



## SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ – EIN HEISSES THEMA

Mit den aktuell geltenden Dämmstandards der Gebäudehüllen ist der winterliche Kälteschutz bzw. die thermische Behaglichkeit in der kalten Jahreszeit für die Bewohner von Neubauten und energetisch modernisierten Wohnräumen meist vollumfänglich erfüllt. Jedoch beklagen sich die Bewohner vermehrt über die unangenehm hohen Innentemperaturen im Sommer, speziell bei länger andauernden Hitzeperioden.

Zur Problemlösung informieren sich Bauherren vor der anstehenden energetischen Modernisierung umfassend, zum Beispiel via Internet, und legen zusätzlich grossen Wert auf die Beratung durch den Baupraktiker, namentlich den Spezialisten der Gebäudehülle.

Das vorliegende Merkblatt soll mithelfen, den Informationsstand des Bauherrn mit dem Wissensstand des Spezialisten der Gebäudehülle zu harmonisieren.

### Inhalt

1 Ausgangslage und Rahmenbedingungen	3
2 Einflussfaktoren zur Innenraumtemperatur	4
3 Baupraktische Umsetzung	7
4 Risikobeurteilung und Planungsschritte	9
5 Zusammenfassung	10

# 1 AUSGANGSLAGE UND RAHMENBEDINGUNGEN

## 1 Ausgangslage und Rahmenbedingungen

Das allgemeine Komfortbedürfnis unserer Gesellschaft, die klimatischen Bedingungen und die Bauweise, wie z. B. der Glasanteil in der Gebäudehülle, haben sich in den vergangenen Jahren laufend verändert, der bautechnische Nachweis und die technischen Massnahmen zur Gewährleistung von angenehmen Innenraumtemperaturen jedoch nicht.

### Klimatische Rahmenbedingungen

Meteorologische Messungen in der Schweiz bestätigen es: Im Vergleich 1961–1990 weisen die Jahre ab 1980 allesamt erhöhte sommerliche Durchschnittstemperaturen auf. 2003 betrug die Erhöhung gar 4,8 °C, und die Hitzesommer 2003 und 2006 bleiben unvergessen. Der OcCC-Bericht\* «Klimaänderung und die Schweiz 2050» bezeichnet «die zukünftig vermehrt zu erwartenden Hitzewellen als wichtigste klimabedingte Gefahr für die Gesundheit» und empfiehlt eine angepasste Bauweise und Städteplanung.

\*) OcCC: von EDI/UVEK eingesetztes «beratendes Organ für Klimaänderung»

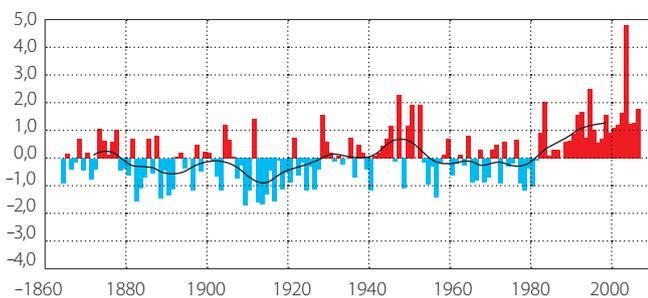


Abb. 1: Mittlere Abweichung der Sommertemperaturen in der Schweiz 1864–2007 von der WMO-Norm 1961–1990; Rot: wärmere Jahre als der Ø von 1961–1990. Blau: kühlerer als Ø 1961–1990. (Quelle: MeteoSchweiz)

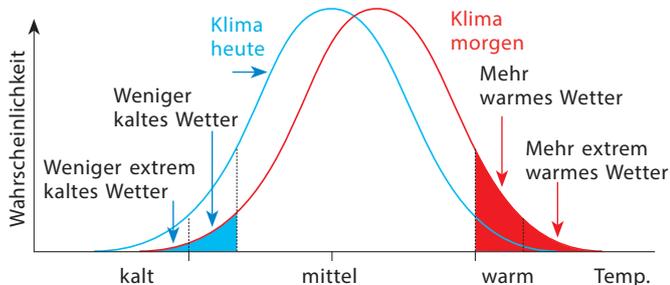


Abb. 2: Einfluss der Klimaänderung auf die Häufigkeit von Temperatur-extremen; extrem heisses Wetter wird viel häufiger – extrem kaltes viel seltener. (Quelle: OcCC-Bericht, Sept. 2003)

### Technische Rahmenbedingungen

Nachweisverfahren und Beurteilungen des Sommerlichen Wärmeschutzes basieren primär auf der Annahme, dass maximal mit drei aufeinanderfolgenden Hitzetagen zu rechnen ist. Die Sommer 2003 und 2006 wiesen jedoch elf bzw. zehn Hitzetage in Folge auf. Diesem Umstand bzw. der Veränderung der äusseren Einflüsse muss in der Planung Rechnung getragen werden.

Die SIA 180 sowie die EN 15251 legen aufgrund von statistischen Feldversuchen fest, wo sich die Komfortgrenze für den Bewohner von exponierten Räumen bewegt.

Auch bei der Baueingabe (MuKE n, www.endk.ch) ist der Planer verpflichtet, den Sommerlichen Wärmeschutz nachzuweisen. Ebenfalls beim Antrag zur MINERGIE®-Zertifizierung (www.minergie.ch) ist der Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes erforderlich.

Kat.	Beschreibung	Erwarteter Anteil Unzufriedener PPD (PPD ist die Abkürzung und die Übersetzung von «erwarteter Teil Unzufriedener»)	Toleranzbereich
A	Hohe Erwartungen an das Raumklima, empfohlen für Räume mit gesundheitlich anfälligen Personen, solchen mit Behinderungen, Älteren und Kranken sowie sehr kleinen Kindern	<6%	23,5–25,5 °C
B	Normales Mass an Erwartungen an das Raumklima, empfohlen für neue und modernisierte Gebäude	<10%	23,0–26,0 °C
C	Annehmbares, moderates Mass an Erwartungen an das Raumklima: Anwendung bei bestehenden Gebäuden	<15%	22,0–27,0 °C

Abb. 3: Zulässige Raumtemperaturbereiche im Sommer für 1,2 met und 0,5 clo nach EN 15251. (Quelle: Norm SIA 180)

## 2 RELEVANTE EINFLUSSFAKTOREN ZUR INNENRAUMTEMPERATUR

### 2 Einflussfaktoren zur Innenraumtemperatur

Die Innenraumtemperatur wird durch interne und externe Wärmelasten bestimmt. Haushaltsgeräte und Bewohner verursachen die internen Wärmelasten, die Sonnenenergie bestimmt primär die externe Wärmelast. Daraus folgen zwei relevante Steuerungsmechanismen hinsichtlich Planung und Betrieb: Minimieren und Abführen.

#### Minimieren der Wärmelasten

Durch den geplanten Sonnenschutz, angepasste Fenstergrößen sowie den Einsatz und Betrieb effizienter Geräte und Beleuchtungen.

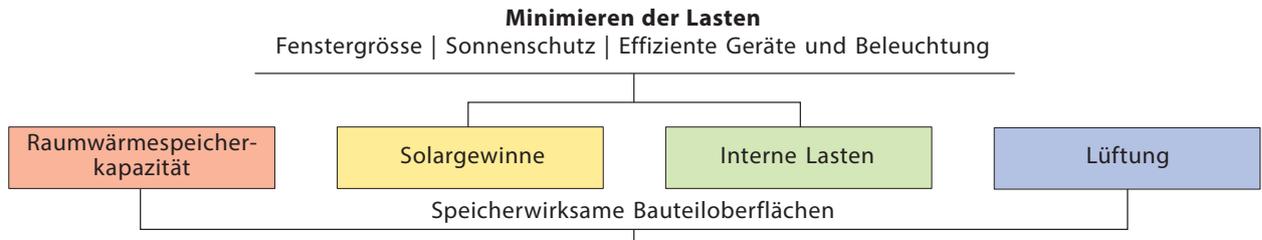
#### Abführen der anfallenden Wärmelasten

Speicherwirksame Bauteiloberflächen, z. B. Fliesen, Zementunterlagsböden oder Gipsbauplattenbeplankungen, können

kurzfristig Wärme aufnehmen (speichern) und dämpfen dadurch die Spitzentemperatur im Rauminnern. Die Raumspeicher müssen in der Nacht durch eine konsequente Fensterlüftung entleert werden, damit sie am folgenden Hitzetag wiederum in der Lage sind, Wärme aufzunehmen. Vier Einflussgrößen wirken sich auf die Innentemperatur aus:

- Interne Lasten
- Externe Lasten
- Innere Raumspeicherkapazität
- Tag- bzw. Nachtlüftung.

In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Einflussfaktoren, deren Relevanz sowie das Beeinflussungspotenzial durch Planer und Bewohner ersichtlich.



#### Abführen der Lasten

Fensterlüftung (Lüftungsflügel, Querlüftung) | Mechanische Lüftungsanlagen | Free Cooling (Nutzung natürlicher Umgebungskälte)

Massnahme	Einflussfaktor	Relevanz	Beeinflussungspotenzial		Grundsätze für Planung und Betrieb
			Planer	Bewohner/ Nutzer	
Minimieren des solaren Wärmeeintrages	Glasanteil	sehr hoch	hoch		Glasanteil klein halten, nicht grösser wählen als für die Raumnutzung angemessen.
	Fensterausrichtung	sehr hoch	hoch		Horizontale, süd-, ost- und westexponierte Fensterflächen (in dieser Reihenfolge) wirken kritisch auf die Innenraumtemperatur im Sommer.
	Sonnenschutz	sehr hoch	sehr hoch	sehr hoch	Beschattung aussenliegend, tiefe g-Werte (Gesamtenergiedurchlassgrad) für Verglasung/Sonnenschutz. Korrekt bediente oder automatisierte Sonnenschutz-einrichtungen.
	Dämmstandard der Bauteile	sehr hoch	sehr hoch		Je tiefer der Wärmedurchgangskoeffizient U und U 24, desto besser.
Maximierung der Nachtauskühlung	Lüftungsart	sehr hoch	hoch	sehr hoch	Querlüftung über Dachfenster- und Fensteröffnungen ist am effizientesten.
	Fenstergeometrie	mittel	hoch		Bei gleicher Fensterfläche sind hohe Fensterflügel wirksamer als breite.
Minimierung der internen Wärmelasten	Personenbelegung	mittel	mittel		Je kleiner die Personenbelegung im Raum, desto günstiger und geringer die internen Lasten.
	Technische Geräte	hoch	mittel	hoch	Effiziente Geräte und Beleuchtung halten die inneren Wärmelasten tief.
Maximierung der Raumspeicherkapazität	Bauteile	hoch	sehr hoch		Innen freiliegende massive Bauteile und Zementunterlagsböden erhöhen die Speicherkapazität.
	Bauteiloberflächen	hoch	hoch		Beplankungsmaterialien mit hohen Wärmespeicherkapazitäten wie Gipsbauplatten bevorzugen.
	Einbauten/Verkleidungen	mittel	hoch	mittel	Abgehängte Decken, Teppiche, Akustikmassnahmen reduzieren die Wärmespeicherfähigkeit.

Abb. 4: Minimieren und Abführen von Wärmelasten.

## 2 RELEVANTE EINFLUSSFAKTOREN ZUR INNENRAUMTEMPERATUR

Aus den aufgezeigten Einflussfaktoren und den Einflussmöglichkeiten wird klar, dass eine reine Bauteilbetrachtung, das heisst Amplitudendämpfung und Phasenverschiebung, für die Qualifizierung des Sommerlichen Wärmeschutzes sinnlos ist und nicht zum Ziel der angestrebten Behaglichkeit führt. Der Dämmstandard (U-Wert) der opaken Gebäudehülle ist heute so gut, dass durch die Bauteile keine massgebenden Wärmelasten mehr in den Raum gelangen, aber auch keine Auskühlung möglich ist. Weil die U-Werte heute so tief sind, dass damit die Innenraumtemperatur nicht mehr beeinflusst werden kann, bleibt bauteilbezogen einzig noch die innere Wärmespeicherfähigkeit ( $\kappa$ ) als entscheidender Bauteilkennwert.

Eine seriöse Beurteilung bezüglich Innenraumklima im Sommer muss zwingend über eine umfassende Raumbetrachtung erfolgen.

Am Beispiel eines Dachraumes mit 20 m<sup>2</sup> Bodenfläche, in einem gegen Süden ausgerichteten Steildach, wird im Folgen-

den der Einfluss je dreier unterschiedlicher Beschattungsmassnahmen und Nachtlüftungsszenarien aufgezeigt (Abb. 5 bis 8).

Die Relevanz des Sonnenschutzes ist sehr hoch und kann durch den Planer, Unternehmer und den Bewohner erheblich beeinflusst werden.

Die Entwicklung der Rauminnentemperaturen ist komplex. Bauten, welche die Anforderungen von MuKEN 2008 oder MINERGIE® erfüllen, erreichen mit grösster Wahrscheinlichkeit die Anforderungen des Sommerlichen Wärmeschutzes, wenn bei Standardnutzung eine effiziente Beschattung und optimale Nachtlüftung gewährleistet ist.

Auch die Wahl der inneren Beplankung hat einen grossen Einfluss auf die Raumtemperatur. Die Materialisierung der ersten paar Zentimeter der inneren Bauteilflächen beeinflusst die Innentemperatur in hohem Masse.

Ein keramischer Bodenbelag leistet einen deutlich höheren Beitrag zur Raumwärmespeicherkapazität als ein Teppichboden.

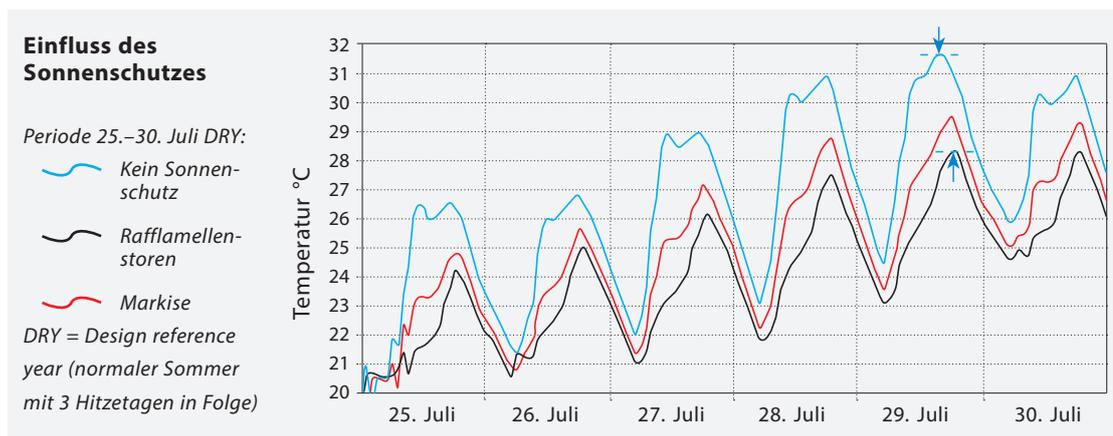


Abb. 5: Das Diagramm zeigt die Innenraumtemperaturverläufe in Abhängigkeit unterschiedlicher Beschattungsmassnahmen (kein Sonnenschutz – Markise aussen – Rafflamellenstoren). Schon moderate Fenstergrössen (20% der Bodenfläche, ostexponiert) bewirken Temperaturdifferenzen bis 3,5 °C. Grössere, südexponierte oder Dachflächenfenster ergeben noch viel deutlichere Unterschiede. (Quelle: Empa Bericht Nr.444'383d)

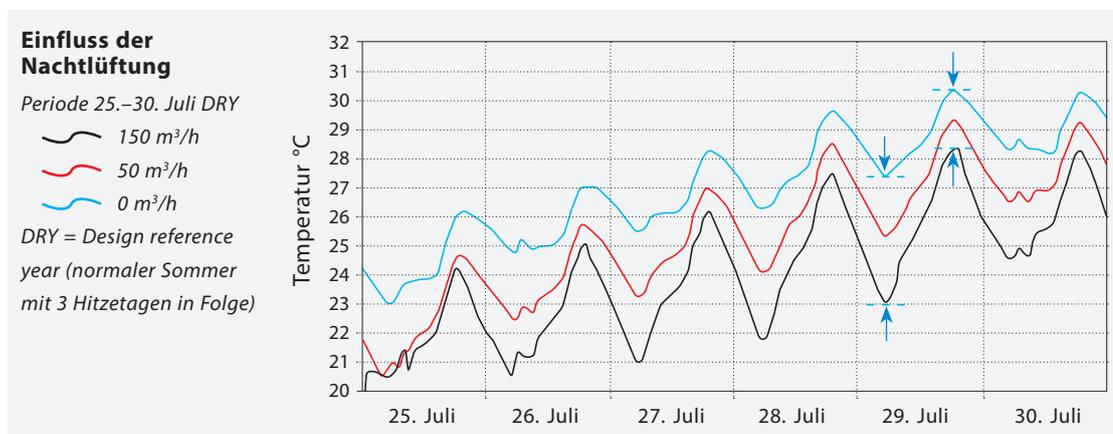


Abb. 6: Das Diagramm zeigt die Innenraumtemperaturverläufe in Abhängigkeit unterschiedlicher Nachtlüftungsszenarien (kein Luftwechsel, einfacher sowie dreifacher Luftwechsel pro Stunde). Wie die Temperaturverläufe schwarz und blau (3-facher und kein Luftwechsel) zeigen, betragen die Temperaturunterschiede nachts bis zu 4,5 °C und am Tag bis 2 °C (siehe Pfeile). (Quelle: Empa Bericht Nr.444'383d)

## 2 RELEVANTE EINFLUSSFAKTOREN ZUR INNENRAUMTEMPERATUR

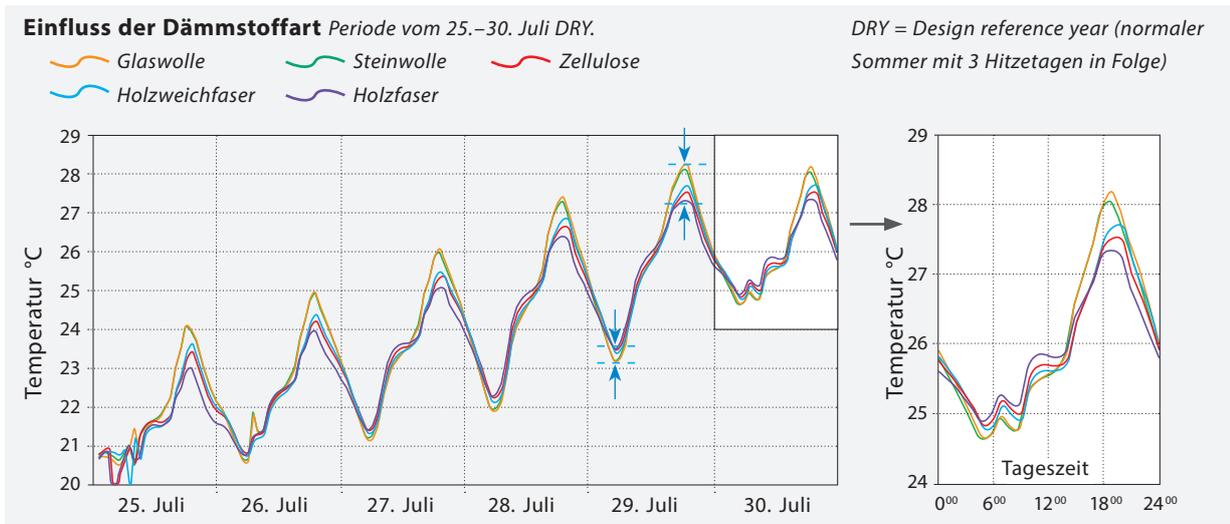


Abb. 7: Wie die sehr nahe beieinanderliegenden Temperaturkurven zeigen, ist die Wahl der Dämmstoffart unbedeutend. (Quelle: Empa Bericht Nr.444'383d)

Abb. 8: Temperaturkurven innerhalb des 24-h-Tagesablaufs am 30. Juli DRY.

### Weniger wichtige und vermeintliche Einflussfaktoren

Es gibt aber auch weniger wichtige und vermeintliche Einflussfaktoren.

Der konstruktive Aufbau bzw. die Materialwahl eines Steildachaufbaus ist, entgegengesetzt der landläufigen Meinung, kaum relevant hinsichtlich Rauminnentemperaturen, abgesehen von der Materialisierung der inneren Raumbofläche. Die Fenstergrösse verliert bei optimaler Beschattung an Bedeutung.

Der Unterschied einer schweren Holzfaserplatte (150 kg/m<sup>3</sup>, violette Kurve) zu einer leichten Glaswolle (20 kg/m<sup>3</sup>, gelbe Kurve) verändert die reale Innenraumtemperatur in unserem Dachraum maximal um 1 °C (siehe Abb. 7).

Die Wahl des Dämmstoffes ist somit unbedeutend (Aussage aus EMPA-Bericht).

### Weitere Beispiele von vorhandenen, aber aktuell nicht quantifizierbaren Einflussfaktoren

#### • Farbwahl bei der Dacheindeckung

Die Farbe der Dacheindeckung beeinflusst den Reflexions- und Transmissionsanteil der Strahlung. Eine dunkle Eindeckung bewirkt höhere äussere Oberflächentemperaturen auf der Eindeckung als eine helle Eindeckung. Die Auswirkung der Farbe auf die Innenraumtemperatur kann zurzeit nicht nachgewiesen werden.

#### • Höhe des Hinterlüftungsraumes im Steildach (Konterlatung)

Die Höhe des Hinterlüftungshohlraumes wird in der Norm SIA 180 (1999) im Artikel 5.1.5.2 wie folgt beschrieben: «Unter der obersten Dachschicht muss ein genügend belüfteter Hohlraum vorgesehen werden, damit die Sonnenwärme abgeführt werden kann.» Zusätzlich sind die Dimensionierungen der Durchlüftungsräume in der Norm SIA 232/1 beschrieben. Eine detaillierte Analyse der EMPA, deren Erkenntnis im Bericht Nr. 452'731d aufgeführt ist, zeigt, dass die Höhe der Hinterlüftung ein Einflussfaktor

ist, dessen Auswirkung auf die Innenraumtemperatur zur Zeit aber nicht vollumfänglich bekannt ist und nach heutigem Wissensstand nicht den relevanten Einflussfaktoren zugewiesen werden kann.

#### • Tiefer werdende U-Werte

Der Trend der immer tiefer werdenden U-Werte reduziert automatisch den Einfluss der Hinterlüftung im Sommerlichen Wärmeschutz. Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto geringer ist die sommerliche Hitzebelastung für die Bewohner.

#### • Bauphysikalische Vorgänge

Bei anderen bauphysikalischen Vorgängen, namentlich bei der Dampfdiffusion und der Wärmestrahlung bei Solarmodulen (integrierte PV-Anlagen), spielt der Hinterlüftungshohlraum im Steildach jedoch eine bedeutende Rolle. Aus praktischen Erfahrungen weiss man, dass die Rückseite von Solarelementen (integrierte PV-Anlagen) Temperaturen von über 70 °C aufweisen können. Ist in diesem Falle der Hinterlüftungsraum zu gering dimensioniert, besteht die Gefahr, dass Materialien aus Kunststoff degradiert bzw. zerstört und somit in ihrer Funktionsfähigkeit erheblich eingeschränkt werden.

**Insgesamt ist dem Hinterlüftungshohlraum bezüglich Bautechnik und Bauphysik eine grosse Wichtigkeit beizumessen.**

### Die Wahl des Unterdachmaterials

Wie bei der Farbwahl der Dacheindeckung hängt der Reflexions- und Transmissionsanteil der Strahlung von der Wahl des Unterdachmaterials ab. Nur ist es auch in diesem Fall so, dass die Auswirkung des Unterdaches auf die Innenraumtemperatur zurzeit nicht nachgewiesen werden kann.

### 3 BAUPRAKTISCHE UMSETZUNG IN BERATUNG, PLANUNG UND BETRIEB

#### 3 Baupraktische Umsetzung in Beratung, Planung und Betrieb

Die moderne Bauweise mit hoch wärmegeprägten Gebäudehüllen in Kombination mit dem architektonischen Trend zu immer grösseren Verglasungsflächen erfordert minimierte Wärmelasten im Raum sowie gezielte Lüftungsmassnahmen, um diese nachts abzuführen. Guter Sommerlicher Wärmeschutz wird durch die Berücksichtigung der Planungsgrundsätze (Abb. 9) erreicht, eine einfache Risikoabschätzung erfolgt via Planungsschritte (Seite 8).

Im Wissen um die Relevanz der Einflussfaktoren, namentlich der Beschattung und der Nachtlüftung, kann der Spezialist der Gebäudehülle den Bauherren zielführend zum Thema «Sommerlicher Wärmeschutz» beraten.

Die Beschattung der Dachflächenfenster sowie die Nachtlüftung durch die Bewohner und die internen Lasten machen ca. 62 % der Wichtigkeit des Sommerlichen Wärmeschutzes aus. Das heisst, dass der Bewohner den grössten Einfluss auf seinen eigenen Komfort hat, wenn er die Fenster von aussen beschattet, in der Nacht systematisch lüftet, die Fenster während des Tages geschlossen hält und auf die Effizienz der Haushaltsgeräte und der Beleuchtung achtet.

Der grösste Effekt bei der Nachtlüftung kann durch zwei komplett geöffnete, gegenüberliegende Fenster erzielt werden. Der geringste Lüftungseffekt stellt sich beim gekippten Fenster ein, wenn die Rollläden geschlossen sind. Die Luftwechselraten in Abhängigkeit der Lüftungsart finden Sie in der nachstehenden Übersicht (Abb. 10).

Der grösste Einflussfaktor, nämlich die Beschattung, ist praktisch nur wirksam, wenn die Beschattung auf der Fenster-

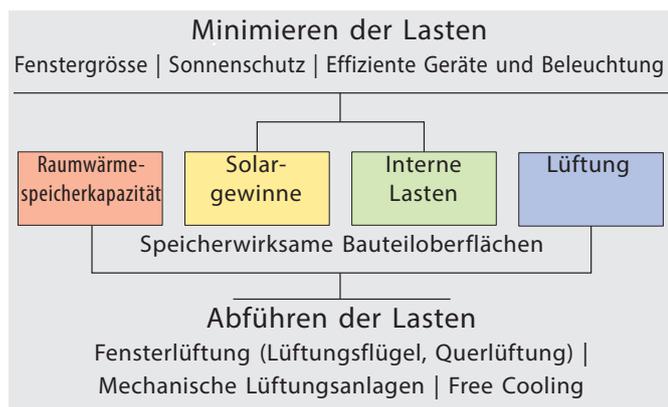


Abb. 9: Planungsgrundsätze (Minimieren und Abführen der Lasten) und die vier Einflussgrössen.

Fenster gekippt, Rollläden zu 0,3–1,5 Luftwechsel/Stunde	
Fenster gekippt, kein Rollladen 0,8–4 Luftwechsel/Stunde	
Fenster halb offen 5–10 Luftwechsel/Stunde	
Fenster ganz offen 9–15 Luftwechsel/Stunde	
Zwei gegenüberliegende Fenster ganz offen ca. 40 Luftwechsel/Stunde	

Abb. 10: Varianten der Fensterlüftung und ihre Effizienz, gemessen an der Anzahl Luftwechsel pro Stunde.

aussenseite angebracht wird. Der grösste Teil der Strahlungsenergie wird durch Rafflamellenstoren reflektiert. Ein weiterer Teil der Energie wird durch das Glas reflektiert und nur noch eine geringe Menge wird via Transmission nach innen geleitet.

Eine Beschattung auf der Fensterinnenseite ist besser als keine Beschattung, ist aber um ein Vielfaches weniger wirksam als die oben beschriebene Beschattung der Fensteraussenseite.

Nicht nur die Beschattung hat einen Einfluss auf die Lichttransmission, sondern auch der Glastype selbst. In der oben-

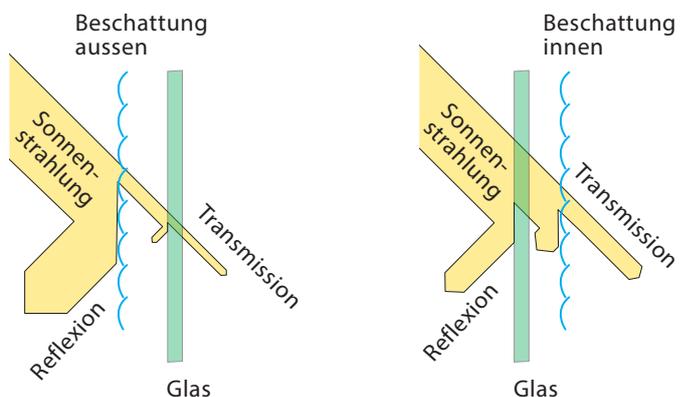


Abb. 11: Beschattung durch Rafflamellenstore.

## 3 BAUPRAKTISCHE UMSETZUNG IN BERATUNG, PLANUNG UND BETRIEB

Solare Kennwerte typischer Verglasungen mit Sonnenschutz					
Verglasung	Sonnenschutz	Farbe	Solarer Transmissionsgrad des Sonnenschutzes $\tau_{e,B}$	Lichttransmissionsgrad $\tau_v$	Gesamtenergiedurchlassgrad $g$
2-fach-Glas normal	aussen	pastell	0,1	0,09	0,13
2-fach-Glas normal	innen	hell	0,1	0,09	0,37
2-fach-Wärmeschutzglas	aussen	pastell	0,1	0,08	0,09
2-fach-Wärmeschutzglas	innen	hell	0,2	0,16	0,40
2-fach-Kombiglas 73/41	innen	hell	0,2	0,15	0,32
2-fach-Kombiglas 50/24	innen	hell	0,2	0,11	0,23
3-fach-Glas normal	aussen	pastell	0,1	0,08	0,11
3-fach-Glas normal	innen	hell	0,1	0,09	0,37
3-fach-Wärmeschutzglas	aussen	pastell	0,1	0,07	0,07
3-fach-Wärmeschutzglas	innen	pastell	0,2	0,15	0,40
3-fach-Wärmeschutzglas	innen	hell	0,2	0,15	0,36

Abb. 12: Verglasung und Sonnenschutz haben einen erheblichen Einfluss auf die solaren Wärmelasten. (Quelle: Norm SIA 382/1)

stehenden Tabelle können Sie die solaren Kennwerte von typischen Verglasungen mit Sonnenschutz entnehmen. Die Einflussgrössen Raumspeicherkapazität und Fenstergrösse weisen ca. 32% der Wichtigkeit auf, können aber häufig im Modernisierungsfall nur bedingt korrigiert werden und bewegen sich somit ausserhalb der bautechnischen Manövriermasse.

Der Unternehmer kann einen Wertbeitrag von 5% oder 34% zum Sommerlichen Wärmeschutz leisten, indem er darauf achtet, dass der energetisch zu modernisierende Dachstock einen U-Wert  $\leq 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  erreicht (5%) und garantiert, dass die Dachflächenfenster mit einer äusseren Beschattung (29%) versehen werden.

Zusammenfassend kann aufgrund Abbildung 13 grundsätzlich gesagt werden, dass die aussenliegende Beschattung, gefolgt von der Raumspeicherkapazität und der Nachtlüftung, den grössten Einfluss auf die Innenraumtemperatur im Sommer hat.

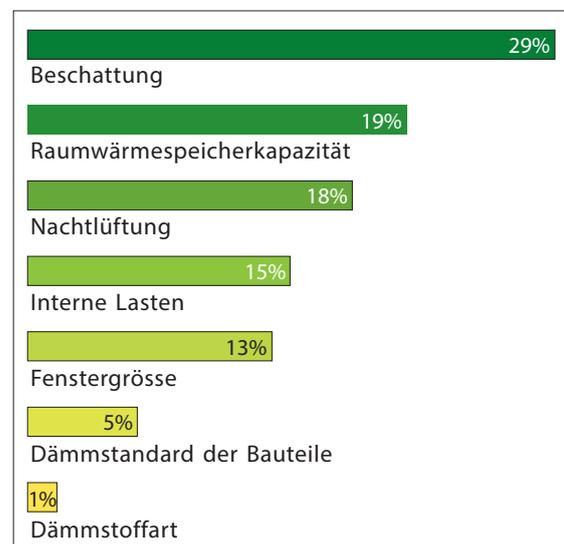


Abb. 13: Prozentualer Anteil der Faktoren am Einflusspotenzial.

## 4 RISIKOBEURTEILUNG UND PLANUNGSSCHRITTE

### 4 Risikobeurteilung und Planungsschritte

Um das Überhitzungsrisiko eines Raumes im Sommer abschätzen zu können, hat die EMPA eine einfache Methode einer rechnerischen Überprüfung entwickelt. In sechs Planungsschritten kann anhand der Berechnungen eine Qualifizierung des Sommerlichen Wärmeschutzes vorgenommen werden:

Schritt 1: Solare Lasten abschätzen

Schritt 2: Interne Wärmelasten abschätzen

Schritt 3: Gesamte Wärmelast bestimmen

Schritt 4: Raumwärmespeicherkapazität bestimmen

Schritt 5: Lüftungsmanagement festlegen

Schritt 6: Risikobeurteilung vornehmen

#### Schritt 1

##### Solare Lasten ( $Q_s/A_{NGF}$ ) abschätzen

- Dachflächenfenster:

$$\text{Fläche} \cdot \text{Solarstrahlung} \cdot g\text{-Wert/Bodenfläche} = 2 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 7000 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} \cdot 0,09 : 25 \text{ [m}^2\text{]} = 50 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$$

- Fenster Westseite:

$$\text{Fläche} \cdot \text{Solarstrahlung} \cdot g\text{-Wert/Bodenfläche} = 1,2 \text{ [m}^2\text{]} \cdot 4000 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} \cdot 0,13 : 25 \text{ [m}^2\text{]} = 25 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$$

#### Schritt 2

##### Interne Wärmelasten ( $Q_i/A_{NGF}$ ) abschätzen

Mittlere interne Last im Wohnungsbau = 180 [Wh/(m<sup>2</sup> d)]

#### Schritt 3

##### Gesamte Wärmelast ( $Q_{tot}/A_{NGF}$ ) bestimmen

$$50 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} + 25 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} + 180 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} = 255 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$$

#### Schritt 4

##### Raumwärmespeicherkapazität ( $Q_R/A_{NGF}$ ) bestimmen

- Steildach:** Fläche · Wärmespeicherfähigkeit = 26 [m<sup>2</sup>] · 5 [Wh/(m<sup>2</sup> K)] = 130 [Wh/K]
- Aussenwände:** Fläche · Wärmespeicherfähigkeit = 20,1 [m<sup>2</sup>] · 9 [Wh/(m<sup>2</sup> K)] = 181 [Wh/K]
- Innenwände:** Fläche · Wärmespeicherfähigkeit = 30,2 [m<sup>2</sup>] · 5 [Wh/(m<sup>2</sup> K)] = 151 [Wh/K]
- Deckenkonstruktion:** Fläche · Wärmespeicherfähigkeit = 25 [m<sup>2</sup>] · 36 [Wh/(m<sup>2</sup> K)] = 900 [Wh/K]
- Türe:** Fläche · Wärmespeicherfähigkeit = 1,8 [m<sup>2</sup>] · 4 [Wh/(m<sup>2</sup> K)] = 7,2 [Wh/K]
- Raumwärmespeicherkapazitäten:**

$$Q_{R \text{ tot}} = 1369 \text{ [Wh/K]}$$

$$C_{R/A_{NGF}} = 1369 \text{ [Wh/K]} / 25 \text{ [m}^2\text{]} = 55 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]}$$

#### Schritt 5

##### Lüftungsmassnahmen festlegen

- Ein 3-facher Raumlufwechsel pro Stunde ist dank Fensterlüftung möglich.

#### Schritt 6

##### Risikobeurteilung vornehmen

Abb. 14 erlaubt eine Risikobeurteilung bezüglich der zu erwartenden Innenraumspitzentemperaturen, basierend auf den effektiven Wetterdaten von Zürich-Kloten mit 3 Hitzetagen und 35 °C maximaler Aussentemperatur. Bei Annahme von Raumwärmespeicherkapazität 50 [Wh/(m<sup>2</sup> K)], Gesamtlast 250 [Wh/(m<sup>2</sup> d)] und Nachtlüftung 3 [1/h] resultiert ein akzeptables Innenraumklima (Abb. 14).

Raumwärmespeicherkapazität $C_{R/A_{NGF}}$ [Wh/(m <sup>2</sup> K)]	Lüftungsmassnahmen	Tagessumme der Gesamtlasten $Q_{tot}/A_{NGF} = (Q_s + Q_i)/A_{NGF}$ [Wh/(m <sup>2</sup> d)]		
		150	250	350
50	Keine Nachtlüftung	~29°C $\theta_{i,max}$	~31°C $\theta_{i,max}$	~33°C $\theta_{i,max}$
	Nachtlüftung $n_{LN} \sim 1$ [1/h]	~28°C $\theta_{i,max}$	~29°C $\theta_{i,max}$	~31°C $\theta_{i,max}$
	Nachtlüftung $n_{LN} \sim 3$ [1/h]	~27°C $\theta_{i,max}$	~28°C $\theta_{i,max}$	~29°C $\theta_{i,max}$

■ unzumutbar ■ problematisch ■ Grenzfall ■ akzeptabel ■ gut

Abb. 14: Risikobeurteilung.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

### 5 Zusammenfassung

- **Klima**

Aufgrund der tendenziellen Klimaerwärmung und der sich abzeichnenden Zunahme mehrtägiger Hitzeperioden wird der Sommerliche Wärmeschutz in Zukunft an Bedeutung gewinnen.

- **Thermischer Komfort**

Die thermische Behaglichkeit ist hauptsächlich von folgenden Faktoren abhängig:

- Raumlufttemperatur
- mittl. Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen
- Luftbewegung
- aber auch vom Menschen selbst, seiner Tätigkeit, Bekleidung und seinem physiologischen Zustand.

- **Planung**

Bedingt durch den guten Wärmedämmstandard heutiger Gebäudehüllen und deren luftdichter Bauweise müssen Vorkehrungen getroffen werden, um einerseits die Wärmelasten im Raum so gering wie möglich zu halten und diese aber andererseits auch durch ein gezieltes Lüftungsmanagement nachts wieder abzuführen.

Eine Risikobeurteilung beugt Überraschungen vor; die Planungsschritte «Lasten abschätzen, Raumspeicherkapazität bestimmen und Lüftungsmassnahmen festlegen» erlauben dies auf einfache Art und Weise.

- **Gebäudenutzer**

Neben den baulichen Voraussetzungen spielt auch das Nutzerverhalten eine wichtige Rolle. Im nicht automatisierten Betrieb heisst das: Tagsüber intelligente Bedienung der Sonnenschutzvorrichtungen sowie ein gezieltes Lüften, vor allem nachts. Nicht zu vergessen ist der Einfluss effizienter Geräte und Beleuchtungen sowie Bauteiloberflächen, z. B. Bodenbeläge, abgehängte Decken und Akustikverkleidungen.

- **Sonnenschutz und Lüftung**

Mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm HELIOS lassen sich alle wichtigen Einflussparameter variieren und messen. Es zeigt sich, dass bei moderatem Fensteranteil die Faktoren Sonnenschutz und Nachtlüftung die Innenraumtemperaturen am meisten beeinflussen. Credo: «Wärmelasten im Sommer so gering wie möglich halten und diese nachts durch Lüftungsmassnahmen wieder abführen.»

- **Einflussfaktoren**

Die durchgeführten Simulationen erlauben eine präzise Bewertung des Einflusspotenzials und der gegenseitigen Abhängigkeit der einzelnen Einflussfaktoren – nach Relevanz geordnet, sind das:

- Beschattungsmassnahmen
- Raumwärmespeicherkapazität und Nachtlüftung
- interne Lasten und Fenstergrössen.

Unbedeutend ist die Wahl der Dämmstoffart.

# IMPRESSUM

**Projektleitung**

Christian Röthenmund, Benzenschwil, Technische  
Kommission Energie GEBÄUDEHÜLLE SCHWEIZ  
Hansueli Sahli, Uzwil, Leiter Technik GEBÄUDEHÜLLE SCHWEIZ

**Projektteam/Autoren**

Technische Kommission Energie GEBÄUDEHÜLLE SCHWEIZ

**Titelbild**

Eternit AG, Niederurnen  
Architektur  
Althammer Hochuli Architekten AG, Zürich

**Grafik Detail**

Peter Stoller, Grafitext, Treiten

**Druck**

Cavelti AG Druck und Media, Gossau SG

**Herausgeber**

GEBÄUDEHÜLLE SCHWEIZ  
Verband Schweizer Gebäudehüllen-Unternehmungen  
Technische Kommission Energie  
Lindenstrasse 4  
9240 Uzwil  
T 0041 (0)71 955 70 30  
F 0041 (0)71 955 70 40  
info@gh-schweiz.ch  
www.gh-schweiz.ch

