

Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel

Summer heat protection in the context of climate change

Le confort d'été face au changement climatique

Daniel Rüdissler
Labor für Bauphysik,
Technische Universität Graz,
Ingenieurbüro
Graz, Österreich



Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels kommt dem sommerlichen Wärmeschutz in doppelter Hinsicht Bedeutung zu. Einerseits gilt es dessen Auswirkung in Bezug auf das Gebäudeklima zu berücksichtigen, beziehungsweise diesen geeigneten Maßnahmen entgegenzusetzen – denn überhitzte Gebäude stellen eine ernsthafte Beeinträchtigung für die Gebäudenutzer hinsichtlich Komfort, Gesundheit und Produktivität dar. Andererseits müssen – angesichts der Tatsache, dass der Gebäudeenergiebedarf selbst ein bedeutender Faktor des Klimawandels ist – Maßnahmen gegen die Überwärmung ohne den Einsatz von energieintensiver mechanischer Kühlung auskommen. Dies ist in den meisten Fällen möglich, allzu oft wird hierbei jedoch der Fokus auf die speicherwirksame Masse gelegt. Eine Analyse zeigt jedoch, dass der Schlüssel in einer Optimierung der Gebäudeenergiebilanz des Sommertages zu suchen ist – und hierbei insbesondere bei einer Reduktion des Wärmeeintrags mittels funktionellem Sonnenschutz.

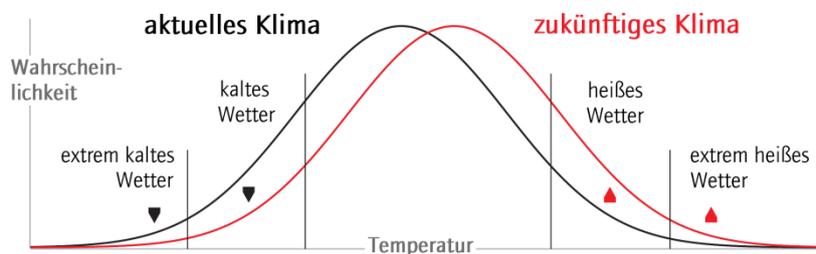


Abbildung 1: Prognostizierte Klimaentwicklung

Während bezüglich der Reduktion des Heizenergiebedarfs in den letzten Jahrzehnten große Anstrengungen unternommen wurden, etwa durch die Detaillierung von Berechnungsmethoden, die Auslegung der haustechnischen Anlagen und innovative Heizkonzepte, fand das Thema des sommerlichen Wärmeschutzes vergleichsweise wenig Beachtung. Als Folge der Optimierung auf die Heizperiode gibt es auch in Mitteleuropa, abhängig vom Gebäudekonzept und der Gebäudenutzung, bereits Gebäude, bei welchen der Bedarf an Kühlenergie jenen an Heizenergie bereits übersteigt. Neben diesen energetischen Aspekten verstärken aber auch weitere Faktoren, wie etwa die unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels in Form von gestiegenen Mitteltemperaturen und ausgehenderen Hitzephasen, gestiegene Komfortansprüche der Nutzer oder veränderte Nutzungsgewohnheiten, die Signifikanz des Themas sommerlicher Wärmeschutz.

Das mitteleuropäische Klima bietet, auch unter Miteinbeziehung der aktuellen Klimaprognosen, gute Voraussetzungen für eine klimaneutrale Kühlung von Gebäuden. Der Schlüssel hierfür liegt in der effizienten Nutzung der nächtlichen Abkühlung, welche in den meisten Regionen und in der überwiegenden Zahl der Sommernächte vorausgesetzt werden kann. Eine besondere Herausforderung stellen diesbezüglich die Großstadtreionen dar, da das dort herrschende Mikroklima – Stichwort *Urban Heat Islands* – das Potenzial zur Wärmeabfuhr deutlich reduziert. Gerade deshalb sind planerische Anstrengungen und intelligente Gebäudekonzepte gefordert, um dieses begrenzte Potenzial möglichst effizient nutzen zu können.

2. Die RIOPT-Studie

2.1. Motivation und Konzeptionierung

Um eine möglichst objektive und aussagekräftige Untersuchung der Einflussfaktoren für den sommerlichen Wärmeschutz durchzuführen, wurde am Labor für Bauphysik der Technischen Universität Graz die RIOPT-Studie konzipiert. Hauptziel war es, den Einfluss der Bauweisen auf das sommerliche Gebäudeverhalten zu erforschen. Dazu wurde das thermische Verhalten eines spezifisch zur Fragestellung erarbeiteten Regelgeschosses mit

mehreren Nutzungseinheiten in vier unterschiedlichen Bauweisen simuliert, wobei die Bauteile entsprechend der Grundtypen Stahlbeton, Ziegel, Brettsperrholz und Holzrahmen variiert wurden. Es wurde darauf geachtet, dass bei vergleichbaren Wärmedämmniveaus die Bauteilaufbauten dem aktuellen Standard entsprechen.

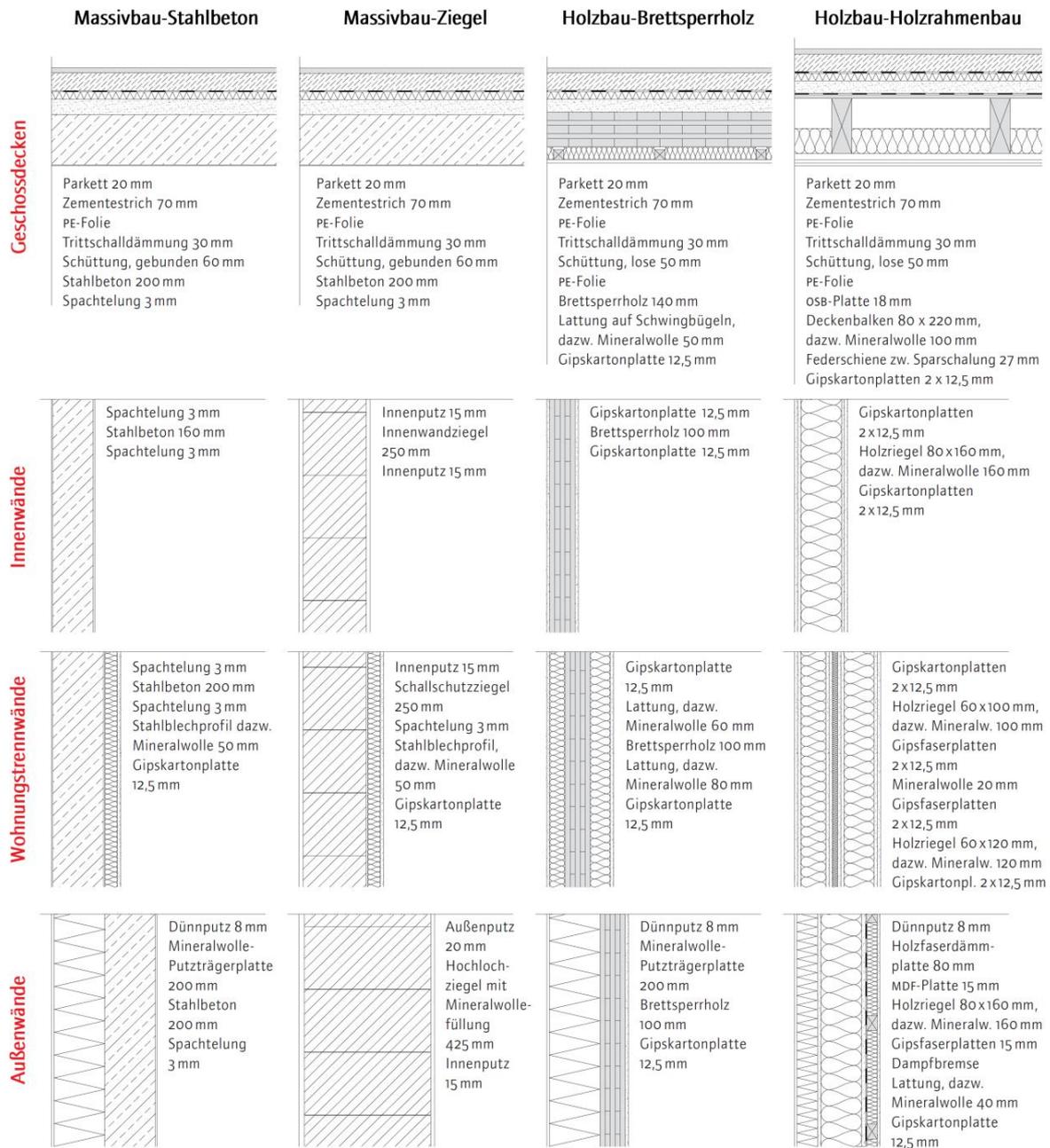


Abbildung 2: Bauteilaufbauten der untersuchten Bauweisen

Die Analyse baut auf detaillierte Gebäudesimulationen mit dem validierten Softwarepaket EnergyPlus auf, welches von US Universitäten in Zusammenarbeit mit dem US Department of Energy entwickelt wurde. Da aussagekräftige Ergebnisse nur im Rahmen einer systemischen Betrachtung möglich sind, wurden nicht nur vier, sondern insgesamt mehr als 100 dynamische Gebäudesimulationen durchgeführt. Bei den einzelnen Simulationsläufen wurden neben der Bauweise jeweils die Vorgabeparameter hinsichtlich der Beschattungs- und Luftwechselsituation variiert. Bei der derart durchgeführten parametrisierten Untersuchung fielen 280 Millionen Ergebniswerte an. Zur Analyse und Veranschaulichung dieser Datenmenge wurde ein eigenes Software-Tool entwickelt.

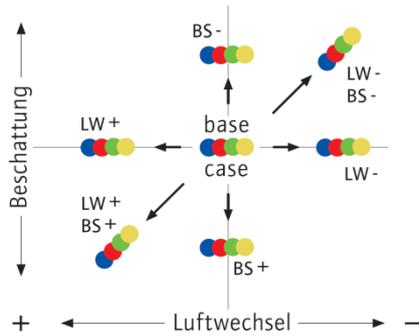


Abbildung 3: Parametrisierung der Studie

2.2. Ergebnisse aus der RIOPT-Studie

Erwartungsgemäß zeigte sich in der Studie, dass bei entsprechend hohen solaren Lasten tagsüber die am deutlichsten ausgeprägten Schwankungen im Temperatur-Tagesverlauf bei der leichtesten Bauweise eintraten, während sich bei schwereren Bauweisen einen dämpfenden Effekt zeigte. Bei genauerer Analyse wird jedoch augenscheinlich, dass in Bezug auf die Überhitzung einzelner Räume, oder des gesamten Gebäudes, andere Faktoren einen deutlich größeren Einfluss haben.

Wertet man die Temperaturmittelwerte einzelner Räume für ganze Monate oder die gesamte Sommerperiode aus, so zeigt sich dies besonders deutlich. Die Differenzen, welche hier auf Grund der Bauweise hervorgerufen werden, liegen im Bereich von wenigen Zehntelgraden. Die Abhängigkeiten der Raumtemperaturen von Orientierung, Lage und Fensterflächenanteil ist wesentlich ausgeprägter (siehe Abbildung 4). Noch stärker ausgeprägt ist der Einfluss der Faktoren Beschattung und kühlungswirksamer Luftwechsel auf die Innenraumtemperaturen und damit auch auf die Überhitzungsgefahr (siehe Abbildung 5 bis Abbildung 8).

In Abbildung 9 sind die zeitlichen Temperaturverläufe für den Basis-Simulationsfall (mittlere Beschattung, mittlerer Luftwechsel) dargestellt. Leichtere Bauweisen reagieren schneller auf Änderungen der Aussen-temperatur und solare Einstrahlung. Infolgedessen werden sowohl die höchsten Tagestemperaturen, aber auch niedrigsten Nachttemperaturen bei der leichtesten Bauweise erzielt. Betrachtet man die Tagesverlaufskurven bei verringerter Beschattung und verringertem Luftwechsel, so erhält man einen qualitativ sehr ähnlichen Verlauf, jedoch bei markant höheren Temperaturniveaus, während eine optimierte Beschattung- und Belüftungssituation zu einem Absinken der Temperaturen insgesamt führen.

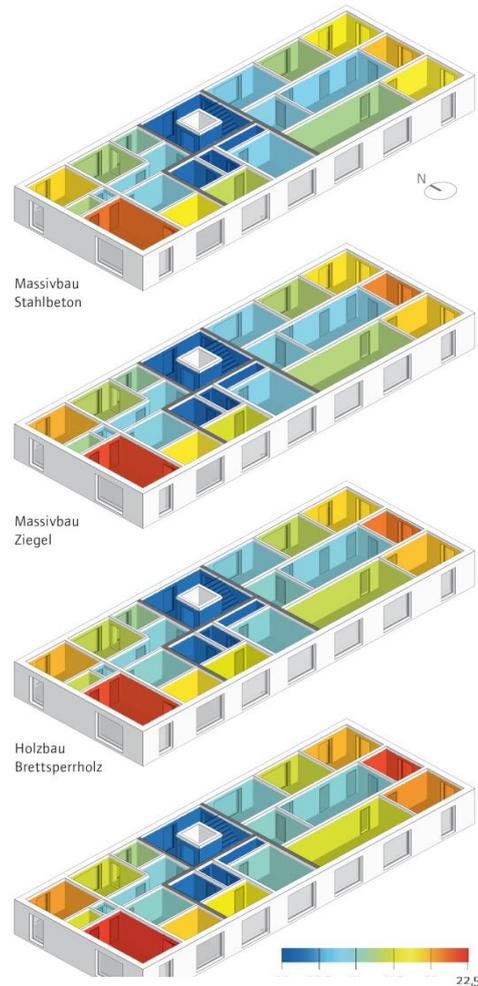


Abbildung 4: Temperaturmittelwerte der einzelnen Räume für alle Bauweisen (für den Ausgangsfall)

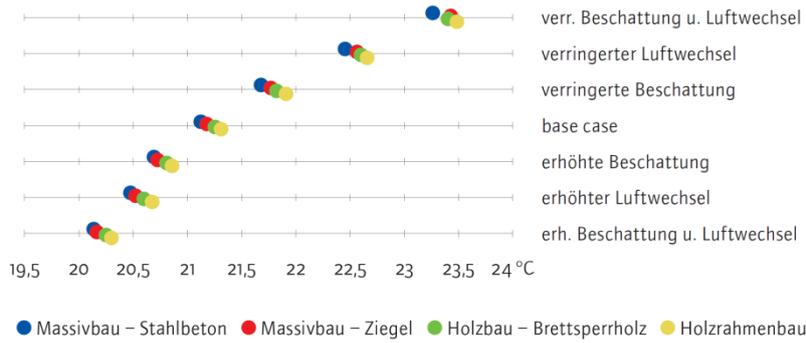


Abbildung 5: **gemittelte operative (Empfindungs-) Temperaturen der einzelnen Simulationsfälle**

Die Temperaturdifferenzen bezüglich der Bauweisen sind gering. Die Beschattungs- und Luftwechselsituation haben einen deutlich größeren Einfluss.

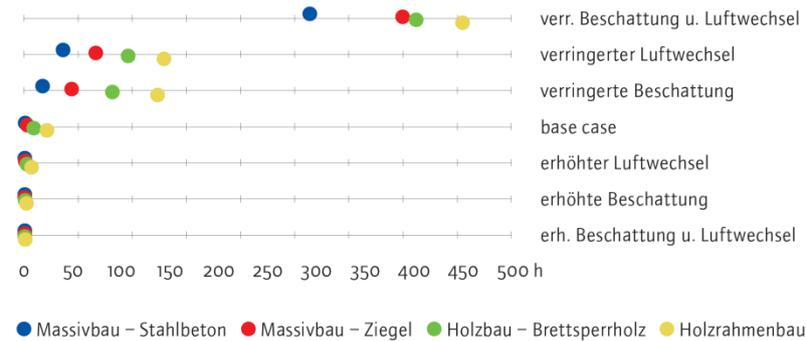


Abbildung 6: **Anzahl der Überschreitungsstunden > 27°C**

Wenn es zu einer Überhitzung kommt, treten von der Bauweise abhängige Unterschiede auf. Ist die Beschattung und der Luftwechsel ausreichend, so wird die Grenztemperatur bei allen Bauweisen eingehalten.

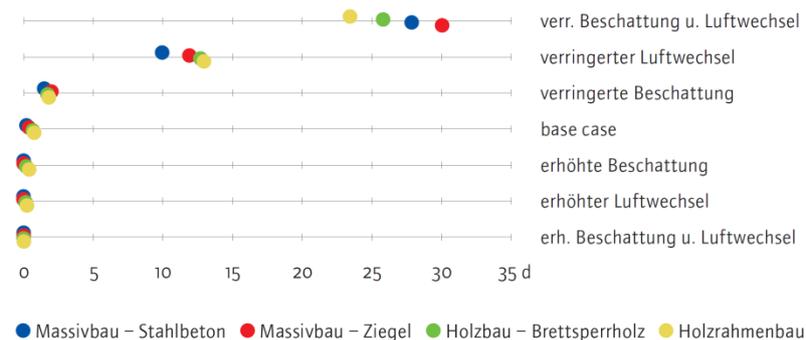


Abbildung 7: **Anzahl der Überschreitungsnächte > 25°C**

Im extremen Überhitzungsfall zeigen die leichten Bauweisen hier sogar Vorteile, da die nächtliche Abkühlung dann effektiver eintritt.

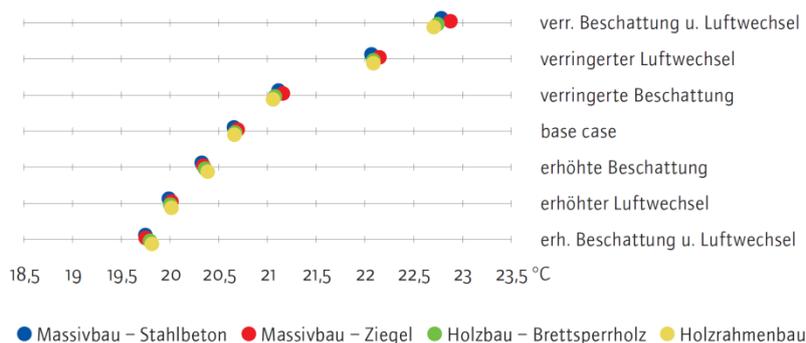


Abbildung 8: **«Schlaftemperaturen» gemittelte operative Temperaturen von 22 bis 6 Uhr**

Die Unterschiede bei den Bauweisen sind sehr gering. Im Überhitzungsfall zeigen hier wiederum die leichten Bauweisen Vorteile.

Die durch die Bauweise bestimmte Trägheit des Gebäudes, kann nicht nur kurzfristig, im Tagesgang der Temperaturen, sondern auch mittelfristig bei Änderung der Wetterlage beobachtet werden. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 10 verdeutlicht. Anstelle der Temperaturstundenwerte wurden hier die über 24 Stunden gemittelten Temperaturverläufe dargestellt. Es ist gut zu sehen, wie diese gleitenden Temperaturmittelwerte in Hitzeperioden bei den leichteren Bauweisen rascher ansteigen, jedoch bei kühlerem Wetter auch wieder rascher absinken. Die leichteren Bauweisen haben im Sommer also Nachteile bei Temperaturanstiegen, dafür Vorteile bei sinkenden Außentemperaturen. Da sich dieser «Speichermasseneffekt» in Bezug auf die Erwärmung und Abkühlung symmetrisch auswirkt, können bei Betrachtung der Temperaturmittelwerte über längere Perioden praktisch keine Unterschiede wahrgenommen werden.

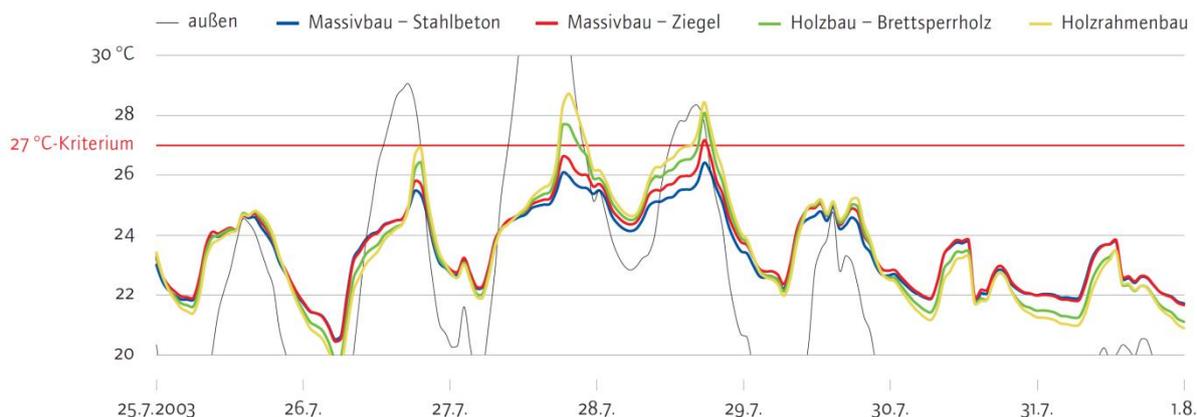


Abbildung 9: **Temperaturverlauf einer Woche im Basis-Simulationsfall - Vergleich der Bauweisen**
Sowohl die höchsten, als auch die geringsten Temperaturen werden von der leichtesten Bauweise erzielt.

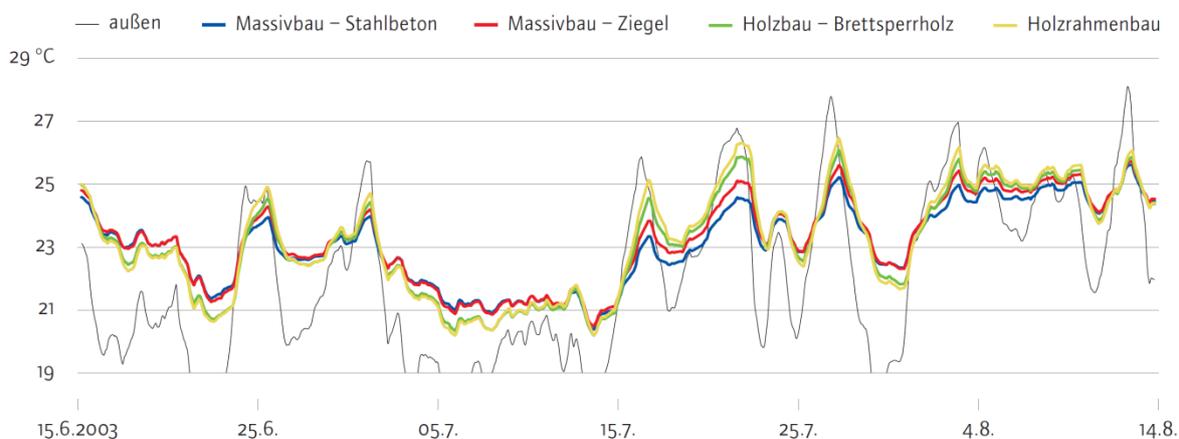


Abbildung 10: **gleitende 24h-Temperaturmittel im heißesten Raum für den Fall «base case»**
Die leichteren Konstruktionen reagieren bei Erwärmung und Abkühlung schneller auf Wetteränderungen.

Anmerkung: Weitere Ergebnisse und Analysen zur RIOPT Studie können dem att.zu-schnitt-Arbeitsheft von pro:Holz Austria «Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel» entnommen werden (frei erhältlich auf www.proholz.at).

3. Die Physik des sommerlichen Wärmeschutzes

Nachfolgend soll kurz auf die zugrundeliegende Physik des sommerlichen Wärmeschutzes eingegangen werden. Wesentlich ist hierbei, wie auch die Riopt-Studie gezeigt hat, die Kontrolle des sonnenstrahlungsbedingten Wärmeeintrags durch effiziente Beschattungen. Insbesondere soll aber auch auf relevante Zusammenhänge hinsichtlich der Anwendung von Nachtlüftung eingegangen werden, da diese Art der Kühlung vollkommen «klimaneutral» ist. Im Gegensatz zum winterlichen Wärmeschutz wird dem sommerlichen Wärmeschutz in der Planungsphase häufig zu wenig Beachtung geschenkt. Berechnungen werden meist erst - im Rahmen der erforderlichen Nachweise - für die Einreichplanung durchgeführt. In dieser Phase wird auf die komplexen Anforderungen, welche eine Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes stellen, meist nicht mehr umfassend eingegangen.

3.1. Die Wärmebilanz des Sommertages

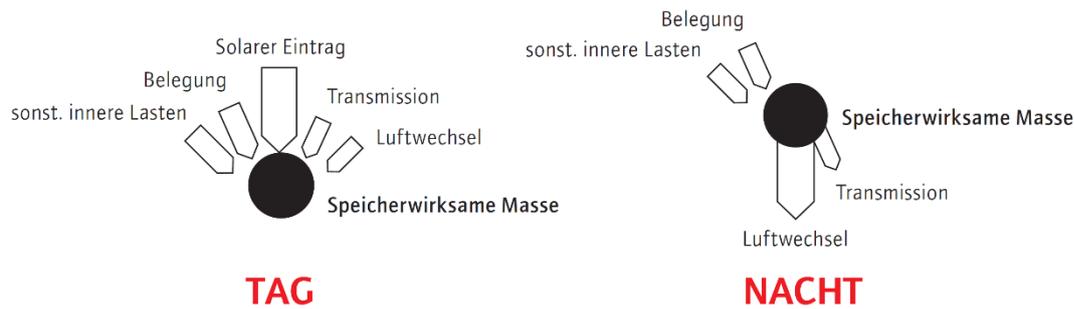


Abbildung 11: Wärmeströme eines Gebäudes an einem Sommertag

Betrachtet man einen üblichen Sommertag eines nicht-klimatisierten Gebäudes, so treten in der Wärmebilanz tagsüber ausschließlich Wärmeinträge auf. Dies sind einerseits die sogenannten inneren Lasten, zu welchen neben der Abwärme elektrischer Verbraucher auch die von den anwesenden Personen abgegebene Wärme hinzu zu zählen ist, und andererseits die Wärmeenergie durch Wärmeströme, welche von außen über die Gebäudehülle eindringen. Die Transmission, etwa die Wärmeleitung durch die Wand, spielt heute auf Grund der hohen Dämmstandards eine nur mehr geringe Rolle. Konzentrieren wir uns bei dieser Betrachtung auf die wohn- und wohnähnliche Nutzung, bei welcher die inneren Lasten meist gering sind, so stellt der solare Eintrag durch die transparenten Flächen des Gebäudes die dominante Wärmequelle dar. Sind bei hohen Außentemperaturen Fenster oder Türen über längere Zeit geöffnet, so spielt natürlich auch dieser Wärmeintrag über den Luftwechsel eine signifikante Rolle.

Die gesamten auftretenden Wärmeströme führen zu einer Erwärmung des Innenraums. Wie hoch dabei der Anstieg der Innentemperatur ist, hängt neben der Größe des Wärmeintrags von der Kapazität des Raumes oder Gebäudes zur kurzfristigen Speicherung von Wärme ab.

Nach Sonnenuntergang sinkt üblicherweise die Temperatur der Außenluft unter jene des Innenraums und die Wärmeströme durch die Gebäudehülle kehren sich um. Wiederum spielt die Transmission eine untergeordnete Rolle, d.h. der überwiegende Teil der über den Tag kumulierten Wärmemenge muss nun mittels Nachtlüftung an die Umgebung abgeführt werden. Voraussetzung hierfür ist natürlich, dass ein effizienter kühlungswirksamer Luftwechsel stattfinden kann, also dass z.B. Fenster geöffnet sind und die in das Gebäude eintretende Luft tatsächlich eine geringere Temperatur als die Raumluft bzw. die Raumbooberflächen aufweist.

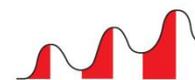
Gelingt es die über den Tag angesammelte Wärme in der Nacht abzuführen, so sinken die Temperaturen auf das Niveau des Vortages und die Speicher sind dann quasi für den nächsten Tag wieder voll verfügbar. Erfolgt diese «Entleerung» unzureichend, so kumuliert die Wärme im Gebäude über die Tage hinweg und das Temperaturniveau im Raum steigt. Tritt diese Erwärmung in einem Gebäude mit großen speicherwirksamen Massen auf, so erfolgt sie langsamer, was zugleich bedeutet, dass auch die erreichten Höchsttemperaturen gemäßigt werden. Fällt die Ursache für die Überwärmung weg, so bewirkt die hohe Wärmekapazität jedoch andererseits eine analoge Verzögerung der Abkühlung, d.h. die Temperaturen bleiben länger erhöht. Betrachtet man die Temperaturmittelwerte bei unterschiedlichen Bauweisen, so unterscheiden sich diese deshalb praktisch nicht. Bei länger anhaltenden Hitzeperioden kann die speicherwirksame Masse deshalb diesbezüglich kaum Abhilfe schaffen. Die maximal erreichten Temperaturen werden zwar gedämpft, jedoch wird dafür die Dauer der Überwärmung verlängert und insbesondere ein nächtliches Abkühlen verzögert.



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



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



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

Abbildung 12: Wirksamkeit der Kühlung durch natürliche Lüftung

Eine zyklische Abkühlung kann ausschließlich im Tagesgang der Temperaturen vorausgesetzt werden. Deshalb muss die verfügbare speicherwirksame Masse in diesem 24-Stunden-Zyklus evaluiert werden. Dies bedeutet, die Wärmekapazität des Innenraums muss so groß sein, dass die über den Tag - vorwiegend durch solare Einstrahlung - anfallende Wärmemenge effektiv absorbiert werden, und nachts bei kühleren Außenlufttemperaturen wieder abgegeben werden kann.

Die erforderliche Quantität an Speichermasse wird also durch die Größe des Wärmeeintrags tagsüber, bzw. durch die Möglichkeiten zur nächtlichen Wärmeabfuhr bestimmt. Der Flaschenhals in diesem System ist zumeist das Kühlpotential durch den nächtlichen Luftwechsel. Da dieses aus diversen Gründen (siehe unten) begrenzt ist, ist das Kühlpotential maßgebend - sowohl hinsichtlich der maximal sinnvollen Speichermasse, als auch in Bezug auf die Anforderungen an die Beschattung tagsüber.

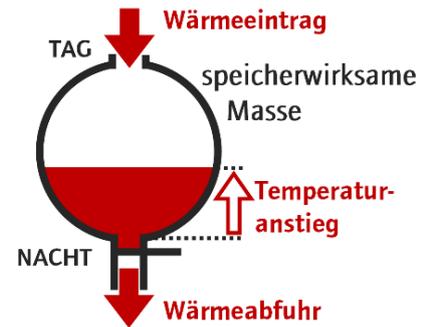


Abbildung 13: Funktion der speicherwirksamen Masse

3.2. Flächenbezogene wirksame Wärmekapazität – speicherwirksame Masse

Theorie

In der Bauphysik werden die dynamisch-thermischen Eigenschaften von Bauteilen mittels der in EN 13786 definierten Kenngrößen beschrieben.

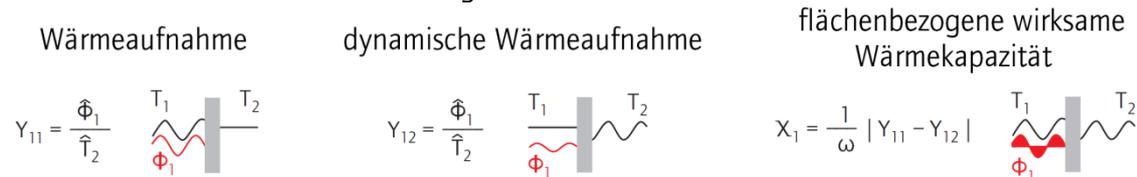


Abbildung 14: dynamische Kenngrößen wie definiert in EN 13786

Die Kenngrößen werden auf Basis von Wärmeströmen errechnet, die sich als Folge eines im 24-Stunden-Intervall periodisch schwankenden Temperaturverlaufs ergeben und gelten theoretisch auch nur für diese sinusförmigen Verläufe exakt. Da die real auftretenden Temperaturverläufe ähnlich gestaltet sind, lässt sich mit Hilfe der so ermittelten Kenngrößen das tatsächliche Verhalten ausreichend gut beschreiben.

Die Ermittlung dieser Kenngrößen erfolgt i.d.R. auf analytische Weise. Hierzu werden in einem Verfahren, welches der komplexen Wechselstromrechnung entstammt, die Wärmeströme mit Hilfe von komplexwertigen Zahlen errechnet. Ebenso ist es jedoch möglich, die Wärmeströme in zwei- oder dreidimensionalen Modellen mit Hilfe von dynamischen Simulationsprogrammen zu ermitteln und die Kenngrößen daraus abzuleiten.

Auf die (OBER-)FLÄCHE kommt es an

Da der Wärmestrom im Tageszyklus alle 12 Stunden seine Richtung umkehrt, können signifikante Wärmemengen in dieser Periode meist nur in den ersten wenigen Zentimetern des Bauteils gespeichert werden. Diese Tatsache ist für das Verständnis der speicherwirksamen Masse gleich in zweifacher Hinsicht entscheidend. Erstens bedeutet dies, dass nicht – wie oft suggeriert – die gesamte physikalische Masse des Gebäudes an sich ausschlaggebend ist. Zur Veranschaulichung in Abbildung 15 die Gegenüberstellung eines Betonwürfels und einer Leichtbauwand mit äquivalenter wirksamer Wärmekapazität. (Anmerkung: in diesem Zusammenhang ist der Begriff «speicherwirksamen Masse» eher irreführend. Der Normen-Begriff «flächenbezogene wirksame Wärmekapazität» wäre vorzuziehen – ist aber leider nicht sehr kompakt.)

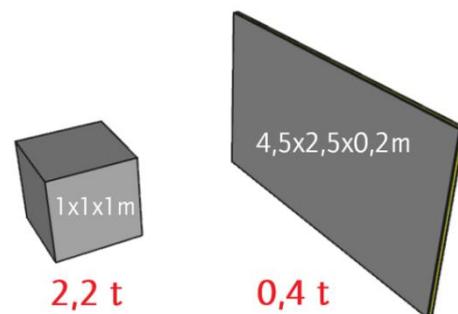


Abbildung 15: Beton-Würfel und Leichtbauwand (25mm GKP) mit identischen speicherwirksamen Massen

Der Normen-Begriff «flächenbezogene wirksame Wärmekapazität» wäre vorzuziehen – ist aber leider nicht sehr kompakt.)

Zweitens bedingt die hohe Relevanz der oberflächennahen Schichten auch, dass es für die Wärmekapazität eines Bauteils entscheidend ist, welches Material sich in diesem Bereich befindet.

Diesen Zusammenhang soll der Vergleich von Wandkonstruktionen mit unterschiedlichem Kernmaterial und variabler Dicke verdeutlichen. Als Material für den Kern der Wand wurde jeweils Beton (unbewehrt), Fichtenholz und Ziegelmaterial (unter Annahme von homogenem Material mit den Kennwerten eines hochporosierten, modernen Hochlochziegels).

Zunächst wird die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität («Speichermasse») von monolithischen Wänden mit unterschiedlichen Dicken dargestellt.

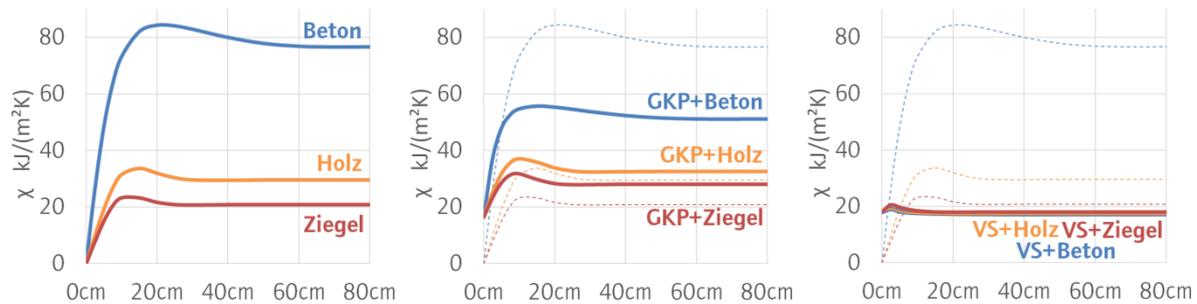


Abbildung 16: Speichermasse Wandaufbauten mit variabler (Kern-)Dicke
Links: monolithisch, Mitte: mit direkter GKP-Abdeckung (25mm),
Rechts: mit Vorsatzschale (50mm MW+25mm GKP)

Es wird deutlich, dass hier bereits mit ca. 10 cm Dicke alle Konstruktionen jenen Wert erreichen, welcher sich auch für größere Wanddicken ergäbe. Bei direktem Oberflächenkontakt zur Umgebung führt die hohe Wärmeleitfähigkeit von Beton dazu, dass im Vergleich zu Massivholz zweieinhalbfach höhere Werte erreicht werden. Bei geringen Dicken wird auch ein dynamischer Effekt sichtbar: Die Wärmekapazität liegt kurzzeitig sogar über den Werten für dickere Konstruktionen.

Exemplarische flächenbezogene wirksame Wärmekapazitäten (speicherwirksame Masse) in kJ/m²K

Wand ¹⁾		Boden ²⁾	
STB gespachtelt	84	Naturstein 20mm	84
STB 15mm Putz	77	Bodenfliese 10mm	79
Fliesen auf IW-Ziegel	51	Vinylboden 5mm	67
IW-Ziegel 15mm Putz	47	Parkett Eiche 12mm	63
BSP 18mm GFP	43	Laminat 7mm	62
BSP Fliesen auf VS	36	Parkett Eiche 20mm	56
BSP 12,5mm GFP	35	Teppichbelag 5mm	55
AW-Ziegel 15mm Putz	34	Parkett FICHTE 12mm	55
Holzrahmen VS 2x12,5 GFP	30	Parkett FICHTE 20mm	46
Leichtbau 2x12,5mm GKP	20	Wollteppich 30mm auf	18
BSP VS 2x12,5 GKP	18	Parkett Eiche 12mm	
Holzrahmen VS 2x12,5 GKP	18	*) STB: Stahlbeton	
IW-Ziegel VS 2x12,5 GKP	18	IW: Innenwand,	
STB VS 2x12,5mm GKP	17	AW: Außenwand	
BSP VS 12,5 GKP	12	VS: Vorsatzschale	
STB VS 12,5mm GKP	12	GKP: Gipskartonplatte	
IW-Ziegel VS 12,5 GKP	12	GFP: Gipsfaserplatte	
Holzrahmen VS 12,5 GKP	11	BSP: Brettsperrholz	
		**) Bodenaufbau: Belag auf 7cm	
		Estrich, 3 cm TDPS, Schüttung	

Um die Bedeutung des Oberflächenmaterials zu veranschaulichen wird die Auswertung unter der Annahme von direkt angebrachten Gipskartonplatten mit zweimal 12,5 mm Dicke wiederholt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Gipskartonbeplankung sowohl bei der Ziegel-, als auch bei der Holzwand zu einer Erhöhung der speicherwirksamen Masse führt, jene von Beton jedoch markant reduziert wird. Wird die Berechnung unter der Annahme einer Vorsatzschale mit 50 mm starker Mineralwolldämmung wiederholt, so wird die wirksame Speichermasse der Wand ausschließlich von der Gipskartonplatte bestimmt. Der Kern kann im Tagesgang nicht mehr aktiviert werden, deshalb ist sowohl die Dicke des Kerns, als auch dessen Material hier irrelevant.

Tatsächlich aktivierte speicherwirksame Masse

Basis der oben angeführten Ergebnisse sind die Methoden und Randbedingungen der Normen EN 13786 und EN 6946. Der Wärmestrom wird dabei unter der Annahme einer Umgebung mit konstanter Temperatur und konstanter Luftgeschwindigkeit ermittelt. Im realen Fall stehen die Oberflächen im komplexen konvektiven Wärmeaustausch mit Luftmassen unterschiedlicher Temperaturen, als auch im Strahlungsaustausch mit unterschiedlich temperierten Oberflächen. Diese komplexen Vorgänge werden auch bei den meisten Gebäudesimulationen nur vereinfacht abgebildet.

Beim Durchströmen des Gebäudes nimmt kühlere Luft Wärme von den Oberflächen im Raum auf. Das Ausmaß der Wärmeaufnahme wird dabei von der Temperaturdifferenz bestimmt. Dies bedeutet, dass beim Weg durch das Gebäude zunehmend weniger Wärme an die Luft abgegeben werden kann. Sobald die Lufttemperatur das Niveau der Innenoberflächen erreicht hat, findet kein Wärmeaustausch mehr statt. Bei der Berechnung der speicherwirksamen Masse wird jedoch von einer Umgebung mit konstant vorgegebener Temperaturschwankung und quasi unbegrenztem Wärmepotential ausgegangen. Im Realfall ist jedoch das Potential des Luftstroms zur Wärmeabfuhr begrenzt.

Wichtig ist auch zu verstehen, dass die speicherwirksame Masse (wirksame Wärmekapazität) nur ein Potential darstellt, welches aktiviert werden muss. Wenn das Bauteil nicht in Wechselwirkung mit dem kühlenden Luftstrom treten kann, ist auch die speicherwirksame Masse irrelevant, wie dies etwa der Fall ist, wenn während der Nachtlüftung Fenster und Türen eines Raums geschlossen bleiben. Ebenso können Vorhänge oder auch Möblierung die tatsächliche Wärmekapazität drastisch reduzieren, da sie den Wärmeaustausch der Bauteiloberfläche mit der Umgebung verhindern. Die Wärmekapazität der Einrichtung selbst ist hingegen ebenso zu berücksichtigen. Diese ist naturgemäß bei allen Bauweisen vergleichbar.

Aus all den oben erwähnten Gründen sind die Auswirkungen der Unterschiede in den wirksamen Wärmekapazitäten verschiedener Bauweisen geringer als vielfach angenommen wird. Subjektiv wahrgenommene Unterschiede begründen sich oft in der Tatsache, dass sehr unterschiedliche Gebäudetypen mit den einzelnen Bauweisen assoziiert werden.

Wirksame Wärmekapazität von inhomogenen Bauteilen

Insbesondere im Holzbau stellt sich das Öfteren die Frage, wie die speicherwirksame Masse von inhomogenen Bauteilen zu berechnen ist. Die analytische Berechnungsmethode der Norm geht von gleichförmigen ebenen Schichten aus, d.h. es ist damit nicht möglich den Einfluss von durchringenden Elementen wie Lattung, Holzriegel etc. exakt zu berücksichtigen. Die Norm verweist aber auch auf die Berechnungsmöglichkeit mit Hilfe von instationären Simulationsverfahren. Mit deren Hilfe kann der Wärmestrom an der Oberfläche bei periodisch schwankenden Temperaturen bestimmt werden. Daraus lässt sich die wirksame Wärmekapazität einfach bestimmen. In der Regel sind jedoch keine grossen Abweichungen gegenüber der vereinfachten Berechnung zu erwarten, da – wie bereits erwähnt – die oberflächennahen Schichten maßgeblich sind.

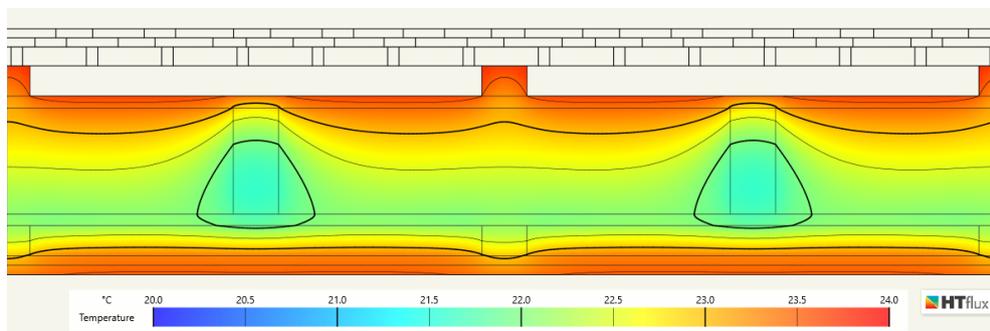


Abbildung 17: Instationäre thermische Simulation eines Holzrahmen-Wandaufbaus zur Ermittlung der wirksamen Wärmekapazität

In Abbildung 17 ist eine Momentaufnahme der instationären thermischen Simulation eines Holzrahmen-Wandaufbaus zu sehen. Die Berücksichtigung der Lattung und der Pfosten

unter der doppelten Gipskartonbeplankung führt auf der Innenseite lediglich zu einer Verbesserung von 4%. Etwas größere Abweichungen sind zu erwarten, wenn massive Bauteile nahe oder bis an die Oberfläche reichen.

3.3. Luftwechsel und natürliche Kühlung

Das Prinzip der natürlichen Kühlung beruht darauf, dass die über den Tag angesammelte Wärme im Gebäude nachts mit Hilfe von kühler Außenluft an die Umgebung abgeführt wird. Voraussetzung hierfür ist einerseits, dass in der Nacht ein genügend großer Luftstrom möglichst viele Oberflächen des Gebäudes erreicht und andererseits, dass ausreichend kühle Luft zur Verfügung steht.

Die tatsächlichen Vorgänge beim Luftwechsel sind relativ komplex und die Abbildung desselben bei üblichen Gebäudesimulationen daher meist unzureichend. Einerseits ist der Luftwechsel stark vom Nutzerverhalten bestimmt (Öffnungszustände von Fenster und Türen), andererseits sind die dabei relevanten physikalischen Wechselwirkungen komplex. Für eine genaue Berechnung ist eine enorm detaillierte Multiphysik-Simulation mit umfangreichen Kenntnissen aller Randbedingungen notwendig. Die exakte Simulation erfordert eine Strömungsberechnung (CFD), verbunden mit einer Wärmestrahlungs- und Wärmeübertragungsberechnung. Die absolute Genauigkeit der Ergebnisse derartiger Simulationen ist dennoch meist zu hinterfragen, da diese von einer Vielzahl an - oft schwer bestimmbar - Parametern abhängig ist, z.B. Bauteileigenschaften, Oberflächeneigenschaften hinsichtlich Strahlung und Rauheit, Öffnungsgeometrie, Mikroklima mit lokalen Temperaturen, Windgeschwindigkeit, Druckunterschieden etc.

Wie oft in der Physik können jedoch auch hier aus einer fundamentalen Betrachtung, mit Hilfe von Erhaltungsgrößen bzw. Bilanzbetrachtungen, auf einfache Weise aufschlussreiche Erkenntnisse gewonnen werden. In diesem Fall mit Hilfe der Energieerhaltung und einfacher Thermodynamik.

Kühlleistung des Luftstroms

Die Wärmemenge, welche mit Hilfe der Luftströmung abtransportiert wird lässt sich einfach aus der Wärmekapazität der Luft, der Luftdichte und dem Volumenstrom bestimmen. Verlässt beispielsweise ein Kubikmeter Luft pro Sekunde einen Raum oder ein Gebäude mit einer um ein Grad reduzierten Temperatur, so entspricht dies einer Kühlleistung von 1200 Watt.

Ausgehend von diesem Zusammenhang kann die Kühlleistung folglich mittels zweierlei Maßnahmen beeinflusst werden:

Erstens muss für ausreichenden Luftstrom gesorgt werden, und zweitens muss sichergestellt werden, dass die Wärme auf diesen Luftstrom übertragen werden kann. Dies bedeutet, dass der Luftstrom in direkte Wechselwirkung mit den speicherwirksamen Massen treten können muss. Verhindern dies etwa geschlossene Innentüren, Teppiche, Möblierung oder Vorhänge so ist die Wärmekapazität dieser Flächen praktisch wirkungslos.

Luftvolumenstrom

Auch für den Luftvolumenstrom können wir uns mit einer vereinfachten Betrachtung behelfen. Der Volumenstrom hängt grundsätzlich von der Druckdifferenz, den Öffnungsflächen und von Widerstandsbeiwerten ab. Bezüglich der Öffnungsflächen muss sichergestellt werden, dass diese ausreichend groß, günstig verteilt und – vor allem – auch tatsächlich regelmäßig geöffnet sind. Da Nachtlüftung grundsätzlich geöffnete Flächen in der Fassade bedingt, ist die Anwendung derselben untrennbar mit den Themen Regen- und Einbruchschutz verbunden. Hier sind zukünftig innovative Lösungen gefordert, um eine effiziente Anwendung zu gewährleisten.

Die Widerstandsbeiwerte beziehen sich einerseits auf den Luftstrom durch die Öffnungen – so haben gekippte Fenster oder Fenster mit Insektengitter hohe Widerstandswerte – und andererseits auch auf die Führung des Luftstroms Gebäudeinneren. Eine nur einen Spalt geöffnete Innentüre hat naturgemäß einen hohen Strömungswiderstand, während beispielsweise ein geräumiger Flur oder ein Treppenhaus wenig Widerstand verursacht.

Kühlleistung des Luftstroms

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta T$$

\dot{Q} ...Kühlleistung [W]

\dot{V} ...Volumenstrom [m^3/s]

ρ ...Luftdichte [ca. $1,2 \text{ kg}/m^3$]

C ...Wärmekapazität Luft [$1005 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

ΔT ...Temperaturdifferenz der Luft [K]
(Eintritt → Austritt)

Die für den Luftwechsel erforderlichen Druckdifferenzen können als Folge von drei unterschiedlichen Einwirkungen entstehen: durch thermischen Auftrieb, durch Windeinwirkung, oder durch mechanische Lüftung.

Thermischer Auftrieb

Der thermische Auftrieb stellt bezüglich der Nachtlüftung meist den wesentlichen Faktor dar. Die Ursache für den Auftrieb ist der Dichteunterschied zwischen der warmen Innenluft und der kühleren Außenluft. Für den thermischen Auftrieb zusätzlich bestimmend ist der vertikale Abstand zwischen den Eintritts- auf Austrittsöffnungen.

Ist der Luftwechsel auf ein Geschoss oder einen Raum beschränkt, so ist diese wirksame Höhendifferenz auf die Fensterhöhe begrenzt. Selbst in diesem Fall sorgt der Temperatur- und damit verbundene Dichteunterschied für einen maßgeblichen Luftaustausch.

Sehr viel effektiver kann der thermische Auftrieb jedoch ausgenutzt werden, wenn es gelingt einen Luftaustausch über mehrere Geschosse zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wird dann häufig vom «Kamineffekt» gesprochen.

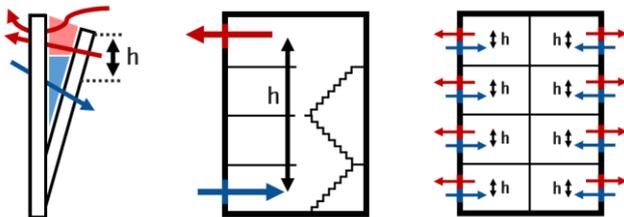


Abbildung 18: Luftwechsel durch thermischen Auftrieb und wirksame Höhe (gekipptes Fenster, Kamineffekt, getrennte Räume)

In Bezug auf die Nachtlüftung wirkt sich die Abhängigkeit des thermischen Auftriebs von der Temperaturdifferenz sehr vorteilhaft aus. Diese bedingt, dass die Luftwechselzahlen immer dann hoch sind, wenn die Innenluft signifikant wärmer ist als die Außenluft. Nähert sich die Innenlufttemperatur der Außenlufttemperatur an, so nimmt der Luftstrom ab. Erwärmt sich die Außenluft weiter, so wird aus dem Auftrieb ein Abtrieb, und es kommt zu einer Umkehr der Strömungsrichtung. (Anmerkung: Auf diese Weise lässt sich einfach und effizient feststellen, wann die Nachtlüftung beendet werden sollte.)

Windeinwirkung

Auch die Windeinwirkung führt zu Druckunterschieden im Bereich der Gebäudeöffnungen. Auf der windzugewandten Seite entsteht ein Winddruck, während auf den windabgewandten und umströmten Gebäudeseiten, sowie im Dachbereich in der Regel Unterdrücke entstehen. Darüber hinaus kommt es durch Turbulenzen zusätzlich zu pulsierenden Druckunterschieden. Auch die hierdurch entstehenden Luftströmungen durch das Gebäude können bei entsprechenden Aussentemperaturen zur Kühlung genutzt werden.

In vielen Regionen, insbesondere in Tal- und Beckenlagen spielt die Windeinwirkung im Zusammenhang mit Nachtlüftung aber eine untergeordnete Rolle. Besonders bei sommerlichen Wetterlagen und klaren Nächten, bei welchen infolge der Wärmeabstrahlung die Temperaturen im Bodenbereich sinken und die Bedingungen für einen kühlenden Luftstrom grundsätzlich gut sind, bewirkt diese Abkühlung die Ausbildung einer Inversionslage. Diese sogenannte Nacht- oder Strahlungsinversion sorgt dafür, dass bodennahe Luftmassen von den höheren abgekoppelt werden, und als Folge davon die Winde in Bodennähe «einschlafen». Maßgeblich bleiben in diesem Fall allenfalls noch lokale Winde, welche sich als Folge des thermischen Auftriebs unterhalb der Inversion kleinräumig, z.B. auf Ebene des Mikroklimas einer Stadt, einstellen.

Thermischer Auftrieb

$$\Delta p = (\rho_e - \rho_i) \cdot g \cdot h$$

Δp ... Druck infolge Auftrieb [Pa]

$\rho_{e,i}$... Luftdichte außen, innen [kg/m^3]

g ... Erdbeschleunigung [$9,81 \text{ m}/\text{s}^2$]

h ... wirksame Höhendifferenz [m]
(Eintritt → Austritt)

Winddruck - Windsog

$$W = c_p \cdot \left(\frac{\rho_L}{2} \right) \cdot v^2$$

ρ_L ... Luftdichte [ca. $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$]

v ... Windgeschwindigkeit [m/s]

c_p ... aerodynamischer Beiwert

Druck: ca. 0 - 1

Sog: ca. -2,5 - 0

Mechanische Lüftung – erzwungener Luftwechsel

Je nach Nutzung des Gebäudes kann – oder muss – auch mechanische Lüftung zur Herstellung oder Verstärkung des nächtlichen Luftwechsels genutzt werden. Obwohl diese Form der Kühlung nicht grundsätzlich klimaneutral ist, muss berücksichtigt werden, dass bei geeigneter Umsetzung eine sehr effiziente Energienutzung und damit insgesamt eine Energieeinsparung möglich ist, wenn dadurch beispielsweise der Bedarf an konventioneller Kühlleistung reduziert wird oder gänzlich entfällt. Die mechanische Lüftung fungiert in diesem Fall quasi als Wärmepumpe, da im Idealfall mittels der vergleichsweise geringen elektrischen Energie, welche für die Belüftungsanlage benötigt wird, eine sehr viel größere Energiemenge – jene des kühlenden Luftstroms – erschlossen werden kann. Bei der Nutzung von mechanischen Anlagen ist aber jedenfalls zu beachten, dass die oben beschriebenen – auf natürlich Weise hervorgerufenen – Druckunterschiede genutzt bzw. unterstützt werden, da nur in diesem Fall ein effizienter Betrieb sichergestellt werden kann.

Mikroklima

Da für die Effizienz der Kühlung durch Luftwechsel die Temperatur der einströmenden Luft entscheidend ist, gilt es auch diese Aspekte in die Analyse miteinzubeziehen. Für die meisten Berechnungen oder Gebäudesimulationen wird die meteorologisch gemessene Lufttemperatur als Außentemperatur herangezogen. Im Realfall kann die Temperatur in der Umgebung des Gebäudes aber höher liegen, insbesondere, wenn sich dieses im dicht bebauten Bereich befindet. Vorplätze, Straßen, Gebäudeteile und Oberflächen von Nebengebäude verfügen ebenso über eine speicherwirksame Masse. Durch die direkte Sonneneinstrahlung erwärmen sich diese Flächen tagsüber oft stark und geben die so gespeicherte Wärme bei niedrigeren Außentemperaturen an die Umgebung ab. Dies kann dazu führen, dass die zur Kühlung des Gebäudes vorgesehene eintretenden Luftmassen bereits signifikant «vorgewärmt» sind. Die Kühlungswirksamkeit des Luftstroms wird dadurch deutlich reduziert. Besonders in städtischen Kerngebieten und warmen Nächten ist das Potenzial für die Nachtlüftung oft sehr begrenzt, so dass Maßnahmen zur Reduzierung des solaren Wärmeeintrags hier besonders wichtig werden.

Bei Kenntnis der Zusammenhänge gibt es auch einiges an Optimierungspotential auszuschöpfen. Einerseits sollten solche Überlegungen auf städteplanerischer Ebene erfolgen, andererseits können Planer auch auf der Gebäude-Ebene wichtige Maßnahmen setzen (Verdunstungskälte und Verschattung durch Begrünung, Platzgestaltung, Windlenkung, Oberflächengestaltung,...).

3.4. Solarer Eintrag und Beschattung

Die bestimmende Wärmequelle, unabhängig von der Bauweise, stellt bei wohn- und wohnähnlicher Nutzung der solare Eintrag durch die transparenten Flächen dar. Optimierungen des sommerlichen Wärmeschutzes müssen sich deshalb zuallererst auf diesen konzentrieren. Gelingt es, die Wärmezufuhr zu reduzieren, so sinken proportional die Anforderungen an die Wärmepufferung (Speichermasse) und die Wärmeabfuhr (kühlungswirksamer Luftwechsel) (siehe Abbildung 13).

Räumliche und zeitliche Verteilung der Sonneneinstrahlung

Der in Abbildung 19 dargestellte Tagesverlauf zeigt die solare Einstrahlungsleistung auf unterschiedlich orientierte Flächen für den Standort Graz. Diese gilt in ähnlicher Form für ganz Mitteleuropa. Die Einstrahlungsberechnung wurde für den 15. Juli durchgeführt um durchschnittliche sommerliche Einstrahlung abzubilden. Am Diagramm können einige interessante Zusammenhänge verdeutlicht werden: Es ist gut zu sehen, dass im Sommer die gesamte Einstrahlung auf die West- und Ost-Fassade höher als auf die Südfläche ist. Der steilere Einfallswinkel in der Mittagszeit führt zu dieser Reduktion der direkten Einstrahlung auf die Südfassade. Erwartungsgemäß tritt die stärkste Sonneneinstrahlung auf die Dachfläche auf. Praktische Bedeutung hat dies z.B. bei der Anwendung von - ohnehin schwer zu verschattenden – Lichtkuppeln.

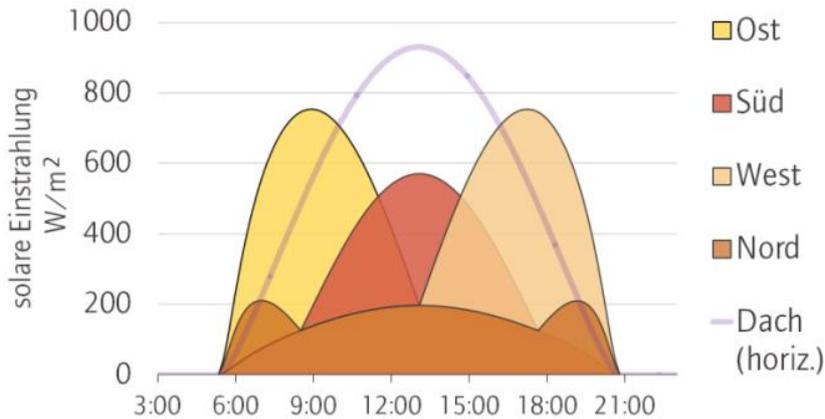


Abbildung 19: Solarer Eintrag pro Quadratmeter, Tagesverlauf, Graz, 15. Juli klarer Himmel

Auf der Nordfassade zeigt sich direkte Einstrahlung nur in den Morgen- und Abendstunden, deshalb treten hier keine hohen Spitzenleistungen auf. Infolge der über den gesamten Tag anhaltenden diffusen Einstrahlung ergibt sich aber auch auf der Nordseite ein nicht zu vernachlässigender Gesamtwärmeeintrag. Dies bedeutet, dass jedenfalls auch nordseitige Fensterflächen beschattet werden müssen. Als Folge der relativ konstanten Strahlungsleistung über den gesamten Tagesverlauf eignen sich diese Fenster andererseits auch gut für eine gleichmäßige Tageslichtbeleuchtung. Zu beachten ist, dass die Einstrahlungsleistung in Abbildung 19 für einen klaren Tag berechnet wurde. Abhängig vom Grad der Bewölkung nimmt die absolute Strahlungsleistung ab. Der Diffusanteil, also die «Basisparabel» der Strahlungsleistung, welche allen Himmelsrichtungen gemein ist, nimmt dabei relativ gesehen – bzw. bei leichter Bewölkung sogar absolut – deutlich zu. Dementsprechend gewinnt auch die nordseitige Verschattung noch weiter an Bedeutung. In Mitteleuropa liegt der Anteil der Diffusstrahlung im Jahresmittel bei ca. 50%.

Die jahreszeitliche Verteilung der Strahlung auf die einzelnen Himmelsrichtungen ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, wiederum exemplarisch für den Standort Graz, dargestellt. Wie erwähnt, treten die höchsten Einstrahlungswerte in den Sommermonaten auf den West- und Ostflächen auf. Die südseitige Einstrahlung ist besonders in den Wintermonaten dominant, weshalb sich die Optimierungen bezüglich des Heizenergiebedarfs meist auf diese Fläche konzentrieren. Die nordseitige Einstrahlung wird vielfach unterschätzt – sie übertrifft absolut gesehen in den Sommermonaten sogar jene auf der Südseite in Wintermonaten.

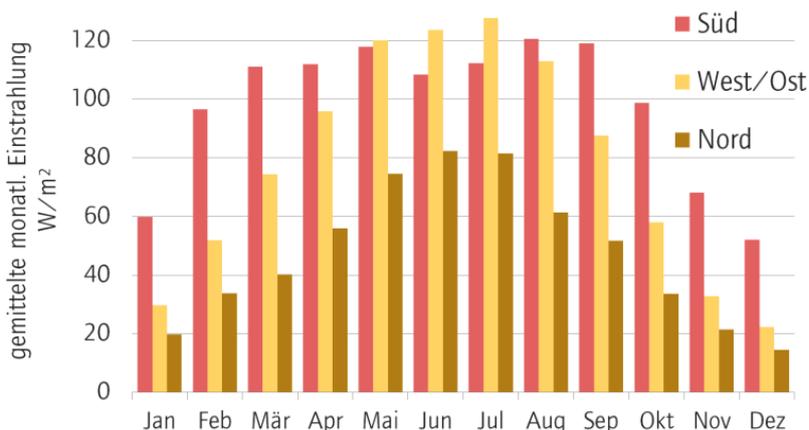


Abbildung 20: mittlere Leistung nach Himmelsrichtungen, Jahresverlauf, Standort Graz (gemäß ÖNORM-Werten)

Fensterflächen und absolute Leistung

Der solare Eintrag ist natürlich direkt proportional von der Fläche der transparenten Bauteile abhängig. Da früher keine Möglichkeit bestand transparente Bauteile mit akzeptablen Dämmwerten auszuführen, waren etwa bei alten Bauernhäusern die Fensterflächenanteile extrem gering. Mit den Fortschritten bei der Isolierglasherstellung setzte ein Trend zur Vergrößerung der Fensterflächen ein, welcher bis heute ungebrochen zu sein scheint. Neben architektonischen Gründen sind auch energetische Aspekte, welche auf eine Nutzung des solaren Eintrags in der Heizperiode abzielen hierfür verantwortlich. Erhöht man jedoch die gewünschten solaren Einträge im Winter, so steigen damit ohne weitere Maßnahmen auch proportional die unerwünschten Einträge im Sommer. Quantitativ sind diese sommerlichen Einträge auf Grund des anderen Sonnenstandes jedoch circa dreimal so groß. Diese Problematik wird oft zu wenig beachtet, gewinnt aber – auch im Zuge des Klimawandels – immer mehr an Brisanz.

Ohne nähere Ausführung soll erwähnt werden, dass eine einfache Abschätzung der «Heizleistungen» einer Fensterfläche mit üblicher Verglasung erfolgen kann, wenn die solare Einstrahlung, wie in Abbildung 19 und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt, mit dem Faktor 0,5 multipliziert wird. Aus dieser einfachen Betrachtung wird schnell ersichtlich, dass beispielsweise ein 4m² großes, unbeschattetes Fenster im Sommer tagsüber schnell die Leistung eines 1000 W Heizstrahlers erreichen kann – es leuchtet ein, dass effektive Beschattung deshalb unerlässlich ist.

Beschattung

Vielfach vernachlässigt stellt funktionelle Beschattung eine äußerst wichtige Komponente moderner Gebäude dar. Sie hat eine komplexe Mehrfachanforderung zu bewältigen, da sie neben der Energielenkung auch Anforderungen betreffend Tageslichtlenkung, Blendschutz und Sichtkontakt nach außen zu erfüllen hat. In Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz sind auch diese weiteren Aspekte relevant, da sie für die tatsächliche Nutzung – oder Nichtnutzung - des Sonnenschutzes ebenso entscheidend sind. Hier liegt noch einiges an Optimierungspotential. Es gilt, die zum Teil entgegenlaufenden Anforderungen an die Beschattung entsprechend zu bewerten und je nach Einsatz Lösungen zu entwickeln, welche in der Lage sind die einzelnen Anforderungen bestmöglich abzudecken.

Betreffend dem Nutzerverhalten ist auch zu erwähnen, dass auf Grund der – im Vergleich zu früher – deutlich gestiegenen Abwesenheitszeiten in Wohnbauten der Einsatz von automatischen Anlagen zur Beschattung äußerst sinnvoll ist. Meist können nur derartige Systeme für die notwendige Konsequenz bei der Anwendung sorgen.

An dieser Stelle sei auch darauf hingewiesen, dass Innenbeschattung betreffend des sommerlichen Wärmeschutzes weitgehend unwirksam ist. Entsprechend dem vielzitierten Treibhauseffekt muss die kurzwellige Strahlung der Sonne jedenfalls vor der Glasfläche gestoppt werden. Erreicht die kurzwellige Strahlung Oberflächen im Innenraum, so kann die von den so erwärmten Oberflächen abgegebene Wärme kaum mehr nach außen gelangen, weder durch die reflektierte – und dann vorwiegend langwellige – Strahlung, noch durch die dabei erwärmte Luft.

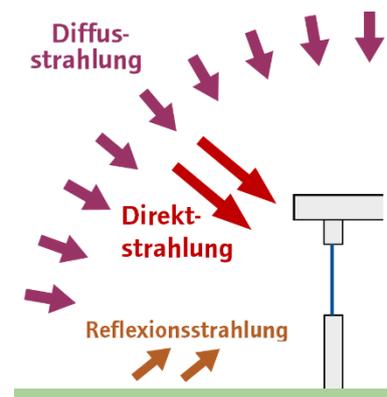


Abbildung 21: Komponenten der Solarstrahlung

3.5. Zusammenfassung – Handlungsempfehlungen

Überwärmungsproblematiken sind auf dem Vormarsch. Die Gründe hierfür sind in modernen Bauweisen mit hohen Glasanteilen, geänderten Nutzungsgewohnheiten und Komfortansprüchen, sowie in den bereits jetzt eintretenden Auswirkungen des Klimawandels in Form von steigenden Temperaturmittelwerte und ausgedehnteren Hitzeperioden zu suchen. Sommerlicher Wärmeschutz ohne energieintensive mechanische Kühlung ist möglich, wenn die hierbei relevanten Themen bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden. Die speicherwirksame Masse spielt hierbei eine wichtige Rolle, jedoch nicht die dominante.

Einige wichtige Handlungsempfehlungen im Überblick:

- Funktionelle Beschattung anwenden: Diese soll zum einen Hitzeschutz gewährleisten, zum anderen aber den Kontakt nach außen und die für die Nutzung erforderliche Tageslichtbeleuchtung ermöglichen. In der Heizperiode kann variable Beschattung tagsüber Wärmeeintrag gestatten und nachts die Abstrahlung reduzieren. Alle transparenten Flächen sollten daher möglichst mit, an die Orientierung angepassten, automatischen Steuerungen versehen werden. Je größer die Fensterfläche, desto effizienter muss der Hitzeschutz sein.
- Die wirksamen Speichermassen an die vorhandenen Möglichkeiten kühlungswirksamer Nachtlüftung anpassen: Bei der Konzeption der speicherwirksamen Masse berücksichtigen, dass im Tagesgang nur oberflächennahe Schichten aktiviert werden können. In speziellen Fällen, wenn eine Überwärmung tagsüber kaum vermeidbar ist, kann sogar eine Reduktion der Speichermasse zu angenehmeren Schlaftemperaturen führen.
- Nachtlüftungspotenziale nutzen: Geeignete Zu- und Abluftöffnungen vorsehen. Optimierter Schlagregen- und Einbruchschutz soll dafür sorgen, dass diese auch tatsächlich genutzt werden. Auch hier kann eine Automatisierung vorteilhaft sein. Den thermischen Auftrieb in den Entwurf miteinbeziehen, etwa durch hohe Fenster oder mittels Grundrissen welche Luftaustausch über zwei oder mehrere Geschoße gestatten. Thermischer Auftrieb führt auch dazu, dass die Temperaturen in den oberen Geschoßen höher sind. Schlafzimmer sollten daher bei Überwärmungsgefahr nicht in den oberen Geschoßen angeordnet werden.
- Raumplanerische Maßnahmen und Umfeldgestaltung nutzen: Besonders im städtischen Bereich sollte möglichst die Verdunstungskälte und Beschattung durch Begrünung in die Maßnahmen mit einbezogen werden. Durch geeignete Wahl von Farbe und/oder Material der Oberflächen im Aussenbereich lässt sich das Aufheizen der Umgebung stark reduzieren.

Wenn Wirtschaft und Industrie innovative Produkte anbieten - Architekten, Planer, Ausführer und Investoren die vorhandenen Potenziale intelligent nutzen, können auch unter den herausfordernden Bedingungen des Klimawandels komfortable, gesunde und produktive Gebäude geschaffen werden, ohne selbst Teil des Problems zu sein. Heben wir diese Potenziale!