zonen (Räume) stark variieren. Die Spanne zwischen dem kühlssten und dem wärmsten Raum beträgt beinahe 2,5 °C. Vergleicht man jedoch die einzelnen Raumtemperaturen bezüglich der unterschiedlichen Bauweisen, so sind kaum Unterschiede wahrnehmbar.

Naturgemäß weisen die Räume mit hohem Fensteranteil die höchsten Werte auf. Erwähnenswert ist ebenso, dass im Sommer vor allem die west- und ostorientierten Räume zur Überhitzung neigen, weil aufgrund des steilen Sonneneinfalls der solare Eintrag im Sommer auf der Südseite geringer ist als auf der West- bzw. Ostseite (siehe auch Abbildung 26).

Überschreitungskriterien

In einem weiteren Analyseschritt werden die beiden in der ÖNORM B 8110-3 [8] verankerten Kriterien untersucht. Demnach darf unter Anwendung eines genau definierten, ortsabhängigen Temperaturtagesverlaufs, der modellhaft den Tagestemperaturgang des 15. Juli abbilden soll, eine maximale Raumtemperatur von 27 °C nicht überschritten werden. Für Schlaf- und Ruheräume wird zusätzlich gefordert, dass die Raumtemperatur in der Zeit von 22 bis 6 Uhr einen Wert von 25 °C unterschreiten muss. Beide Kriterien sind so formuliert, dass bereits eine kurzzeitige, singuläre Unterschreitung oder Überschreitung der jeweiligen Temperaturmarken für die Einhaltung oder Nichteinhaltung des Kriteriums ausschlaggebend sind.

27 °C-Überschreitungen

In Anlehnung an diese Normenkriterien wurden die Temperaturverläufe der einzelnen Simulationen auf Einhaltung dieser Temperaturmarken hin untersucht. Um quantitativ eine bessere Aussage zu erhalten, wurde die Gesamtanzahl der Stunden verglichen, in denen die operative Temperatur über der 27 °C-Marke lag.

Vergleicht man die Anzahl der Überschreitungsstunden, so werden die von der Bauweise abhängigen Unterschiede deutlicher wahrnehmbar als bei den Temperaturmittelwerten (siehe Abbildung 7). Gut erkennbar ist, dass auch bei dieser Betrachtungsweise gilt, dass die Luftwechselzahlen und die Beschattungssituation einen deutlich markanteren Einfluss ausüben als die baulichen Unterschiede. Bei funktionierendem Beschattungskonzept und effektiver Nachtlüftung gelingt es bei allen Bauweisen, die Raumtemperaturen dauerhaft unter 27 °C zu halten. Die zonalen Unterschiede sind auch hier wieder deutlich ausgeprägter als jene unter den vier Bauweisen (siehe Abbildung 8).

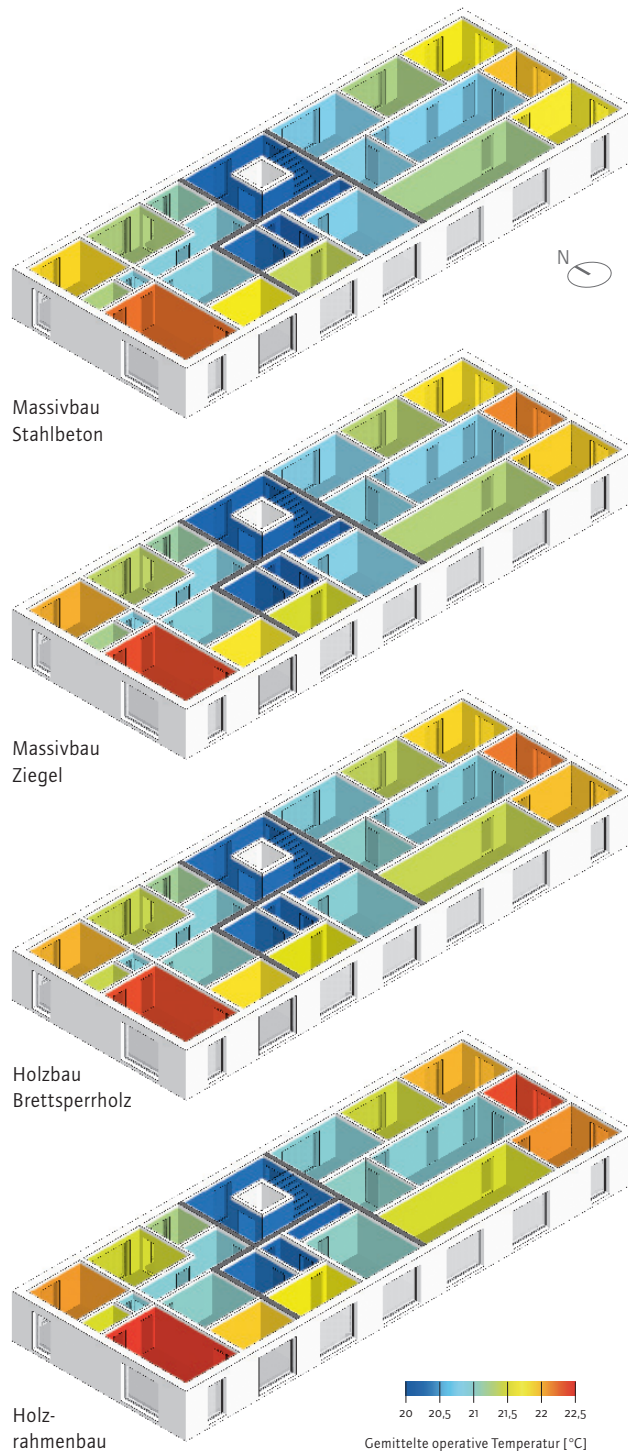
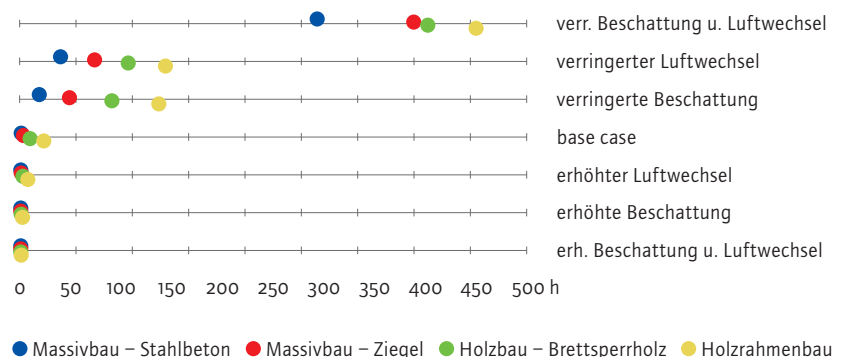


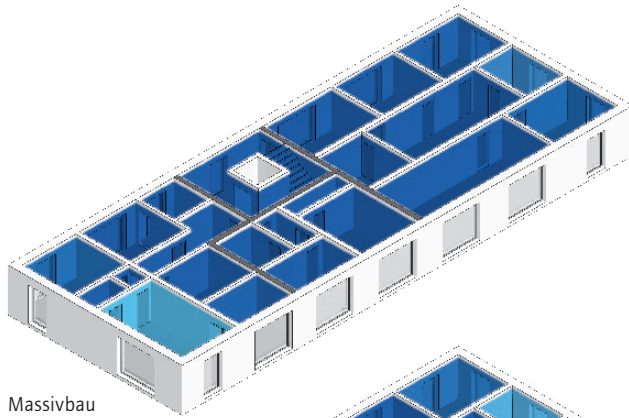
Abb. 6: Temperaturmittelwerte der einzelnen Zonen bei den vier Bauweisen

Abb. 7: Anzahl der Überschreitungsstunden >27 °C – Wohnnutzung

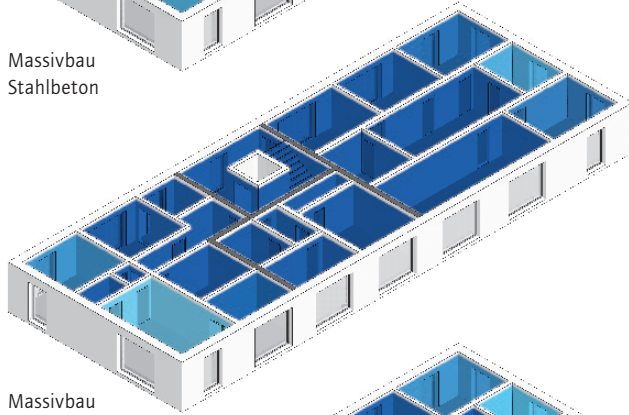


base case

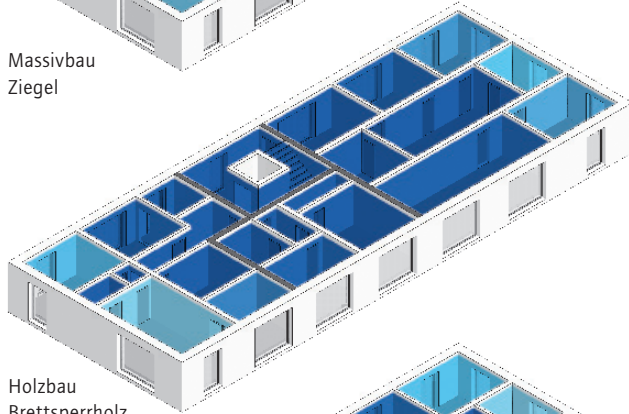
verringerte Beschattung
verringertes Luftwechsel



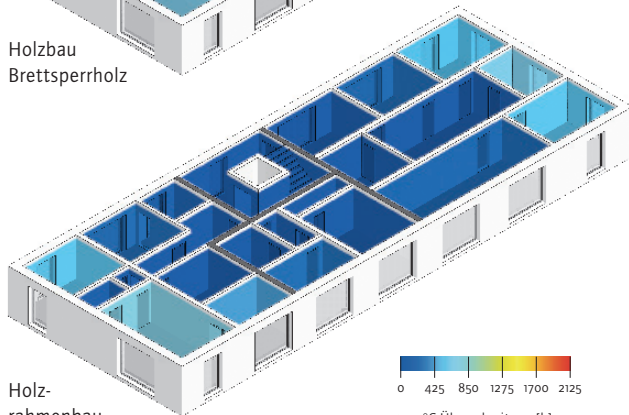
Massivbau
Stahlbeton



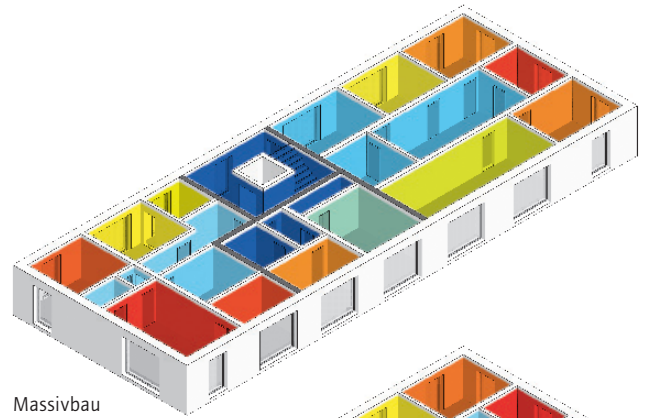
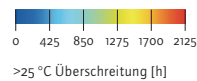
Massivbau
Ziegel



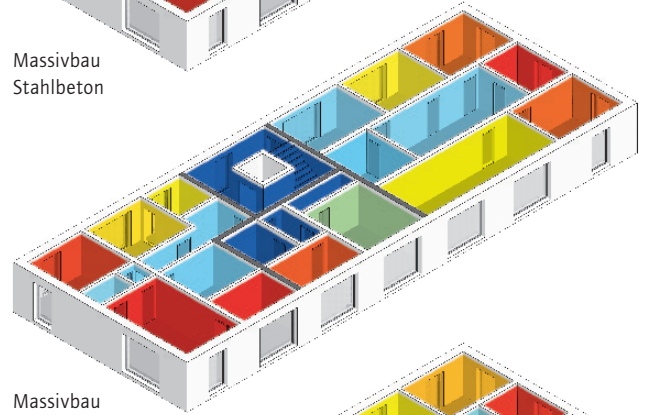
Holzbau
Brettspertholz



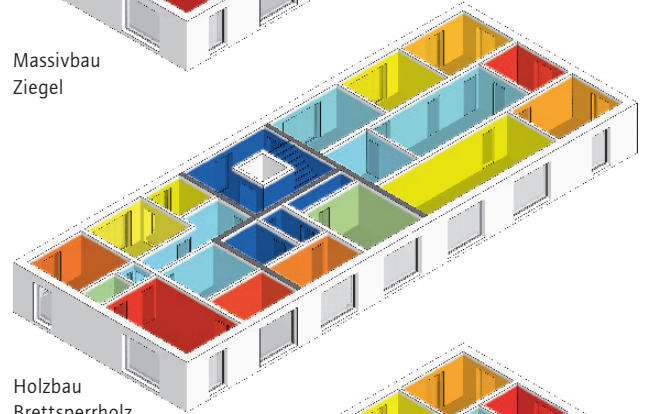
Holz-
rahmenbau



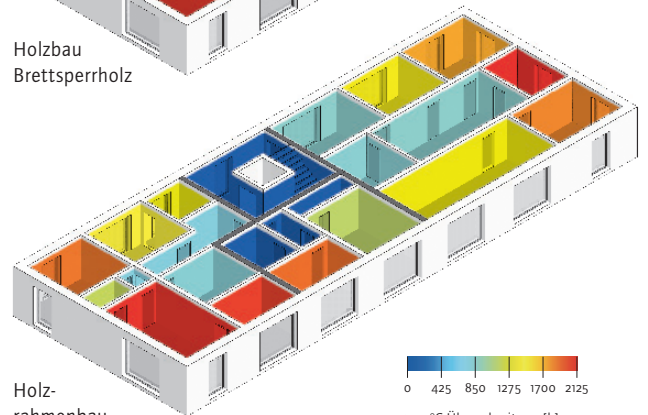
Massivbau
Stahlbeton



Massivbau
Ziegel



Holzbau
Brettspertholz



Holz-
rahmenbau

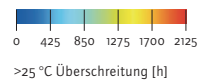


Abb. 8: Anzahl der Überschreitungsstunden mit mehr als 25 °C.
Vergleich des „base case“ mit dem Überhitzungsszenario „verringerte Beschattung, verringertes Luftwechsel“

25 °C-Nachtkriterium

Beim Vergleich des 25 °C-Nachtkriteriums zeigt sich ein ähnliches Bild (siehe Abbildung 9). Eine markante Abweichung ist jedoch gut zu erkennen: Im extremen Überhitzungsfall mit ungünstiger Beschattung und mangelhaftem Luftwechsel zeigt sich nun eine geänderte Abhängigkeit von der Bauweise. Es ist deutlich zu sehen, dass in diesem Fall die leichteste Bauweise die geringste Zahl an Überschreitungs-

nächten aufweist. Dies erklärt sich daraus, dass die Temperatur bei der leichten Bauweise zwar im Innenraum schneller ansteigt, analog dazu aber bei einer Abkühlung auch schneller absinkt. Aus diesem Grund ist es im besagten „Überhitzungsfall“ plausibel, dass es bei der leichtesten Bauweise am häufigsten möglich ist, nächtliche Temperaturen unter 25 °C zu erzielen. Eine weitere Auffälligkeit dieses Falls ist, dass die Anzahl der Überschreitungsnächte

der Ziegelbauweise jene der Stahlbetonbauweise übertrifft. Dies lässt sich mit dem konkreten Wetterverlauf des Simulationsjahrs erklären und ist nicht zu verallgemeinern. Die „Reaktionszeit“ des Gebäudes in Ziegelbauweise, auf die wir später noch eingehen werden, war hier in einer entscheidenden, spezifischen Hitzeperiode offenbar ungünstig.

Schlaftemperaturen

Die Intention des 25 °C-Unterschreitungskriteriums der ÖNORM B 8110-3 ist es, eine Aussage über die „Schlafqualität“ im betrachteten Raum zu treffen. Das Kriterium ist aber sehr spezifisch, weil zum Beispiel ein Temperaturverlauf, der lediglich um 5 Uhr früh eine operative Temperatur von 24,9 °C aufweist, zu dessen Erfüllung bereits ausreicht. Wie hoch die Temperaturen im Rest der Nacht waren, spielt in diesem Fall keine Rolle. Um auch hier eine etwas objektivere Darstellung zu finden, wurden für die sieben Simulationsfälle zusätzlich die Mittelwerte der operativen Temperaturen in der von der Norm vorgegebenen Zeit von 22 bis 6 Uhr gebildet (siehe Abbildung 10).

Das Bild ähnelt jenem der bereits präsentierten Temperaturmittel, jedoch sind Unterschiede bezüglich der Bauweisen kaum vorhanden. Am deutlichsten wahrnehmbar sind sie im eben besprochenen Überhitzungsfall, bei welchem die leichteste Bauweise tendenziell die geringsten Temperaturen zeigt. Dies erklärt sich durch die schnellere Reaktion der leichteren Bauweise auf den nächtlichen, kühlenden Luftwechsel.

Temperaturverläufe

Die Zusammenhänge, die zum eben dargelegten Verhalten der Temperaturmittelwerte und Überschreitungskriterien führen, werden unmittelbar verständlich, wenn die effektiven Tagesverläufe der Temperaturen dargestellt werden.

Tagesverläufe der Temperatur

Exemplarisch werden die Tagesverläufe der Temperaturen im heißesten Raum für die letzte Juliwoche dargestellt. In jedem Diagramm sind die genauen Temperaturverläufe jeweils für alle vier Bauweisen abgebildet. Verglichen wird der „base case“ der Simulation (Abbildung 11) mit den Extremfällen „verringerte Beschattung, verringerter Luftwechsel“ (Abbildung 12) und „erhöhte Beschattung, erhöhter Luftwechsel“ (Abbildung 13).

Es ist sehr gut zu sehen, dass die Temperaturschwankungen bei leichten Bauweisen deutlicher ausgeprägt sind. Dies gilt aber nicht nur für die Erwärmungsphasen, sondern symmetrisch auch für die Abkühlungsphasen. Somit werden bei der leichtesten Bauweise

Abb. 9: Anzahl an Überschreitungs Nächten >25 °C – Wohnnutzung

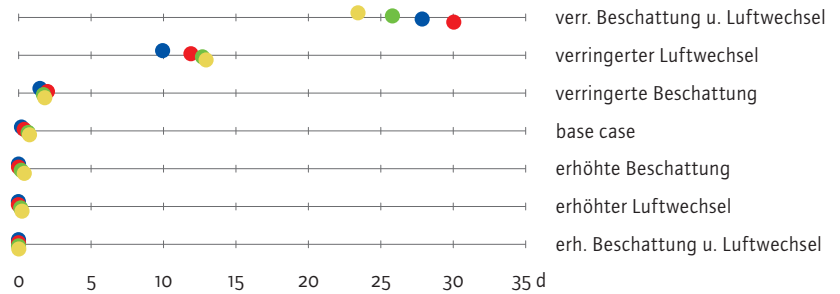
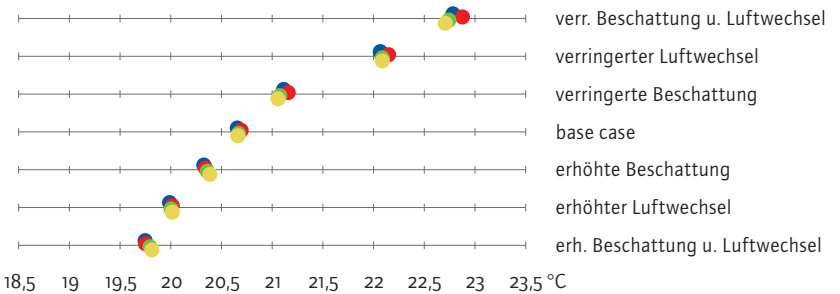


Abb. 10: Mittlere operative Temperatur im Zeitraum von 22 bis 6 Uhr



- Massivbau – Stahlbeton
- Massivbau – Ziegel
- Holzbau – Brettspertholz
- Holzrahmenbau

zwar in spezifischen Tagesperioden die höchsten Tagestemperaturen erreicht, ebenso aber meist auch die tiefsten Temperaturen der Nacht erzielt.

Der dominierende Effekt, der von der speicherwirksamen Masse hervorgerufen wird, ist somit eine „geänderte Reaktionszeit“ des Gebäudes auf Wärmeeintrag durch solare Einstrahlung oder äußere Temperaturschwankungen. Bei der Erwärmung über den Tag kann sich somit eine geringe Masse, bei der Abkühlung in der Nacht eine zu hohe Masse ungünstig auswirken.

Mittelfristige Temperaturverläufe

Dies gilt sowohl für die kurzfristige Betrachtung auf 24-Stunden-Basis als auch für eine mittelfristige. Um diesen Effekt zu veranschaulichen, wurden in den Abbildungen 14, 15 und 16 die Temperaturverläufe im heißesten Raum für zwei Monate abgebildet. Um die bereits besprochenen täglichen Schwankungen „auszublenden“, werden bei dieser Darstellung jedoch über 24 Stunden gemittelte Temperaturwerte herangezogen. Wie bereits zuvor wird der „base case“ mit den beiden Extremfällen hinsichtlich Beschattung und Luftwechsel verglichen.

Diese Art der Darstellung vermag gut die Reaktion des Gebäudes auf Wetteränderungen zu veranschaulichen. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei den

Abb. 11:
Temperaturverlauf
im heißesten Raum
für den Ausgangsfall
„base case“

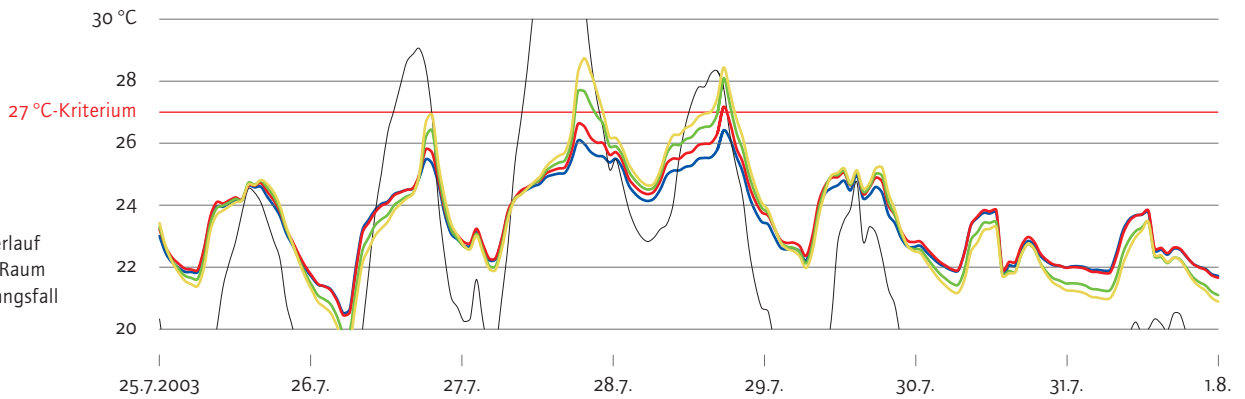


Abb. 12:
Temperaturverlauf im
heißesten Raum für
den Fall „verringerte
Beschattung, verrin-
gerter Luftwechsel“

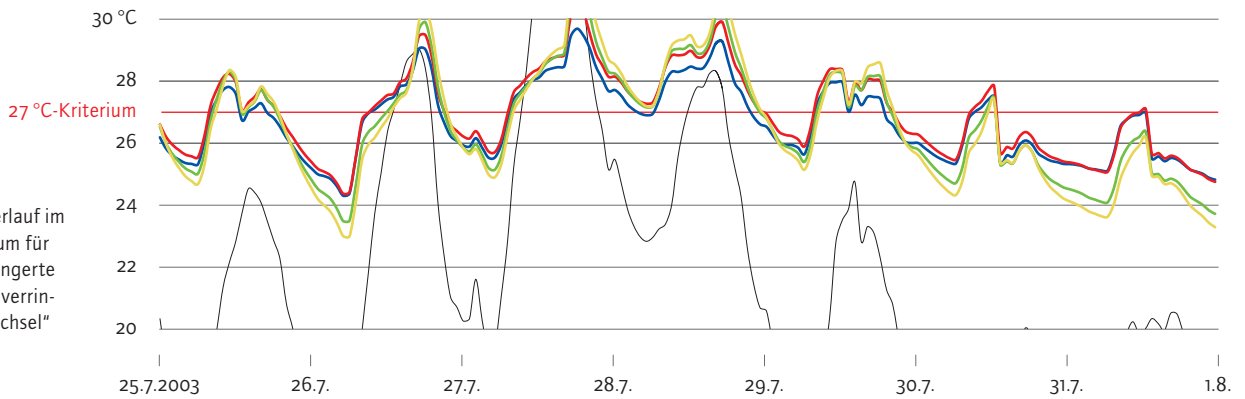
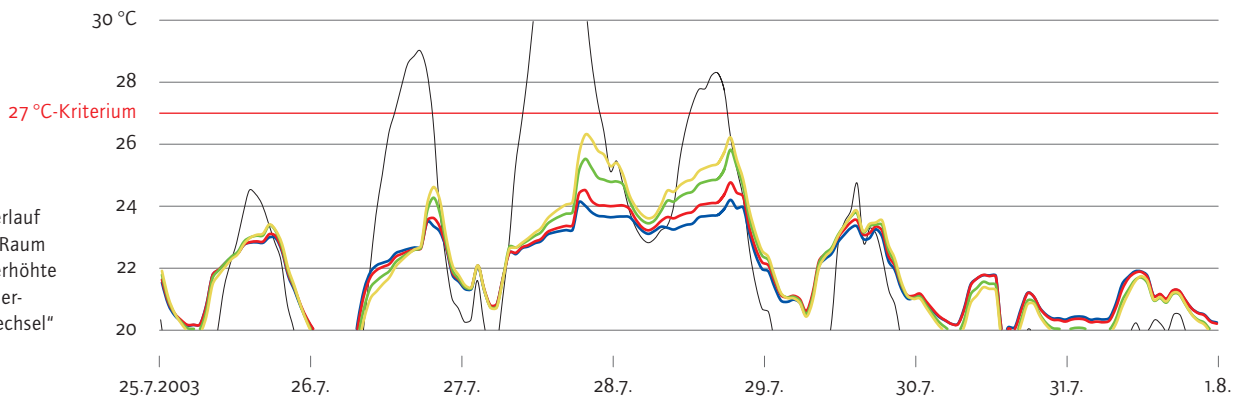


Abb. 13:
Temperaturverlauf
im heißesten Raum
für den Fall „erhöhte
Beschattung, er-
höhter Luftwechsel“



- außen
- Massivbau – Stahlbeton
- Massivbau – Ziegel
- Holzbau – Brettsper Holz
- Holzrahmenbau

Tagesverläufen. Wiederum liegen die höchsten und die niedrigsten Werte auf der Temperaturverlaufskurve der leichtesten Bauweise. Sehr gut zu sehen sind die raschere Abkühlung der leichteren Konstruktionen infolge einer Wetteränderung Anfang Juli und die darauf folgende raschere Erwärmung in der zweiten Monatshälfte.

Interessant ist auch eine Gegenüberstellung der Mittelwerte der Temperaturen über den gesamten dargestellten Zeitraum (zwei Monate). Diese liegen beim „base case“-Szenario für alle Bauweisen im Bereich zwischen 23,1 und 23,2 °C und damit wieder bemerkenswert eng beieinander. Hinsichtlich der

zeitlichen Verteilung zeigt sich im betrachteten Zeitraum eine leichte Asymmetrie, weil die Temperaturen des Holzleichtbaus sogar während 55 Prozent der Zeit unter jenen der Stahlbeton-Konstruktion liegen.

Temperaturstatistik

Um eine Vergleichbarkeit der zeitlichen Ausdehnung der einzelnen Temperaturniveaus zu ermöglichen, wurde eine sogenannte Boxplot-Auswertung durchgeführt. Bei dieser werden die stündlichen Temperaturwerte sortiert und anschließend so unterteilt, dass jeweils vier zeitlich gleich große

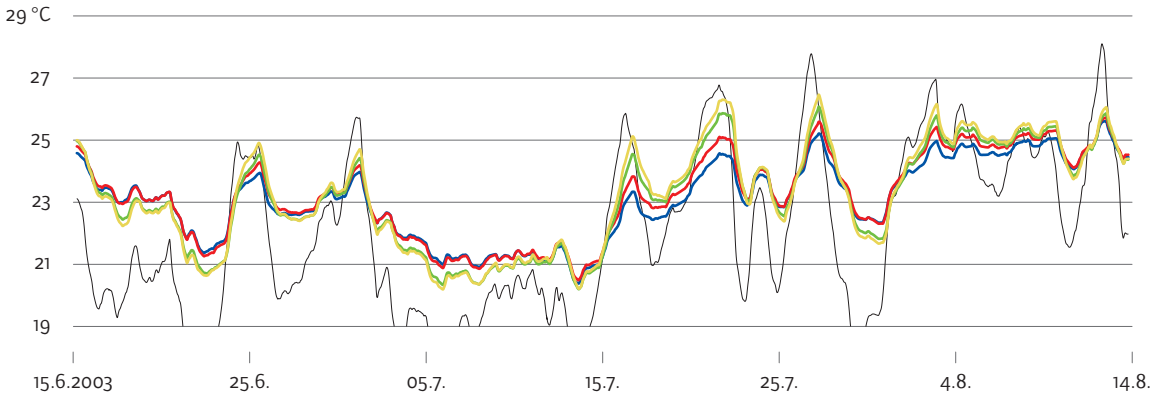


Abb. 14:
Gleitende 24-Stunden-Temperaturmittel im heißesten Raum für den Ausgangsfall „base case“

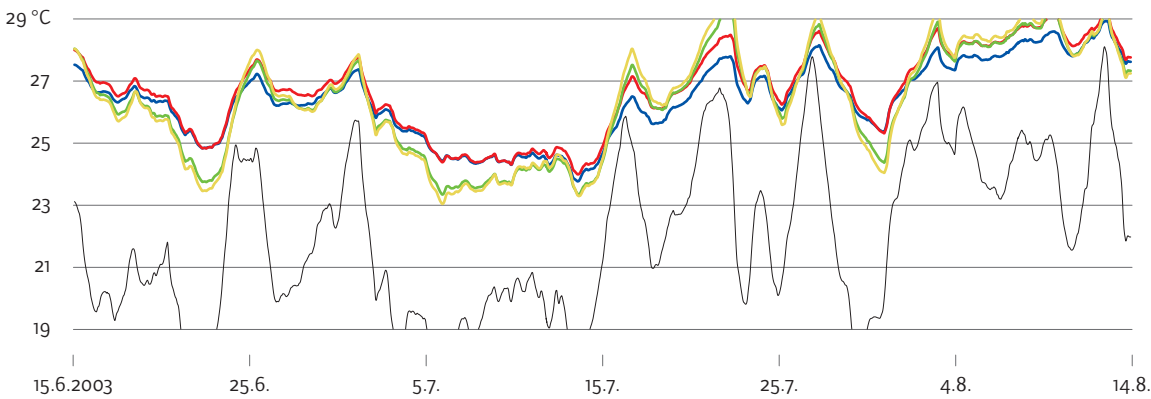


Abb. 15:
Gleitende 24-Stunden-Temperaturmittel im heißesten Raum für den Fall „verringerte Beschattung, verringerter Luftwechsel“

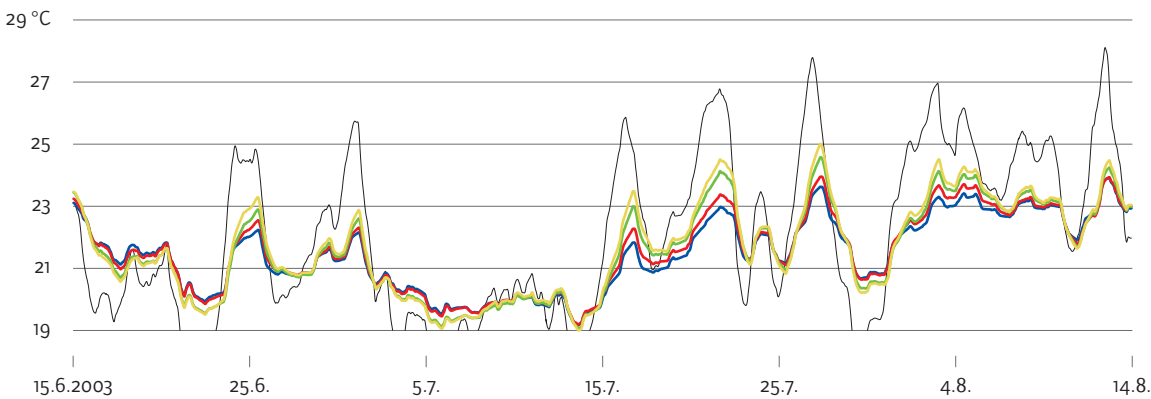


Abb. 16:
Gleitende 24-Stunden-Temperaturmittel im heißesten Raum für den Fall „erhöhte Beschattung, erhöhter Luftwechsel“

Abschnitte entstehen. Die hierbei entstehende zentrale Linie zeigt damit den Median-Temperaturwert an. Dieser markiert jene Temperatur, die jeweils in der Hälfte der Zeit unter- bzw. überschritten wird. Der zentrale breite Streifen markiert damit wiederum jenen Temperaturbereich, der in der Hälfte der Zeit eingehalten wird. Die als dünne Linien ange deuteten Bereiche zeigen die Temperaturen, die in der restlichen Zeit, also im wärmsten und im kältesten Viertel der Auswertzeit, vorliegen. Die Boxplot-Auswertung wird wieder für den Ausgangsfall „base case“ und die beiden Extremfälle durchgeführt. Das erste Diagramm in Abbildung 17

zeigt die Temperaturstatistik der Mittelwerte aller Räume an, das zweite in Abbildung 18 stellt die Temperaturen des heißesten Raums statistisch dar. Sehr gut zu sehen ist, dass ebenso wie die Temperaturmittelwerte auch die Temperaturmedianwerte, die grafisch durch einen Spalt angedeutet sind, sehr eng beisammenliegen. Beim zentralen 50-Prozent-Bereich der Temperaturabweichungen, der als Balken dargestellt ist, liegt eine leichte Abhängigkeit von der Bauweise vor. Bei den „Temperatúrausreißern“ nach oben und unten ist auffällig, dass diese im heißesten Raum relativ symmetrisch bezüglich Erwärmung und Abkühlung sind, bei Betrachtung

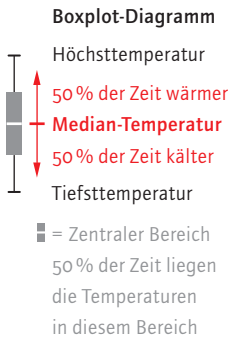
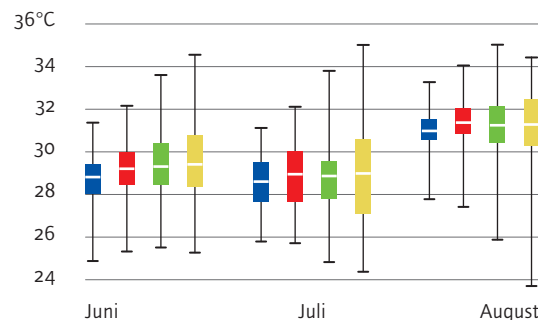
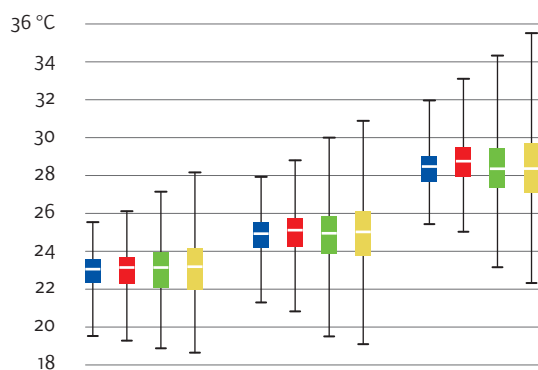
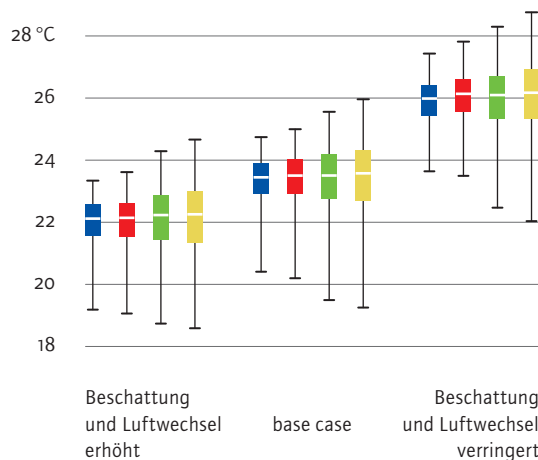


Abb. 17: Temperaturstatistik über den Monat August für die Zonenmittelwerte

Abb. 18: Temperaturstatistik über den Monat August für den heißesten Raum

aller Räume jedoch die Abweichung des „kühlsten Viertels“ deutlich ausgeprägter ist. Bemerkenswert ist aber die Tatsache, dass insgesamt der Unterschied durch die Wirkung von Beschattung und Belüftung deutlich stärker ausgeprägt ist als der Unterschied durch die Bauweisen.



- Massivbau – Stahlbeton
- Massivbau – Ziegel
- Holzbau – Brettsperrholz
- Holzrahmenbau

Abb. 19: Nicht klimatisiertes Büro. Temperatur-Statistik im heißesten Raum für die drei Auswertemonate mit den höchsten Temperaturen (base case)

Nicht klimatisiertes Büro

Wie einleitend erwähnt, wurden die Berechnungen für die Büronutzung im ersten Teil der Untersuchung durchgeführt, bei dem ein Modell mit 17 Prozent Glasanteil im Sinne der Baugesetzgebung zur Anwendung kam. Beim Simulationsfall „Büronutzung ohne Klimatisierung“ wurde deutlich, dass eine signifikante Überhitzung bei allen Bauweisen in allen relevanten Monaten und in jedem Raum auftrat. Das Konzept der Temperierung durch Fensterlüftung erfordert, dass die Wärmegewinne, die während des Tages auftreten, durch Luftaustausch mit der Umgebung abgeführt werden können. Dies ist naturgemäß nur dann möglich, wenn die Lufttemperatur der Umgebung unter der Raumlufttemperatur bzw. unter der Temperatur der Oberflächen der speicherwirksamen Massen liegt. Im hierbei betrachteten Fall eines Regelgeschosses mit Büronutzung und ohne mechanische Klimatisierung kann diese Kühlmöglichkeit nicht umgesetzt werden, weil laut dem angewendeten Simulationsansatz eine Fensterlüftung nur bei Anwesenheit von zumindest einer Person durchgeführt wird. Da die geringsten Außentemperaturen vorwiegend nachts herrschen, das Büro in dieser Zeit aber unbesetzt ist, kann der Kühleffekt praktisch nicht genutzt werden. Abhilfe könnten hier die nur selten eingesetzten automatischen Anlagen schaffen. Zusätzlich erschwerend kommt hinzu, dass bei der Büronutzung auch auf Seiten des Wärmeintrags mit höheren Lasten zu rechnen ist. Diese ergeben sich einerseits durch die höhere Belegungsdichte der Räumlichkeiten, andererseits durch die umfangreichere technische Ausstattung, also die Abwärme der elektrischen Geräte.

Die Simulation zeigt somit, dass beim betrachteten Objekt unter den betrachteten klimatischen Bedingungen eine derartige Nutzung ohne Klimaanlage de facto nicht möglich ist, unabhängig von der Bauweise. Die durch Sonneneinstrahlung und innere Lasten tagsüber eingebrachte Wärme kann infolge der fehlenden nächtlichen Fensterlüftung nicht mehr abgeführt werden. Es tritt eine anhaltende Überhitzung im gesamten Geschoss auf. Wie im Temperaturstatistik-Diagramm in Abbildung 19 zu sehen ist, liegen die Mitteltemperaturen im exponiertesten Raum in den Monaten Juni und Juli knapp unter 30 °C und im August sogar darüber. Die Temperaturmittelwerte der einzelnen Bauweisen liegen wiederum relativ nahe beieinander. Ebenso sind die Temperaturschwankungen nach oben und unten bei den leichteren Bauweisen wieder höher als bei den schweren.

Klimatisiertes Büro

Bei Gebäuden, bei denen Temperaturregulation aufgrund der Anwesenheitszeiten oder aufgrund hoher

Exkurs: Normenberechnung und Gegenüberstellung der speicherwirksamen Masse unterschiedlicher Bauweisen

innerer Lasten vorwiegend mit Klimaanlage erfolgen muss, spielt die Quantität der speicherwirksamen Masse eine vernachlässigbare Rolle. Allenfalls kann sich in diesem Fall eine hohe speicherwirksame Masse auch ungünstig auswirken, weil nach Zeiten reduzierter oder inaktiver Kühlung (z. B. während Wochenenden oder in den Nachtstunden) eine höhere Leistung und/oder eine längere Anlaufphase notwendig wird. Auch im Sinne dynamischer, reaktionsschneller Steuerungen können regelungstechnisch geringere Trägheiten, also geringere speicherwirksame Massen von Vorteil sein, während höhere etwa bei einem Ausfall der Klimaanlage kurzzeitig für eine langsamere Erwärmung sorgen können.

Beim untersuchten Fall des klimatisierten Geschosses mit Büronutzung zeigt sich demgemäß, dass der Kühlenergiebedarf von der Bauweise praktisch unabhängig ist (siehe Abbildung 20). Der Energiebedarf der Klimaanlage kann jedoch durch günstige Beschattung und Luftwechsel maßgeblich beeinflusst werden. Anzumerken ist, dass sich die Fallunterscheidung „verringertes“ und „erhöhter Luftwechsel“ auf den Luftwechsel der Fensterlüftung bezieht. Es wurde im Simulationsmodell angenommen, dass unter den drei Voraussetzungen „Raumtemperaturen geringer als 24 °C“, „kühlere Außenluft“ und „Anwesenheit von Nutzern“ die Fensterlüftung zur Kühlung herangezogen wird. Folglich ergeben sich hier Abweichungen beim Kühlenergiebedarf. Insgesamt aber ist gut zu erkennen, dass die Bauweise bei vorherrschender Klimatisierung praktisch keinen Einfluss auf den Kühlenergiebedarf zeigt. Die tagsüber auftretenden Energieeinträge durch Solarstrahlung und Belegung werden unmittelbar von der Klimaanlage neutralisiert. Die speicherwirksame Masse des Gebäudes wird deshalb nicht „aufgeladen“ und muss folglich nachts auch nicht „entladen“ werden. Die von der Bauweise abhängige speicherwirksame Wärmekapazität ist deshalb nicht relevant. Geringe Abweichungen erklären sich durch die geänderten Reaktionszeiten, die sich im Zusammenspiel mit der Klimaanlage energetisch günstig oder ungünstig auswirken können.

Im Sinne einer energetischen Optimierung ist es wichtig, auf effektiven Sonnenschutz sowie eine effiziente und behagliche mechanische Kühlung zu setzen. Ist es in speziellen Fällen möglich, eine automatisierte, schlagregen- und einbruchssichere Nachtlüftung zu realisieren, so sollte die kühlungswirksame Außenluft zur Reduktion des Energieaufwands eingesetzt werden. In Ballungszentren dürfte dies schwerer gelingen als außerhalb, da dort eine derartige Anlage wegen der zu erwartenden höheren Anzahl an Tropennächten weniger wirksam sein wird.

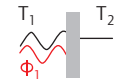
Da die Ergebnisse der hier durchgeführten Gebäudesimulationen von einer Vielzahl von Randbedingungen und komplexen Zusammenhängen abhängig sind, wurden zusätzlich Berechnungen der sogenannten speicherwirksamen Massen anhand der Normenverfahren durchgeführt. Ausgehend von den vier Bauweisen der Gebäudesimulationen wurden jeweils drei Untertypen definiert. Die speicherwirksame Masse eines Modellraums dieser zwölf Varianten wurden mit unterschiedlichen Methoden berechnet und einander gegenübergestellt.

Theorie

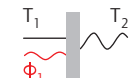
In der Bauphysik werden die dynamisch-thermischen Eigenschaften von Bauteilen insbesondere mittels der nebenstehenden Kenngrößen beschrieben (siehe EN 13786 [9]).

Diese werden aus den Wärmeströmen abgeleitet, die durch einen im 24-Stunden-Intervall periodisch schwankenden, sinusförmigen Temperaturverlauf hervorgerufen werden. Die Kenngrößen der Wärmeaufnahme werden üblicherweise mittels komplexwertiger Zahlen angegeben. Dies gestattet es, neben der Amplitude auch die Phasenverschiebung des Wärmestroms zu beschreiben. Die *dynamische Wärmeaufnahme* beschreibt jenen Wärmestrom, der durch eine Temperaturschwankung an der gegenüberliegenden Seite des Bauteils hervorgerufen wird. Die *flächenbezogene wirksame Wärmekapazität* ergibt sich durch Integration der Wärmeströme von beiden Seiten des Bauteils und beschreibt somit das Vermögen des Bauteils, bei einer schwankenden Umgebungstemperatur Wärme aufzunehmen und wieder abzugeben. Je höher dieses ist, desto mehr ist das Bauteil in der Lage, Schwankungen der Innenraumtemperatur zu reduzieren. Wesentlich ist jedoch, dass hierzu auch ausreichend kühlungswirksame Luft an das Bauteil gelangt. Das Bauteil wirkt als Wärmepuffer: Bei Temperaturen über der Durchschnittstemperatur wird dem Innenraum Wärme entzogen, bei Temperaturen darunter wird die Wärme wieder

Wärmeaufnahme

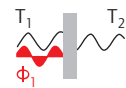
$$Y_{11} = \frac{\hat{\Phi}_1}{\hat{T}_2}$$


Dynamische Wärmeaufnahme

$$Y_{12} = \frac{\hat{\Phi}_1}{\hat{T}_2}$$


Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität

$$X_1 = \frac{1}{\omega} |Y_{11} - Y_{12}|$$



Flächenbezogene speicherwirksame Masse (ÖNORM B 8110-3)

$$m_{w,B,A} = \frac{X}{c_0}$$

$$c_0 = 1046,7 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$$

bezogen auf Normalbeton

- Massivbau – Stahlbeton
- Massivbau – Ziegel
- Holzbau – Brettsperrholz
- Holzrahmenbau

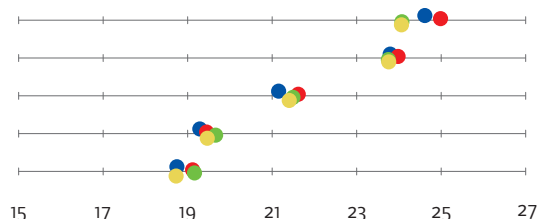


Abb. 20: Kühlenergiebedarf der einzelnen Bauweisen bei den Simulationsfällen mit Klimaanlage in kWh/m²

an den Innenraum abgegeben. Die Kenngrößen werden jeweils auf einen Quadratmeter des Bauteils bezogen. Für einen gesamten Raum kann die Gesamtwirkung aus der Summation der Werte für die entsprechenden Flächen gewonnen werden, wobei die Wärmeströme der einzelnen Bauteile unterschiedliche Phasenverschiebungen aufweisen, die Maxima und Minima also zeitversetzt auftreten (siehe Abbildung 21). Bei vereinfachten Verfahren, wie sie in ÖNORM B 8110-3 angewendet werden, erfolgt diese Summation jedoch ohne Berücksichtigung der zeitlichen Phasenverschiebung.

Als dominantester Wärmepuffer wirkt bei dieser Bauweise die Decke, gefolgt von den Innenwänden.

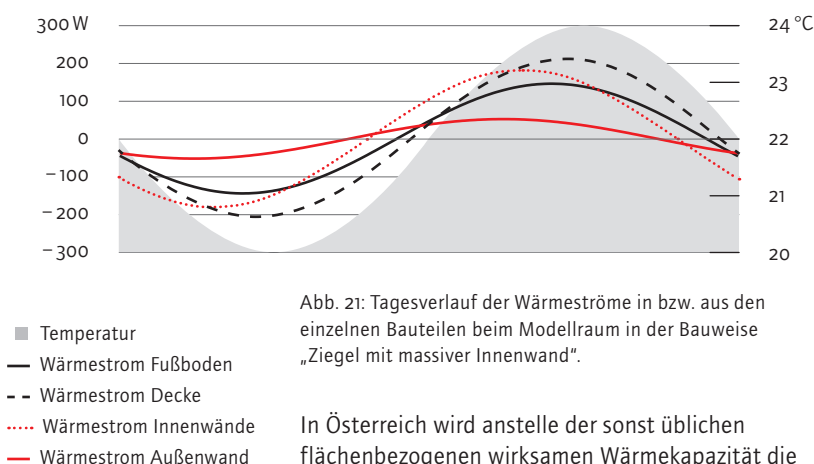


Abb. 21: Tagesverlauf der Wärmeströme in bzw. aus den einzelnen Bauteilen beim Modellraum in der Bauweise „Ziegel mit massiver Innenwand“.

In Österreich wird anstelle der sonst üblichen flächenbezogenen wirksamen Wärmekapazität die sogenannte *flächenbezogene speicherwirksame Masse* angegeben. Um diese zu erhalten, wird die wirksame Wärmekapazität durch die spezifische Wärmekapazität von Normalbeton dividiert.

Die Werte für die speicherwirksame Masse unterscheiden sich damit nur durch einen konstanten Faktor von der wirksamen Wärmekapazität, weisen dann aber die vielleicht etwas greifbarere Einheit kg/m^2 anstelle von $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$ auf. Wichtig ist anzumerken, dass die so ermittelten wirksamen Wärmekapazitäten bzw. speicherwirksamen Massen streng genommen nur für sinusförmige Temperaturverläufe mit einer Periodendauer von 24 Stunden gelten. Da die Kenngrößen aber zur Beschreibung der Gebäudereaktion auf tageszeitlich bedingte Temperaturschwankungen eingeführt wurden und diese in guter Näherung einen sinusförmigen Verlauf aufweisen, sind sie zur Bearbeitung derartiger Problemstellungen sehr gut geeignet. Für noch genauere Aussagen auf Basis realer Temperaturverläufe oder zur Untersuchung der Gebäudereaktion auf Wetteränderungen etc. ist die Anwendung von instationären Simulationen mit genauer Bauteilschichtung erforderlich. Nach dem in der ÖNORM B 8110-3 festgelegten „vereinfachten Verfahren“ muss für den zu erwartenden heißesten Raum die Summe der speicherwirksamen Masse aller Bauteile gebildet und in Bezug zu den solaren Eintragsflächen gestellt werden. Die so erhaltene immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse muss abhängig vom zu erwartenden Luftvolumenstrom einen Wert von 2.000, 4.000 oder 8.000 kg/m^2 übersteigen. Das Kriterium kann somit maßgebend für die maximale Fenstergröße, die Art der Beschattung oder sogar für die Wahl der Bauweise sein.

	aus Simulation (C)	Differenz ↔	Std.-Berechnung EN 13786 mit Rs (B)	Differenz ↔	Std.-Berechnung EN 13786 ohne Rs (A)
Holzrahmen mit einfacher Gipskarton-Beplankung (12,5 mm)	850	-68	782	259	1041
Ziegel; Innenwand mit Vorsatzschale; abgehängte Decke	940	-65	875	289	1164
Holzrahmen mit zweifacher Gipskarton-Beplankung (25 mm)	974	-57	917	273	1190
Brettsperrholz mit einfacher Gipskarton-Beplankung (12,5 mm)	992	-64	928	292	1220
Brettsperrholz mit zweifacher Gipskarton-Beplankung (25 mm)	998	-57	941	292	1233
Stahlbeton; Innenwand mit Vorsatzschale; abgehängte Decke	1008	-44	965	533	1498
Holzrahmen mit Gipsfaser-Beplankung (25 mm)	1175	-51	1124	311	1435
Brettsperrholz mit Gipsfaser-Beplankung (25 mm)	1180	-50	1130	330	1460
Stahlbeton; Innenwand mit Vorsatzschale	1343	-34	1309	1405	2713
Ziegel; Innenwand massiv mit Standard-Innenwandziegel	1526	-56	1470	1282	2752
Ziegel; Innenwand massiv mit Schallschutzziegel	1741	-44	1697	1713	3409
Stahlbeton; Innenwand und Decke massiv	1945	-16	1929	2351	4279

Das Modell

In Anlehnung an die Gebäudesimulation wurde für einen fiktiven, rechteckigen Raum mit der Größe von 5x4x2,6 Metern und einem unbeschatteten grundflächenbezogenen Glasanteil von 25 Prozent die immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse ermittelt. Durch Modifikation der inneren Oberflächen wurden aus den vier Bauweisen zwölf unterschiedliche Varianten abgeleitet.

Die speicherwirksame Masse der Bauteile wird auf drei unterschiedliche Arten bestimmt:

- (A) mittels analytischer Normenberechnung nach EN 13786 unter Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände („ohne Rs“)
- (B) mittels analytischer Normenberechnung nach EN 13786 unter Einbeziehung der Wärmeübergangswiderstände („mit Rs“)
- (C) mittels instationärer thermischer Simulation mit Wärmeübergangswiderständen

Wärmeübergangswiderstände

Die Methode (A) wird von der ÖNORM B 8110-3 für das vereinfachte Verfahren vorgeschrieben. In der europäischen Berechnungsnorm EN 13786 ist demgegenüber aber die Verwendung von Wärmeübergangswiderständen vorgesehen. Dieser Ansatz wird bei Methode (B) angewendet. Wärmeübergangswiderstände werden immer dann eingesetzt, wenn der Übergang von Wärme in die luftberührende Oberfläche eines Bauteils beschrieben werden soll. Die zugrunde liegenden Vorgänge sind komplex, weil alle drei Wärmeübertragungsmechanismen – Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion – beteiligt sind. Wärmeübergangswiderstände sind Konstanten, mit denen sich diese Vorgänge meist

dennoch ausreichend genau beschreiben lassen. Sie kommen etwa auch bei der Berechnung des U-Werts von Bauteilen oder Wärmebrückenberechnungen zum Einsatz. Die Unterschiede, die sich durch eine Vernachlässigung dieser Wärmeübergangswiderstände ergeben, sollen durch den Vergleich der Berechnungen (A) und (B) untersucht werden.

Zweidimensionale Effekte

Bei der Berechnung der Wärmekapazitäten besteht eine weitere Unschärfe, wenn inhomogene Aufbauten berechnet werden sollen. Bei der einfachen Berechnung wird von einem Bauteil mit homogenem Schichtaufbau ausgegangen. Durchdringende Bauteile wie Lattungen oder Holzriegel können bei dieser Berechnung nicht korrekt abgebildet werden. Um die Auswirkungen dieser üblicherweise durchgeführten Vereinfachung zu untersuchen, wird die speicherwirksame Masse zusätzlich mittels Wärmestrombestimmung aus einer thermischen Simulation ermittelt (C). Hierzu wurde die für den Baubereich konzipierte thermische Simulationssoftware HTflux [10] eingesetzt. Der Vergleich mit den Simulationsverfahren soll darüber Aufschluss geben, wie groß die Differenzen zum Normenverfahren infolge der Vernachlässigung der inhomogenen Bauteilaufbauten sind. Während bei der Berechnung der Wärmekapazitäten aus den Bauteilschichten der Einfluss von Holzriegeln, Lattungen und Anschlussstellen („zweidimensionale Effekte“) nicht berücksichtigt werden kann, ist dies bei einer zweidimensionalen, instationären Simulation möglich. Um eine korrekte Abbildung des thermischen Verhaltens in der 2D-Simulation zu erzielen, wurden auch vertikal laufende Bauteile wie Holzständer in die Horizontale gedreht.

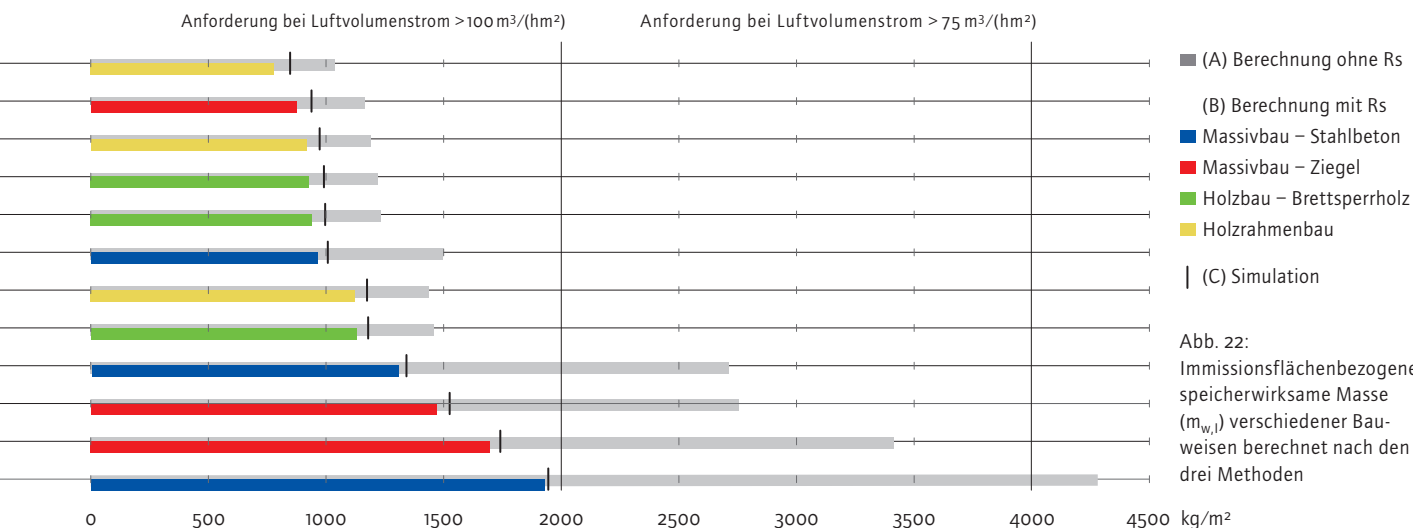


Abb. 22: Immissionsflächenbezogene speicherwirksame Masse ($m_{w,i}$) verschiedener Bauweisen berechnet nach den drei Methoden

Erkenntnisse

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung können die folgenden Aussagen abgeleitet werden:

- In der Gegenüberstellung (siehe Abbildung 22) wird gut ersichtlich, dass die für den Tagesgang der Temperatur wirksame Wärmekapazität einer Bauweise nur wenig von der tragenden Konstruktion bestimmt wird, sondern von den oberflächennahen, raumseitigen Bauteilschichten. So weist beispielsweise die Holzrahmenkonstruktion mit Gipsfaser-Beplankung eine höhere speicherwirksame Masse auf als die Stahlbetonbauweise mit abgehängter Decke und Vorsatzschalen an den Innenwänden. Dies erklärt sich dadurch, dass die Wärme bei 24-Stunden-Temperaturschwankungen meist nur wenige Zentimeter in das Bauteil vordringen kann. Tiefer liegende Schichten können praktisch nicht an der täglichen Pufferung beteiligt werden, deshalb spielen hierbei tatsächlicher Aufbau und Material der weiter innen liegenden Schichten keine Rolle. Dieser Feststellung folgend soll auch darauf hingewiesen werden, dass im realen Fall Einrichtungsgegenstände, insbesondere ausgedehnte Teppichböden, Vorhänge, Wandschränke etc. zu einer deutlichen Reduktion der dort verfügbaren tatsächlichen speicherwirksamen Masse führen können.
- Die derzeit in der ÖNORM B 8110-3 verankerte Bestimmung von speicherwirksamen Massen unter Vernachlässigung der Wärmeübergangswiderstände führt bei einigen Bauweisen zu erheblichen Verzerrungen und sollte deshalb neu geregelt werden. Die Berechnung ohne Wärmeübergangswiderstände ist physikalisch wenig plausibel und in der Berechnungsnorm EN 13786, auf welche die ÖNORM verweist, nicht so vorgesehen.
- Die Differenzen der Ergebnisse zwischen der Simulation (C) und der analytischen Berechnung nach Norm mit Wärmeübergangswiderständen (B) sind relativ gering und liegen nur bei ca. 5 Prozent. Eine genauere Untersuchung hat gezeigt, dass dieser Unterschied vorwiegend auf den Einfluss der genauen Abbildung des Fensterlichtbereichs zurückzuführen ist. Denn um Abweichungen möglichst umfassend zu untersuchen, wurden hier – anders als beim Standardverfahren – auch die speicherwirksamen Massen der Verglasung, des Fensterrahmens und der Fensterbank berücksichtigt. Die untersuchten „zweidimensionalen Effekte“ – also Abweichungen durch die Berücksichtigung von Holzriegeln, Holzlattungen und Knotenstellen – sind gering und liegen maximal bei wenigen Prozentpunkten. Es kann deshalb festgestellt werden, dass die einfache Berechnungsmethode auf Basis der homogenen Bauteile in den meisten Fällen ausreichend genau und eine instationäre Simulation nur in Ausnahmefällen nötig ist.

Trägheitseffekt der speicherwirksamen Masse

Auf Basis der durchgeführten umfangreichen Gebäudesimulationen kann gesagt werden, dass sich der Effekt der speicherwirksamen Masse deutlich geringer gezeigt hat als ursprünglich erwartet. Da die speicherwirksame Masse symmetrisch wirkt, also sowohl bei der Erwärmung als auch bei der Abkühlung, hat sie bei den durchgeführten Simulationen auf die mittleren Temperaturen praktisch keinen Einfluss. Der hauptsächlich wahrnehmbare Effekt, der auf die speicherwirksame Masse zurückzuführen ist, ist die geänderte Trägheit und damit die Reaktionszeit des Gebäudes auf Temperaturschwankungen. Dies gilt sowohl für kurzfristige, tageszeitlich bedingte Temperaturschwankungen als auch für mittelfristige, wetterbedingte Temperaturänderungen. Folglich kommt es etwa bei schweren Bauweisen in Verbindung mit konsequenter natürlicher Lüftung zu weniger Überschreitungen der 27 °C-Temperaturmarke infolge der Tageserwärmung. Gebäude mit leichter Bauweise hingegen sind in der Lage, rascher auf nächtliche oder wetterbedingte Abkühlungen zu reagieren. Dies kann im Überhitzungsfall und in Schlafräumen vorteilhaft sein. Bei vorherrschender Klimatisierung des Gebäudes ist die speicherwirksame Masse praktisch irrelevant. In den Simulationen konnten keine systematischen Änderungen des Kühlenergiebedarfs abhängig von der Bauweise nachgewiesen werden. Die Pufferfunktion der speicherwirksamen Masse wird nicht in Anspruch genommen. Allenfalls kann es abhängig von der Bauweise zu günstigen oder ungünstigen dynamischen Interaktionen mit der Steuerung der Klimaanlage kommen. Diese Wechselwirkung kann jedoch nicht global vorhergesagt werden, sondern ist stark vom Objekt und der eingesetzten Haustechnik abhängig. Tendenziell sind niedrige Trägheiten, also geringe speicherwirksame Massen, regelungstechnisch eher von Vorteil.

Bedeutung der speicherwirksamen Masse bei Kühlung mit natürlicher Lüftung

Wie bereits erwähnt, ist unsere Klimazone grundsätzlich gut für diese Art der Gebäudekühlung geeignet. Die Methode der natürlichen Lüftung ist jedenfalls zu bevorzugen, weil diese ohne zusätzlichen Energieaufwand angewendet werden kann und damit klimaneutral ist. Das Konzept beruht darauf, dass der gesamte Wärmeeintrag, der tagsüber in das Gebäude gebracht wird, nachts mithilfe der kühleren Außentemperaturen an die Umgebung abgeführt wird. Vereinfacht kann das System auf drei wesentliche Komponenten reduziert werden: den solaren Eintrag – als meist maßgebliche Wärmequelle –, die speicherwirksame Masse zur Pufferung

der Wärme ohne markanten Temperaturanstieg und den nächtlichen Luftwechsel zur „Entleerung“ des Puffers. Näheres zu den Voraussetzungen und Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Wärmeeintrag und -abfuhr, also Luftwechsel und Beschattung, folgt in den nächsten beiden Abschnitten.

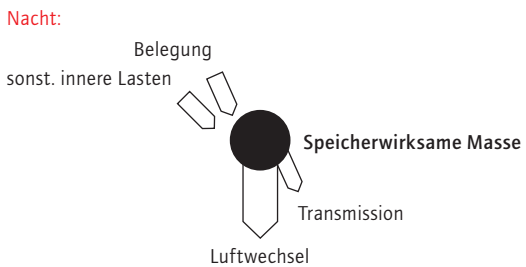
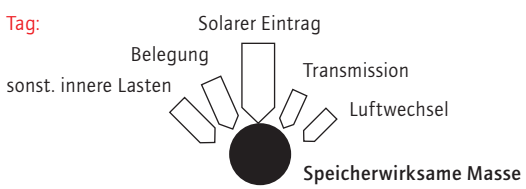


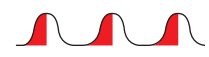
Abb. 23: Schematische Darstellung der Wärmebilanz bei Kühlung mit natürlicher Lüftung

Bezogen auf die Rolle der speicherwirksamen Masse als Wärmepuffer haben die Gebäudesimulationen zu den folgenden Erkenntnissen geführt: Die speicherwirksame Masse muss ausreichend dimensioniert sein, um die zu erwartenden maximalen Energieeinträge eines Tagesverlaufs ohne einen markanten Temperaturanstieg aufnehmen zu können. Da diese maximal möglichen Wärmeeinträge jedoch nicht die maximal möglichen Kühlmöglichkeiten des nächtlichen Luftwechsels überschreiten dürfen, sind die Anforderungen hinsichtlich der notwendigen speicherwirksamen Masse des Gebäudes meist begrenzt. Das begrenzende Kriterium, das über die Wirksamkeit der Kühlmethode entscheidet, ist in der Regel das Wärmeabfuhrpotenzial durch den Luftwechsel bzw. dessen relatives Verhältnis zum Wärmeeintrag während des Tages. Aus diesem Grund konnten bei den Simulationen meist nur geringe Unterschiede hinsichtlich der Bauweisen ausgemacht werden. Am deutlichsten werden diese im Übergangsbereich, wenn die tägliche Wärmebilanz zu kippen beginnt, weil in diesem Fall mittels zusätzlicher speicherwirksamer Masse die Überwärmung noch etwas unterdrückt werden kann. Bei effizienter Kühlung durch natürliche Lüftung, also ausgeglichener Wärmebilanz, spielt die speicherwirksame Masse eine untergeordnete Rolle. Das Gleiche gilt im Überwärmungsfall, weil bei die-

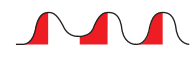
sem die Wärmeeinträge der einzelnen Tage kumulieren. Gut sichtbar wird dieser Zusammenhang in Abbildung 25. Hierbei werden die Überschreitungsstunden des Jahres für die leichteste und die schwerste untersuchte Bauweise dargestellt. Bei gleicher Beschattungssituation wurden mehrere Simulationen mit abnehmendem Luftwechsel durchgeführt. Bei niedrigen Luftwechselzahlen, in diesem Beispiel unter 4, beginnt die Bilanz zu kippen. Die Wärmeeinträge des Tages können nicht mehr ausreichend abgeführt werden und die Erwärmung nimmt rapide zu. Bei höheren Luftwechselzahlen spielt der Einfluss der Bauweise eine untergeordnete Rolle.

Bedeutung des Luftwechsels

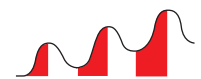
Bei den Untersuchungen hat sich gezeigt, dass die Wirksamkeit der natürlichen Lüftung in der Regel wohl weniger durch die Quantität der verfügbaren speicherwirksamen Masse als vielmehr durch die Möglichkeit der Aktivierung derselben bestimmt wird. Der Wärmestrom, der in das Bauteil (oder aus dem Bauteil) fließt, ist proportional von der Temperaturdifferenz zwischen Bauteiloberfläche und Umgebung abhängig. Das heißt, die speicherwirksame Masse kann nur effektiv genutzt werden, wenn ein ausreichend kühler Luftstrom in ausreichendem Maße für eine Kühlung der Bauteiloberflächen sorgt. Die hierzu bestimmenden Faktoren sind komplex und umfassen neben dem Nutzerverhalten auch viele bauliche Faktoren wie Raumgeometrie und Raumordnung, Fenster- und Türöffnungsflächen, Orientierung etc. Hinzu kommen noch die meteorologischen Randbedingungen, die das lokale Mikroklima bezüglich der Lufttemperatur der unmittelbaren Umgebung und die Windanströmung des Gebäudes beschreiben. Obwohl diese Einflussfaktoren zahlreich und oft komplex verknüpft sind, und eine genaue Simulation der Vorgänge derzeit erhöhten Aufwand bedeutet, sind sie bestimmend für die Kühlung mittels natürlicher Lüftung und sollten deshalb bei der Planung zukünftig stärker berücksichtigt werden.



Effiziente Kühlung durch natürlichen Luftwechsel
Über den Tag zugeflossene Wärmeeinträge können nachts bei kühleren Temperaturen gut abgeführt werden.

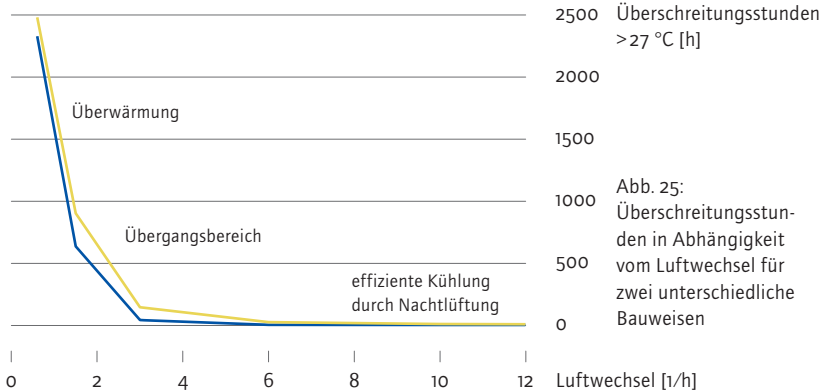


Übergangsbereich
Wärmeeinträge des Tages können nachts (oder in Folgenächten) gerade noch ausreichend abgeführt werden.



Überwärmung
Die Wärmeeinträge des Tages können nachts nicht mehr vollständig abgeführt werden. Die Wärme kumuliert im Gebäude, die Temperaturen steigen kontinuierlich.

Abb. 24: Wirksamkeit der Kühlung durch natürliche Lüftung



— Massivbau – Stahlbeton
— Holzrahmenbau

Abb. 25: Überschreitungsstunden in Abhängigkeit vom Luftwechsel für zwei unterschiedliche Bauweisen

Voraussetzungen

Für eine effektive Kühlung durch natürliche Lüftung müssen zwei Voraussetzungen erfüllt werden: Erstens müssen das Gebäude und das Nutzerverhalten es erlauben, dass in der Nacht ein ausreichend großer, anhaltender Luftstrom genügend Oberflächen des Gebäudes erreicht. Zweitens muss sichergestellt sein, dass die in das Gebäude eindringende Luft ausreichend kühl ist. Diese Bedingung kann insbesondere in städtischen Lagen oft nicht ausreichend eingehalten werden. Zum einen herrschen in der Stadt infolge des Wärmeinseleffekts generell häufig höhere Temperaturen, zum anderen kann die Bebauung der unmittelbaren Umgebung des Gebäudes zu einer weiteren starken Erhöhung der Lufttemperaturen führen. So können etwa Vorplätze, Straßen, Gebäudeteile oder Oberflächen von Nachbargebäuden, die sich tagsüber stark erhitzt haben, zu markant höheren Lufttemperaturen in der unmittelbaren Umgebung führen.

Das lokale Mikroklima spielt auch bei der ersten Bedingung eine wichtige Rolle, weil eine Windexposition des Gebäudes zu deutlich höheren Luftwechselfzahlen führen kann, insbesondere dann, wenn das Gebäude bereits im Planungsprozess hinsichtlich dieser Hauptwindrichtung optimiert wurde. Neben den Druckunterschieden durch die Windströmung spielen auch die Druckdifferenzen, die durch den thermischen Auftrieb hervorgerufen werden, bei der natürlichen Lüftung eine gewichtige Rolle. Diese weisen ja die vorteilhafte Eigenschaft auf, dass sie proportional zum Temperaturunterschied innen/außen anwachsen und damit immer dann groß sind, wenn lufttemperaturbedingt ein starker Kühleffekt möglich ist. Durch spezielle planerische Maßnahmen kann dafür gesorgt werden, dass unter Ausnutzung dieses Kamineffekts der nächtliche, kühlungswirksame Luftwechsel erheblich gesteigert wird. Um negative Auswirkungen dieses Luftzugs in Aufenthalts- oder Büroräumen zu vermeiden, könnten zukünftig idealerweise auch speziell konzipierte Stiegenhäuser oder Schachtlösungen zum Einsatz kommen.

Optimierungen

Um planerisch optimale Ergebnisse zu erzielen, sollten Grundrisse künftig einer detaillierteren Betrachtung hinsichtlich dieser Kriterien unterzogen werden. Wünschenswert wäre etwa ein „Sensitivitätskatalog natürliche Lüftung“. In diesem Katalog sollten jene Maßnahmen beschrieben werden, die für die Herstellung eines optimalen natürlichen, kühlungswirksamen Luftwechsels sinnvoll sind, zum Beispiel:

- _ richtige Anordnung der Grundrisse mit Querlüftungsmöglichkeit
- _ Ausrichtung bezüglich der sommerlichen Hauptwindrichtung
- _ geeignete Nutzung des thermischen Auftriebs
- _ Einplanung von Zu- und Abluftöffnungen, sodass diese einen ausreichenden Einbruchs-, Schlagregen- und Lärmschutz aufweisen
- _ Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen, sodass eine gute Durchlüftung der vorwiegend wärmebelasteten Räume sichergestellt ist
- _ nutzungsabhängig gegebenenfalls eine geeignete Steuerung der Lüftungsöffnungen

Um einen entsprechenden Anreiz hierfür zu schaffen, könnte mithilfe einer entsprechenden Kennzeichnung bereits im Planungsprozess darauf hingewiesen werden, dass das Bauwerk hinsichtlich dieser Anforderungen optimiert wurde. Bei optimaler Umsetzung sollte es in jenen Lagen, in denen die Außenlufttemperatur ausreichend absinkt, unabhängig von der Bauweise jedenfalls möglich sein, die sommerliche Überhitzung zu verhindern.

Bezüglich der zweiten Voraussetzung, also der Verfügbarkeit von kühlen Luftmassen, sollte an Maßnahmen gearbeitet werden, die geeignet sind, die Außenlufttemperatur insbesondere in städtisch dichteren Bereichen abzusenken. Auch hierfür sollte ein Maßnahmenkatalog erarbeitet werden. Dieser sollte unter anderem die folgenden Punkte berücksichtigen:

- _ vorhandene und geplante Bebauung
- _ Optimierung der Windführung bzw. Windlenkung
- _ Einplanen von Kühlinseln (Ausnutzung der Verdunstungskühlung von Vegetation und Wasserflächen)
- _ Optimierung der Albedo von Gebäudeoberflächen, Dachbegrünungen
- _ Vermeidung der Aufheizung und nächtlichen Abgabe von gespeicherter Wärme durch geeignete Platzgestaltung

Bedeutung der Beschattung

Der solare Eintrag leistet bei üblicher Gebäudeauslegung und -nutzung im Sommer den maßgeblichsten Beitrag zur Erwärmung. Dieser Tatsache wird vielfach zu wenig Beachtung geschenkt. Auf die Planung und Ausführung der Verschattung sollte zukünftig vermehrt Augenmerk gelegt werden. Die Beschattungseinrichtungen sollten vom Planungsbeginn an als integraler Bestandteil des Gebäudekonzepts verstanden werden, der eine komplexe Dreifachanforderung zu bewältigen hat:

- _ Energielenkung (jahreszeitenbezogen)
- _ Tageslichtlenkung
- _ Blendschutz

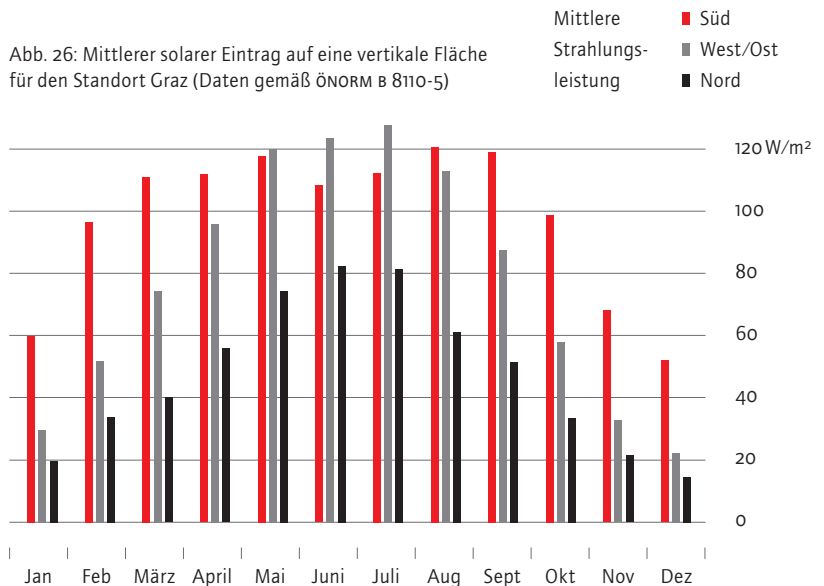
Bei der hier untersuchten Themenstellung spielt naturgemäß der Energieeintrag die bedeutende Rolle, jedoch sind auch die beiden anderen Aspekte relevant, weil das Zusammenspiel der drei Anforderungen darüber entscheidet, wie eine Beschattungsanlage verwendet wird.

Solarer Eintrag

Hinsichtlich der energetischen Charakterisierung der Beschattung wird deutlich, dass die derzeit üblichen Berechnungsmethodiken und die verfügbaren Kenngrößen bezüglich der Beschreibung des tatsächlich wirksamen solaren Eintrags mangelhaft sind. Im Vergleich zu den umfangreichen und teils sehr detaillierten Berechnungen der Wärmetransmission, die derzeit bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs im Energieausweis vorgeschrieben werden, hinken die Berechnungsansätze bezüglich des solaren Energieeintrags deutlich hinterher. Dies ist vor dem Hintergrund des Klimawandels und hochwertig gedämmter Gebäudehüllen ein Manko. Die solare Einstrahlung stellt heutzutage im Sommer meist die wesentliche Wärmequelle dar und sollte im Winter als dominante Heizquelle in das Gebäudekonzept miteinbezogen werden. Im Sinne der Gesamtenergieeffizienzbetrachtung sollte die Beschattungsthematik als eine der zentralen Energielebens- bzw. Energieeinsparungsmaßnahmen verstanden werden. Die entsprechenden Berechnungsmöglichkeiten und Kenngrößen sollten daher überarbeitet und verfeinert werden. Es gilt, für alle Standorte eine wirksame Verschattung transparenter Bauteile einzuplanen und umzusetzen sowie dafür Sorge zu tragen, dass diese auch konsequent eingesetzt werden. Nördlich ausgerichtete Fenster müssen ebenfalls effektiv beschattet werden, weil die über den Tag summierte Einstrahlung im Sommer auch hier erheblich ist (siehe Abbildung 26). Der hohe Diffusanteil der Sonneneinstrahlung, welcher ebenso auf die Nordseite eintrifft, wird häufig unterschätzt. Durch die heute häufig gegebene Abwesenheit von NutzerInnen ist der Einsatz von automatisch gesteuerten Anlagen unumgänglich. Wünschenswert wäre, eine jahreszeitenabhängige oder gar wetterprognosenabhängige Steuerung einzusetzen. Unter Berücksichtigung der Fensterorientierung sollten nordseitig etwa niedrigere Schwellwerte zur Aktivierung der Beschattung führen, um einen über den Tag anhaltenden Eintrag zu verhindern.

Optimierungen

Bei allen Maßnahmen der Beschattung ist – wo erforderlich – im Rahmen der Konzeption auf die ausreichende Versorgung der Räume mit Tageslicht bei hohem Tageslichtquotienten Rücksicht zu nehmen. Bei der Anwesenheit von NutzerInnen muss sichergestellt werden, dass die aktivierte Beschattung nicht als einschränkend oder gar störend wahrgenommen wird. Es ist zukünftig vermehrt darauf hinzuarbeiten, einen Pool von Lösungen zu erarbeiten, der auch von der Architekten- und Planerseite entsprechend als Gestaltungselement angenommen wird. Innovationen wie Produkte mit inhomogenen Lamellenwinkeln, teiltransparente oder adaptive Beschattungslösungen sollten mittels Demonstrationsgebäuden verstärkt in den Architekturfokus gerückt werden. Wettbewerbe für Innovationen auf diesem Gebiet wären ebenso zweckmäßig. Vorteilhaft eingesetzt werden könnten aber auch planerisch hochoptimierte Lowtech-Lösungen, wie die Optimierung des Eigenverschattungsverhaltens von Gebäudegeometrien bzw. fest verbauten Beschattungselementen oder Innovationen auf Basis einer Renaissance der aus südlichen Ländern bekannten multifunktionalen Holz-Ausstell-Lamellen-Läden: Diese bieten eine wirksame Außenbeschattung bei gleichzeitig justierbarer Belichtung im Raum und dennoch teilweise Sichtkontakt nach außen. Wichtig ist jedenfalls, das Thema der Beschattung von Gebäuden zukünftig deutlich mehr in den Fokus zu rücken, weil hier noch ungenutztes Potenzial zur Sicherung von Gesundheit, Komfort und Produktivität sowie zur Steigerung der Energieeffizienz des Gebäudes vorhanden ist.



Der prognostizierte Klimawandel erfordert eine Auseinandersetzung mit dessen Konsequenzen auch für das Bauen. Gebäude, die derzeit errichtet und saniert werden, müssen bereits auf diese klimatischen Veränderungen hin ausgerichtet sein, will man verhindern, dass sommerliche Überwärmung entweder zu Problemen mit Komfort, Gesundheit und Produktivität führt, oder durch energieintensive, umweltschädliche Kleinklimaanlagen eine zusätzliche CO₂-Produktion provoziert wird.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lassen sich wesentliche Handlungspotenziale für die Planung und Ausführung, aber auch die Nutzung unserer Gebäude in der warmen Jahreszeit im Klimawandel ableiten.

Das aus der Klimaprognose abgeleitete Wetterspektrum lässt erwarten, dass Hitzeperioden zukünftig länger andauern, die Anzahl der Tropennächte steigt und es durch die höhere Lufttemperatur auch nachts, insbesondere in den Ballungsräumen, zu einer Minderung der Wirksamkeit nächtlicher, kühlungswirksamer Lüftung kommen wird. Parallel dazu ist aber gerade heute ein starker Zuzug in diesen Ballungsräumen zu beobachten.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass wir unsere Gebäude wirksam darauf ausrichten müssen.

Die speicherwirksame Masse ist dabei nicht, wie häufig angenommen, der Schlüsselfaktor. Vielmehr ist es entscheidend, einen kühlungswirksamen Luftwechsel und insbesondere eine wirksame Beschattung zu schaffen, auch wenn eine Klimatisierung, z. B. für einen Geschäfts- oder Bürobetrieb notwendig ist.

Wo kühlungswirksame Lüftung möglich ist, sollte diese auch genutzt werden. Hierzu müssen entsprechende bauliche Voraussetzungen geschaffen werden, also großzügig dimensionierte Zu- und Abluftöffnungen unter Nutzung der vorhandenen Winddruckdifferenzen und des thermischen Auftriebs. Dabei ist auch auf eine einbruchhemmende und schlagregengeschützte Ausführung zu achten. Mittels aktiver Steuerung durch eine einfache, klimagesteuerte Automatisierung kann die Effizienz derartiger Vorrichtungen deutlich gesteigert werden. Hier besteht noch großes Entwicklungspotenzial insbesondere im Fenster- und Fassadenbau, bei der Haustechnik, aber auch in der Optimierung der Grundrisse.

So gilt es insbesondere bei Schlafräumen, die thermischen Aspekte der Anordnung besonders zu berücksichtigen. Eine hohe speicherwirksame Masse kann hier auch kontraproduktiv wirken, wenn dadurch die nächtliche Abkühlung verzögert wird. Auch die Anordnung der Schlafräume in oberen Geschossen kann je nach Gebäude von Vor- oder Nachteil sein. Der thermische Auftrieb führt in der Regel in oberen Stockwerken zu deutlich höheren Temperaturen, jedoch kann dieser Effekt im Einzelfall kompensiert werden, wenn etwa eine lokal höhere Windanströmung zu einer rascheren Abkühlung führt.

Eine wirksame Beschattung stellt in jedem Fall die wichtigste Maßnahme dar, besonders dann, wenn kühlungswirksame Lüftung nicht oder kaum möglich ist. Dies gilt vor allem für Ballungsräume, welche ohnehin eine höhere Temperatur als das ländliche Umland aufweisen, und zukünftig einen noch stärkeren Temperaturanstieg zu erwarten haben. Die Beschattung soll einerseits einen zu hohen Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung so weit wie möglich verhindern, andererseits aber Belichtung und visuellen Kontakt mit der Umwelt gewährleisten. Nicht Verdunkelung, sondern Raumklimamanagement ist gefragt. Auch hier ist es sinnvoll, möglichst einfache, öffnungs- und raumnutzungsabhängige Automatisierungen voranzubringen, damit die Beschattung raumnutzungsgerecht wirksam werden kann. Hier ist noch umfassendes Entwicklungs- und Optimierungspotenzial gegeben.

Klimaschutz bedeutet für das Bauen und Sanieren der Zukunft auch effektives Klimamanagement für den sommerlichen Wärmeschutz. Wirksame Beschattung und Nutzung kühlungswirksamer Lüftungspotenziale sind die Schlüssel hierfür.

Literaturverzeichnis

- [1] **Österreichisches Institut für Bautechnik**, oIB Richtlinie 2 – Brandschutz, 2011.
- [2] **Österreichisches Institut für Bautechnik**, oIB-Richtlinie 5 – Schallschutz, 2011.
- [3] **Österreichisches Institut für Bautechnik**, oIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz, 2011.
- [4] **Statistik Austria**, Statistiken – Bevölkerung – Demographische Prognosen. Online verfügbar, 2015.
- [5] **White Box Technologies**, Wetterdatendatei: AUT _ WIEN-SCHWECHAT-FLUG _ 110360 _ 2003 (basierend auf ZAMG-Daten).
- [6] **DesignBuilder Software Ltd.**, DesignBuilder 4.2 mit EnergyPlus 8.1 Rechenkern, 2014.
- [7] **Ron Judkoff, Joel Neymark**, Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method, Rep. No. NREL/TP-472-6231. Palo Alto: US National Renewable Energy Laboratory, 1995.
- [8] **Austrian Standards Institute**, ÖNORM B 8110-3:2012-03-15 – Wärmeschutz im Hochbau/Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung.
- [9] **Austrian Standards Institute**, ÖNORM EN ISO 13786:2008-04-01 – Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamischthermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren.
- [10] **Ingenieurbüro DI Daniel Rüdiger**, HTflux Simulationssoftware, validierte Version 1.0, 2016.



Kontakte

Fachverband der Holzindustrie Österreichs
Berufsgruppe Bau
Schwarzenbergplatz 4, A-1037 Wien
T +43 (0)1/712 26 01
F +43 (0)1/713 03 09
office@holzindustrie.at
www.holzindustrie.at

Labor für Bauphysik (LKI)
Technische Universität Graz
Inffeldgasse 24, A-8010 Graz
T +43 (0)316/873 1301
office@bauphysik.tugraz.at
www.bauphysik.tugraz.at

Austrian Energy Agency (AEA)
Österreichische Energieagentur
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wien
T +43 (0)1/586 15 24
F +43 (0)1/586 15 24-340
office@energyagency.at
www.energyagency.at

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB)
Schenkenstraße 4, A-1010 Wien
T +43 (0)1/533 65 50
F +43 (0)1/533 64 23
mail@oib.or.at
www.oib.or.at

Austrian Standards plus GmbH
(Hundertprozentige Tochter des
Österreichischen Normungsinstitutes)
Heinestraße 38, A-1020 Wien
T +43 (0) 1/213 00-444
F +43 (0) 1/213 00-355
sales@as-plus.at
www.austrian-standards.at

proHolz Organisationen

proHolz Austria
Am Heumarkt 12, A-1030 Wien
T +43 (0)1/712 04 74
info@proholz.at
www.proholz.at

proHolz Burgenland
Robert-Graf-Platz 1, A-7000 Eisenstadt
T +43 (0)590 907-3130
proholz@wkbgl.d.at
www.proholz-bgl.d.at

proHolz Kärnten
Europaplatz 1, A-9020 Klagenfurt
T +43 (0)590 904-215
office@proholz-kaernten.at
www.proholz-kaernten.at

proHolz Niederösterreich
Landsbergerstraße 1, A-3100 St. Pölten
T +43 (0)2742/851-19250
proholz@wknoe.at
www.proholz-noe.at

proHolz Oberösterreich
Hessenplatz 3, A-4020 Linz
T +43 (0)590 909-4111
info@proholz-ooe.at
www.proholz-ooe.at

proHolz Salzburg
Markt 136, A-5431 Kuchl
T +43 (0)6244/300 20
office@proholz-sbg.at
www.proholz-salzburg.at

proHolz Steiermark
Reininghausstraße 13a, A-8020 Graz
T +43 (0)316/587 860-0
office@proholz-stmk.at
www.proholz-stmk.at

proHolz Tirol
Meinhardstraße 14, A-6020 Innsbruck
T +43 (0)512/564 727
info@proholz-tirol.at
www.proholz-tirol.at

Links

www.dataholz.com
Interaktiver Bauteilkatalog behördlich zugelassener sowie
bauphysikalisch und ökologisch geprüfter Holzbauteile mit
rund 155 Grundbauteilen und 1.500 Konstruktionsvarianten.
dataholz.com wird laufend aktualisiert und steht kostenlos
zur Verfügung.

www.infoholz.at
Interaktives Fragen- und Infoservice als kostenfreie Dienst-
leistung für den professionellen Holzanwender. Der Service
bietet Informationen von Fachleuten der Holzforschung
Austria und beantwortet individuelle Fragen.