

MINERGIE-ECO®

Saint-Gobain ISOVER AG ist
Hauptpartner von Minergie-Eco®

Wärmeschutz im Sommer.

Einflussfaktoren, Planungsgrundsätze
und Planungsvorgehen.

2. aktualisierte Auflage



ISOVER
SAINT-GOBAIN

Der Wärmeschutz im Sommer gewinnt an Bedeutung.

Die vorliegende Broschüre ist als praktischer Leitfaden für Planer gedacht, die den Wärmeschutz im Sommer umfassend angehen wollen. Sie behandelt das Thema mit Tiefgang auf Basis der EMPA-Studie «Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen – Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima» und versteht sich als praktischer Leitfaden für Planer.

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 auch die Hitzesommer 2015 und 2018 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/UEVEK eingesetztes «beratendes Organ für Klimaänderung»)

Jahrestemperatur Schweiz 1864 - 2021: Abweichung vom Durchschnitt 1961 - 1990

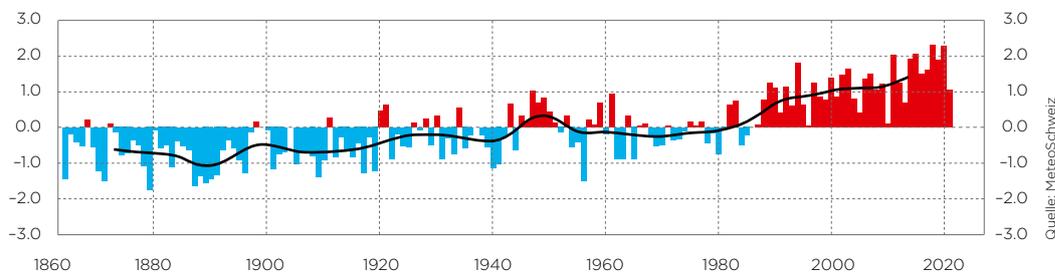


Abb. 1: ■ Jahre über dem Durchschnitt 1961 - 1990 ■ Jahre unter dem Durchschnitt 1961 - 1990
— 20-jähriges gewichtetes Mittel

Einfluss der Klimaänderung auf die Häufigkeit von Temperaturextremen

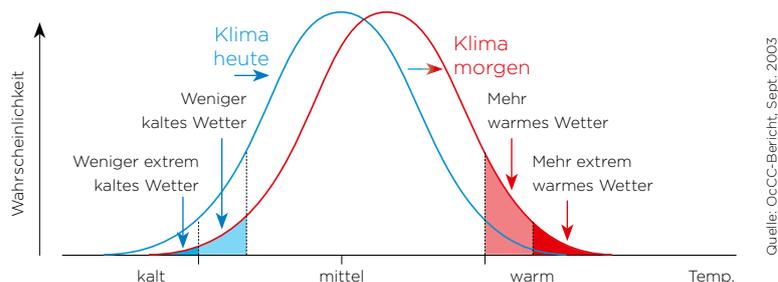


Abb. 2: Extrem heisses Wetter wird viel häufiger - extrem kaltes viel seltener

11 Thermischer Komfort

Die optimale Raumtemperatur im Sommer

ist abhängig von Tätigkeit und Bekleidung, aber auch von Luftfeuchtigkeit und Luftgeschwindigkeit. Abb. 3 aus der SIA-Norm 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» zeigt die Temperaturtoleranzen, innerhalb welcher «90% der sich im Raum befindlichen Personen mit dem thermischen Komfort zufrieden sind». Eine differenzierte Abstufung der Komfortanforderungen zeigt Abb. 4 aus der Norm SN EN ISO 7730, welche die Temperaturbereiche im Sommer für eine Tätigkeit von 1.2 met (Büroarbeit sitzend) und einer Bekleidung von 0.5 clo (leichte Bekleidung) angibt.

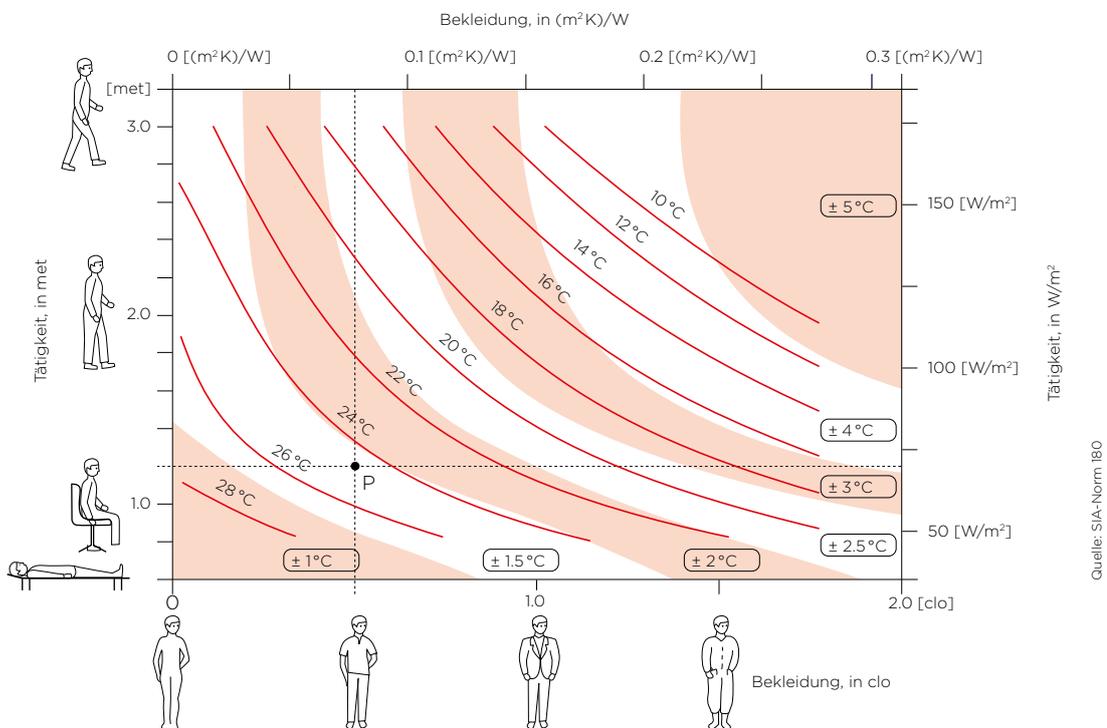


Abb. 3: Optimale Raumtemperaturen in Abhängigkeit von Tätigkeit und Bekleidung. Ablesbeispiel (P): Leichte, sitzend ausgeführte Büroarbeit (spezifische Wärmeabgabe 70 [W/m²] oder 1.2 met) mit sommerlicher Bekleidung (Wärmedurchlasswiderstand 0.0775 [(m² K)/W] oder 0.5 clo) ergibt eine optimal empfundene Raumtemperatur von 24.5°C mit einem Toleranzbereich von +/- 1.5°C.

Kat.	Beschreibung	Erwarteter Anteil Unzufriedener PPD: Predicted Percentage Dissatisfied	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 renovierte 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. 4: Zulässige Raumtemperaturbereiche im Sommer für 1.2 met und 0.5 clo nach SN EN ISO 7730.

Komfort und Innenraumklima

Das sommerliche Raumklima in Neubauten und renovierten Gebäuden kann - positiv oder negativ und mehr oder weniger stark - von vielen Faktoren beeinflusst werden, wobei die beiden wichtigsten die folgenden sind:

- **Das Verhalten der Gebäudenutzer:** Diese beeinflussen mit ihrem Verhalten das Raumklima entscheidend mit - zum Beispiel durch den Gebrauch der Beschattungsvorrichtungen und das Lüftungsverhalten. Das gilt für die Räumlichkeiten von Wohn-, Büro-, Gewerbe- und Industriebauten.
- **Architektonische Gegebenheiten des Gebäudes:** Gebäudeausrichtung, Fensterflächen und -ausrichtung, allfällige fixe Beschattungen wie Balkone sowie bewegliche aussenliegende, gesteuerte Beschattungsvorrichtungen für die transparenten Bauteile.



Von allen Einflussfaktoren beeinflusst die Beschattung der transparenten Bauteile die Innentemperaturen im Sommer am stärksten.

2 | Die EMPA-Studie

Um die Einflussfaktoren auf das Raumklima im Sommer im Detail analysieren zu können, erstellte die EMPA, Abteilung Bautechnologien, 2008 mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm HELIOS die Parameterstudie «Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen - Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima».

Wie einleitend erwähnt, wird die Innenraumtemperatur im Sommer durch eine Vielzahl betrieblicher und baulicher Faktoren beeinflusst. Gemäss EMPA-Studie lassen sich die Einflussgrössen bei definierten, identischen Transmissionswärmedurchgangsbedingungen wie folgt gliedern:

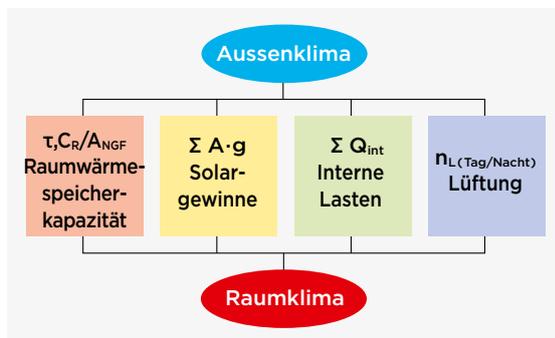


Abb. 5: Die vier Einflussgrössen, aus welchen der Temperaturverlauf im Dachraum resultiert.

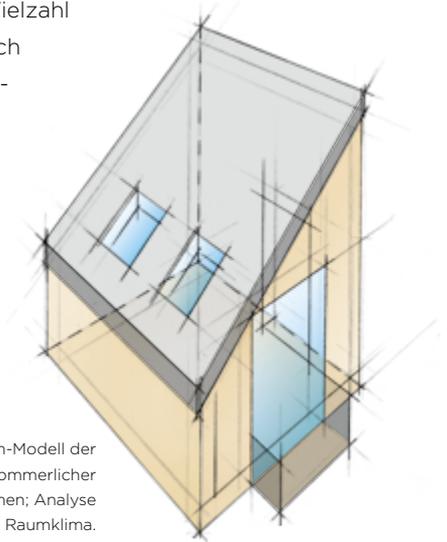


Abb. 6: Dachraum-Modell der EMPA-Studie Nr. 444383: Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen; Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima.

Rahmenbedingungen

Dachraum

Weil dieser intensivster Sonnenstrahlung ausgesetzt ist und sich beim Holzbau die Frage ausreichender Wärmespeicherkapazität stellt, wurde für die Parameterstudie ein typischer Dachraum in Holzbauweise gewählt.

Aussentemperatur

Basis war die Periode vom 25. Juli bis zum 5. August aus dem Design Referenz Year DRY der Klimastation Zürich-Kloten, einer Periode mit 3 Hitzetagen in Folge und Temperaturen bis fast 35 °C (siehe Abb. 7 und EMPA-Bericht, Seite 3).

Dämmstandard der Bauteile

Für Aussenwand- und Dachkonstruktion wurden 200 mm bzw. 200 + 60 mm Wärmedämmung gewählt. Dies ergibt je nach Leistungsfähigkeit der Dämmstoffe U-Werte von 0.19 bis 0.22 [W/m² K] bzw. 0.15 bis 0.18 [W/m² K]. 200 mm Dämmung liegt im Bereich aktuell gültiger energetischer Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Wand- und Dachkonstruktionen, 200 + 60 mm im

Bereich der Zielwerte der gesetzlichen Vorschriften nach SIA 380/1: 2009 (Konstruktionsaufbau siehe EMPA-Studie, Seite 21, Anhang 1).

Innentemperatur

Der Temperaturverlauf wurde mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm HELIOS ermittelt, mit Variationen folgender Parameter:

- Sonnenschutz
- Innere Beplankung an Wänden und Decken
- Nachtlüftung
- Dämmstoffart
- Grösse und Ausrichtung der Fenster
- Bodenbelag
- Interne Wärmelasten

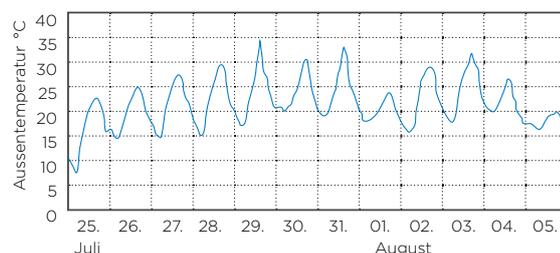


Abb. 7: Aussentemperaturkurve Zürich-Kloten DRY Juli - August.

Ergebnisse der Studie

Erwartungsgemäss üben Art des Sonnenschutzes sowie die Lüftungsmassnahmen zum Abführen der Wärmelasten den grössten Einfluss auf die Innentemperatur aus.

Einfluss des Sonnenschutzes

Das Diagramm 8 zeigt die Innenraumtemperaturverläufe in Abhängigkeit unterschiedlicher Beschattungsmassnahmen (kein Sonnenschutz - Markise aussen - Rafflamellenstoren).

Ausgangslage: Balkonfenstertüre, einlagige Gipsfaserbeplankung an Wand und Dach, Teppichbodenbelag, Nachtlüftung mit dreifachem Luftwechsel, normale Nutzung und Dämmstoffvariante Glaswolle.

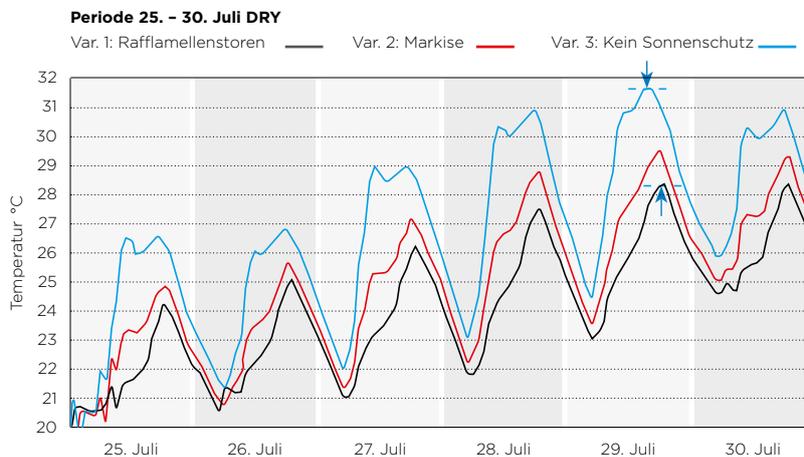


Abb. 8: Schon moderate Fenstergrössen (20% der Bodenfläche, ostexponiert) bewirken Temperaturdifferenzen bis 3,5°C. Grössere, südexponierte oder Dachflächenfenster ergeben noch viel deutlichere Unterschiede.

Einfluss der Nachtlüftung

Das Diagramm 9 zeigt die Innenraumtemperaturverläufe in Abhängigkeit unterschiedlicher Nachtlüftungsszenarien (kein Luftwechsel, einfacher sowie dreifacher Luftwechsel pro Stunde).

Ausgangslage: Balkonfenstertüre mit Rafflamellenstoren, einlagige Gipsfaserbeplankung an Wand und Dach, Teppichbodenbelag, normale Nutzung und Dämmstoffvariante Glaswolle.

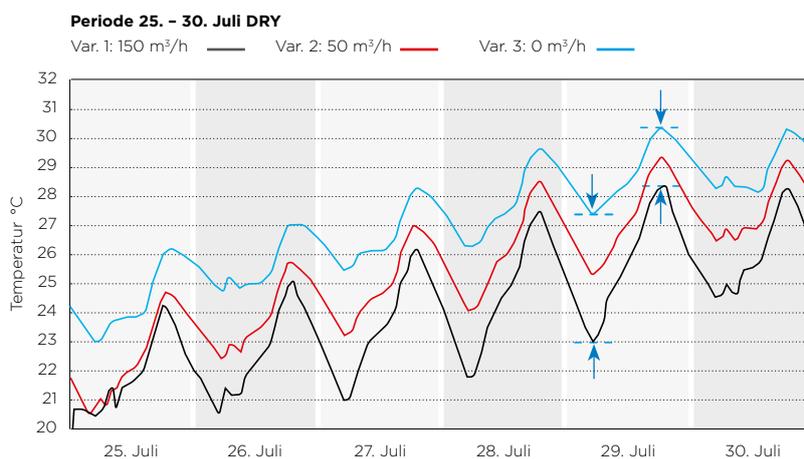


Abb. 9: Wie die Temperaturverläufe Schwarz und Blau (3-facher und kein Luftwechsel) zeigen, betragen die Temperaturunterschiede nachts bis zu 4,5°C und am Tag bis 2°C (siehe Pfeile).

Der Einfluss der Dämmstoffart ist vernachlässigbar

Ein dämmstoffartbedingter Unterschied von max. 1°C Innenraumtemperatur ist nur bei Vorliegen folgender Einflussfaktoren nachweisbar: Optimale Beschattung (Rafflamellenstoren), Nachtlüftung (dreifacher Luftwechsel pro Stunde), minimierte Fenstergrößen sowie Raumwärmespeicherkapazitäten und interne Wärmelasten. Sobald einer oder mehrere der massgebenden Faktoren wie Fenstergröße, Beschattung, Nachtlüftung, interne Lasten weniger optimal sind oder eine höhere Raumwärmespeicherkapazität angenommen wird, minimiert sich die Relevanz der Dämmstoffart noch mehr.

Periode vom 25. - 30. Juli DRY

Glaswolle — Steinwolle — Zellulose — Holzweichfaser — Holzfaser —

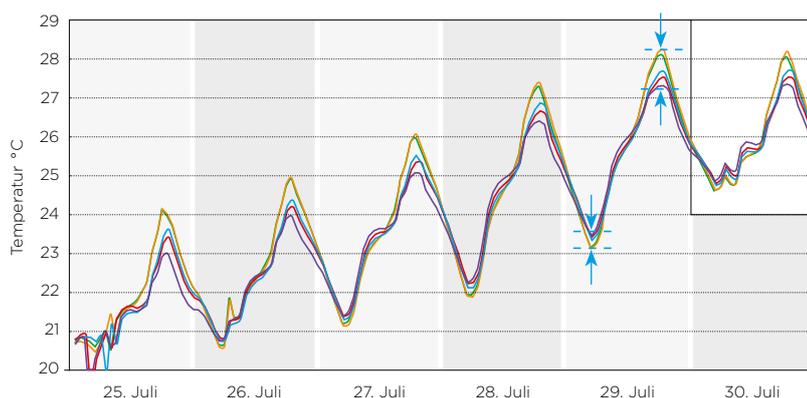


Abb. 10a: Wie die sehr nahe beieinanderliegenden Temperaturkurven zeigen, ist die Wahl der Dämmstoffart unbedeutend.

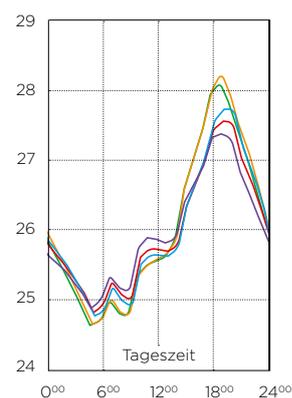
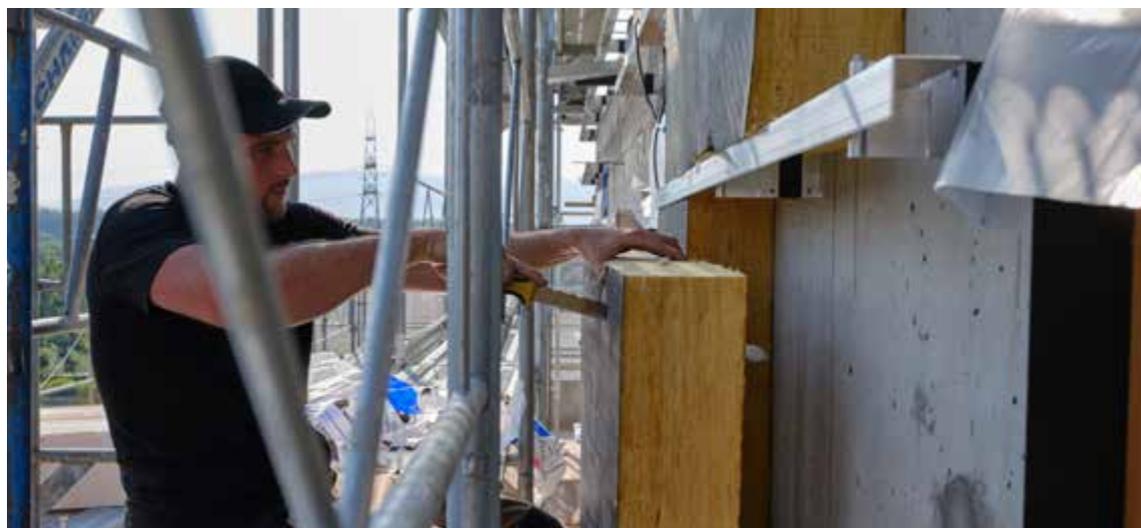


Abb. 10b: Der vergrößerte Ausschnitt zeigt die Temperaturkurven innerhalb des 24-h-Tagesablaufs am 30. Juli DRY.



Glaswolle – ein universeller und dennoch hocheffizienter Wärmedämmstoff. Er ist leicht, gut verarbeitbar, unbrennbar und zu über 80% aus Recycling-Glas hergestellt.

3 | Planung

Die moderne energieeffiziente 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 wieder abzuführen. Guter sommerlicher Wärmeschutz wird durch die Berücksichtigung der Planungsgrundsätze erreicht, eine einfache Risikoabschätzung erfolgt via Planungsschritte.

Planungsgrundsätze

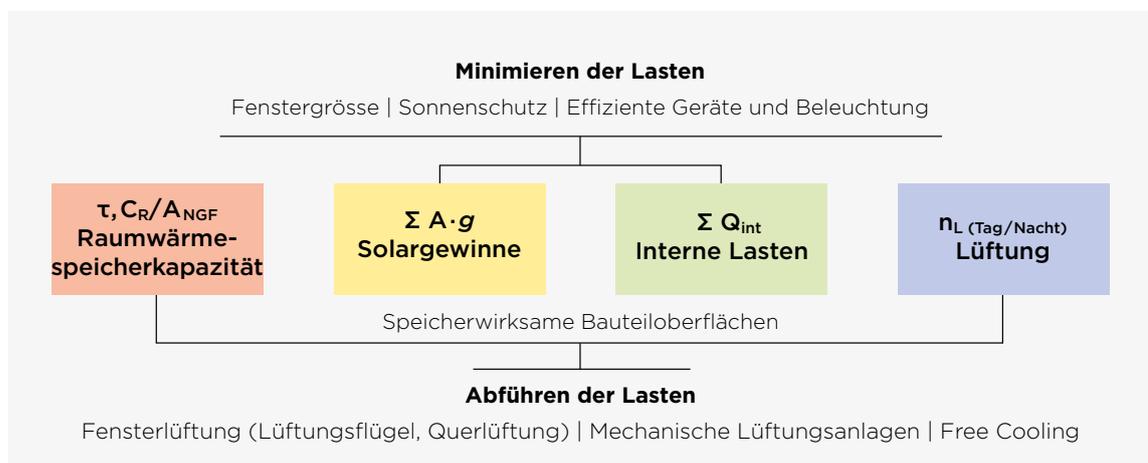


Abb. 11: Planungsgrundsätze (Minimieren und Abführen der Lasten) und die vier Einflussgrössen.

Planungsschritte

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

- Die solaren Lasten Q_s müssen auf die Nettogeschossfläche A_{NGF} bezogen, ermittelt werden.
- Glasanteil, Glasart, Sonnenschutz sowie Fenster- und Bodenfläche des Raumes müssen definiert sein.
- Anforderungen an Gesamtenergiedurchlassgrad g von Verglasungen sowie Sonnenschutz sind aus Abb. 20/21 im Anhang ersichtlich.

- Abb. 22 zeigt die g -Werte verschiedener Verglasungen mit unterschiedlichen Sonnenschutzmassnahmen.
- Für die Tagessummen der Solarstrahlung I_s können folgende Werte angenommen werden:
 - Horizontalflächen: 6000 [Wh/(m² d)]
 - Steildachflächen O/S/W: 7000 [Wh/(m² d)]
 - Steildachflächen N: 5000 [Wh/(m² d)]
 - Vertikalflächen O/S/W: 4000 [Wh/(m² d)]
 - Vertikalflächen N: 2000 [Wh/(m² d)]

Formeln:

- $Q_s = \Sigma$ Fensterfläche x Tagessumme der Solarstrahlung I_s x g-Wert in [Wh/d]
- $Q_s/A_{NGF} =$ Solare Last/Nettogeschossfläche in [Wh/(m² d)]

- Zur Berechnung der solaren Lasten Q_s werden die einzelnen Gebäudehüllenflächen nach Orientierung betrachtet und am Ende aufsummiert. Im Anschluss wird die gesamte solare Last durch die Nettogeschossfläche dividiert.

Schritt 2**Interne Wärmelasten (Q_i/A_{NGF}) abschätzen**

- Diese sind von Personenbelegungsdichte, elektrischen Geräten und Beleuchtung abhängig und werden ebenfalls auf die Nettogeschossfläche A_{NGF} bezogen, ermittelt.
- Annahmen für interne Lasten Q_i :
 - niedrige interne Last:
5 [W/m²] oder 90 [Wh/(m² d)]
(1 Person, kleiner TV/Radio, moderate Beleuchtung)
 - mittlere interne Last:
10 [W/m²] oder 180 [Wh/(m² d)]
(1 Person, grosser TV/Radio, Arbeitspult, Laptop, konventionelle Beleuchtung)
 - hohe interne Last:
15 [W/m²] oder 270 [Wh/(m² d)]
(2 Personen, grosser TV/Radio, Arbeitsplatz mit PC und Bildschirm, Halogenbeleuchtung)

Schritt 3**Gesamte Wärmelast (C_{tot}/A_{NGF}) bestimmen**

Die solaren und die internen Lasten ergeben zusammen die gesamte Wärmelast:

$$Q_{tot}/A_{NGF} = (Q_s + Q_i)/A_{NGF} \text{ in [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$$

Schritt 4**Raumspeicherkapazität (C_R/A_{NGF}) bestimmen**

Sie wird wie folgt ermittelt: Wirksame Wärmespeicherkapazität κ_i der Innenoberflächen der Bauteile mal jeweilige Bauteilfläche. Die Summe davon, geteilt durch die Nettogeschossfläche, ergibt die gesuchte Raumspeicherkapazität C_R/A_{NGF} .

Formeln:

- $C_R = \Sigma$ Wärmespeicherkapazität x Fläche in [Wh/K]
- $(C_R/A_{NGF}) =$ Wärmespeicherkapazität_{tot}/Nettogeschossfläche in [Wh/(m² K)]

Schritt 5**Lüftungsmassnahmen festlegen**

Wirkungsvollste Nachtlüftung wird durch quer gegenüberliegende offene Fenster erreicht. Gekippte Fensterflügel bei geschlossenen Rollladen ergeben 0.3 – 1.5 Luftwechsel pro Stunde (LW [1/h]), bei offenen Rollladen 0.8 – 4 LW [1/h] und bei zusätzlich offenen Fensterflügeln >5 LW [1/h] (siehe Abb. 23).

Schritt 6**Risikobeurteilung vornehmen**

Die untenstehende Abb. 12 zeigt anhand von drei unterschiedlichen Tages-Gesamtlasten – in Kombination mit drei verschiedenen Lüftungsszenarien und zwei Niveaus der Raumspeicherkapazität – die daraus resultierenden maximalen Innenraumtemperaturen.

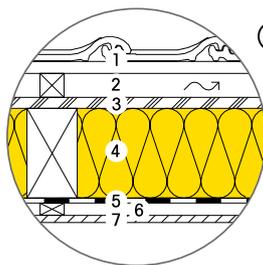
Lüftungsmassnahmen	Raumspeicherkapazität C_R/A_{NGF} [Wh/(m ² K)]	Tagessumme der Gesamtlasten $Q_{tot}/A_{NGF} = (Q_s + Q_i)/A_{NGF}$ [Wh/(m ² d)]		
		150	250	350
		$\theta_{i,max}$		
Keine Nachtlüftung	30	-30 °C	-32 °C	-35 °C
	50	-29 °C	-31 °C	-33 °C
Nachtlüftung $n_{LN} \sim 1$ [1/h]	30	-29 °C	-31 °C	-33 °C
	50	-28 °C	-29 °C	-31 °C
Nachtlüftung $n_{LN} \sim 3$ [1/h]	30	-28 °C	-30 °C	-31 °C
	50	-27 °C	-28 °C	-29 °C

- unzumutbar
- problematisch
- Grenzfall
- akzeptabel
- gut

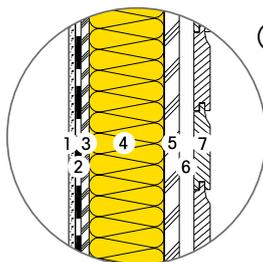
Abb. 12: Risikobeurteilung für drei unterschiedliche Nachtlüftungsszenarien, Raumspeicherkapazitäten von 30 oder 50 [Wh/(m² K)] auf Basis der Wetterdaten Zürich-Kloten DRY mit 3 Hitzetagen und max. Aussentemperaturen von 35 °C (siehe auch Abb. 15, auf Seite 12).

4 | Berechnungsbeispiel

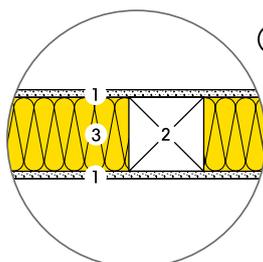
Geplant ist ein Dachraum, Grundfläche 25m² mit südexponiertem Steildach. West- und Südwand grenzen ans Aussenklima, diejenigen im Norden und Osten sind Innenwände. Das Steildach enthält zwei Dachflächenfenster von total 2m², die Westfassade ein Fenster mit 1.2m² Fläche. Die Innentüre misst 1.8m².



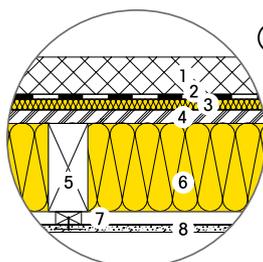
- (A) Dach: 28m²**
- 1 Dachziegel/Dachlattung
 - 2 Konterlattung/Hinterlüftung
 - 3 Unterdach Weichfaserplatte 24mm
 - 4 Dämmung ISOCONFORT 032 PR
 - 5 Dampfbremse/Luftdichtung
 - 6 Lattung/Leitungen
 - 7 Täfer 13mm



- (B) Aussenwand: 7.5 + 13.8m²**
- 1 Gipsbauplatte 12.5mm
 - 2 Dampfbremse VARIO KM DUPLEX
 - 3 OSB-Platte 15mm
 - 4 Dämmung ISOCONFORT 032 PR
 - 5 Weichfaserplatte 30mm
 - 6 Durchlüftungsraum
 - 7 Holzschalung 20mm



- (C) Innenwand: 18.2 + 13.8m²**
- 1 Gipsbauplatte 12.5mm
 - 2 Holzständer
 - 3 Dämmung ISOFIX 034



- (D) Boden/Geschossdecke: 25m²**
- 1 Zementunterlagsboden
 - 2 Abdecklage
 - 3 Dämmung PS 81
 - 4 Holzwerkstoffplatte 25mm
 - 5 Balkenlage 80 x 180mm
 - 6 Dämmung UNIROLL 034
 - 7 Lattung/Leitung
 - 8 Gipsbauplatte 12.5mm

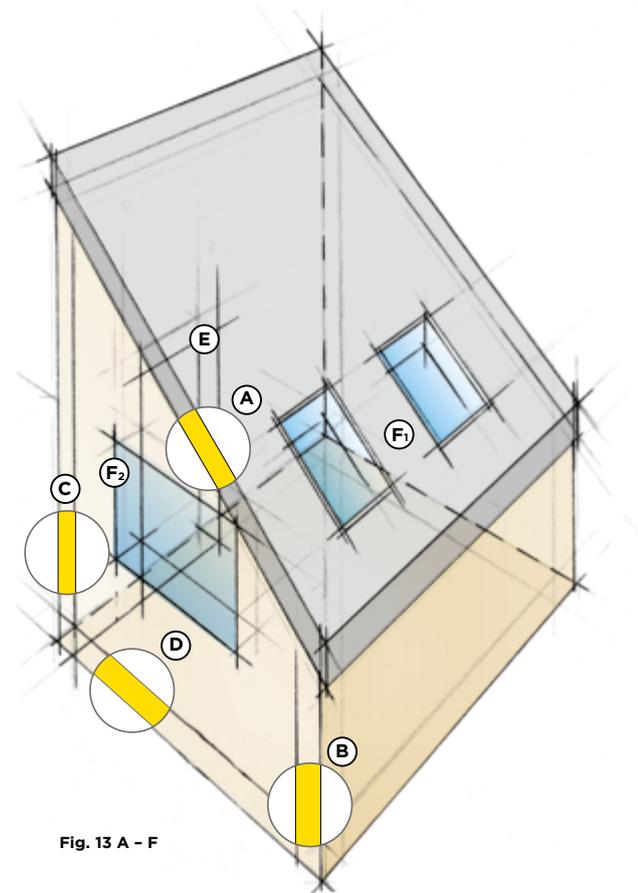


Fig. 13 A - F

- (E) Türe: 1.8m²**
E Verbindungstüre nach innen
- (F) Fenster: F1: 2 m² + F2: 1.2 m²**
F1 Dachflächenfenster
F2 Fenster Westseite

Konstruktionselemente und technische Daten

A Dach				
ISOCONFORT 032 PR	$\lambda_D = 0.032 \text{ W/(mK)}$	d	[mm]	200
Wärmeschutz im Winter und Sommer				
Wärmedurchgangskoeffizient:				
- inklusive Wärmebrücken	U	[W/(m ² K)]		0.19
- ohne Wärmebrücken	U _o	[W/(m ² K)]		0.14
Wärmeschutz im Sommer				
Dyn. Wärmedurchgangskoeffizient	U ₂₄	[W/(m ² K)]		0.10
Wärmespeicherfähigkeit	k _j	[Wh/(m ² K)]		5

B Aussenwand				
ISOCONFORT 032 PR	$\lambda_D = 0.032 \text{ W/(mK)}$	d	[mm]	160
Wärmeschutz im Winter und Sommer				
Wärmedurchgangskoeffizient:				
- inklusive Wärmebrücken	U	[W/(m ² K)]		0.20
- ohne Wärmebrücken	U _o	[W/(m ² K)]		0.16
Wärmeschutz im Sommer				
Wärmespeicherfähigkeit	k _j	[Wh/(m ² K)]		7

C Innenwand				
ISOFIX 034	$\lambda_D = 0.034 \text{ W/(mK)}$	d	[mm]	60
Wärmeschutz im Sommer				
Wärmespeicherfähigkeit	k _j	[Wh/(m ² K)]		5

D Boden/Geschossdecke				
PS 81	$\lambda_D = 0.032 \text{ W/(mK)}$	d	[mm]	20
UNIROLL 034	$\lambda_D = 0.035 \text{ W/(mK)}$	d	[mm]	180
Wärmeschutz im Sommer				
Wärmespeicherfähigkeit	k _i oben	[Wh/(m ² K)]		15
Wärmespeicherfähigkeit	k _i unten	[Wh/(m ² K)]		3

E Türe	
Türe 1.8 m ²	Wärmespeicherfähigkeit k _j : 4 [Wh/(m ² K)]

F Verglasungen und Sonnenschutz					
	Sonnenschutz	Farbe	$\tau_{e,B}$	τ_v	g
F ₁ Dachflächenfenster 2 m ² 2-fach-Wärmeschutzglas	aussen	pastell	0.1	0.08	0.09
F ₂ Fenster Westseite 1.2 m ² 2-fach-Glas normal	aussen	pastell	0.1	0.09	0.13

Abb. 14 A - F:

Weitere physikalische Werte finden sich in den Bauteildatenblättern von Isover: www.isover.ch



Dachgeschosse sind heute als Wohnraum besonders beliebt und bieten auch ein sehr angenehmes Wohnklima, sofern dem sommerlichen Wärmeschutz genügend Beachtung geschenkt wird.

Berechnung und Risikobeurteilung

Anhand der auf Seite 8 und 9 beschriebenen Planungsschritte lassen sich auch die sechs untenstehenden Berechnungsschritte durchführen:

Schritt 1 Solare Lasten (Q_s/A_{NGF}) abschätzen

- Dachflächenfenster
Fläche x Solarstrahlung x g-Wert/Bodenfläche = $2 \text{ [m}^2\text{]} \times 7000 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} \times 0.09/25 \text{ [m}^2\text{]} = 50 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$
- Fenster Westseite
Fläche x Solarstrahlung x g-Wert/Bodenfläche = $1.2 \text{ [m}^2\text{]} \times 4000 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]} \times 0.13/25 \text{ [m}^2\text{]} = 25 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$

Schritt 2 Interne Wärmelasten (Q_i/A_{NGF}) abschätzen

Mittlere interne Last im Wohnungsbau = $180 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ d)]}$

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 x Wärmespeicherfähigkeit¹⁾ = $26 \text{ [m}^2\text{]} \times 5 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]} = 130 \text{ [Wh/K]}$
- Aussenwände Fläche x Wärmespeicherfähigkeit = $20.1 \text{ [m}^2\text{]} \times 7 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]} = 141 \text{ [Wh/K]}$
- Innenwände Fläche x Wärmespeicherfähigkeit = $30.2 \text{ [m}^2\text{]} \times 5 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]} = 151 \text{ [Wh/K]}$
- Deckenkonstruktion Fläche x Wärmespeicherfähigkeit = $25 \text{ [m}^2\text{]} \times 15 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]} = 375 \text{ [Wh/K]}$
- Türe Fläche x Wärmespeicherfähigkeit = $1.8 \text{ [m}^2\text{]} \times 4 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]} = 7.2 \text{ [Wh/K]}$
- Raumwärmespeicherkapazitäten
A) $Q_{R \text{ tot}} = 804 \text{ [Wh/K]}$ B) $C_R/A_{NGF} = 804 \text{ [Wh/K]}/25 \text{ [m}^2\text{]} = 32 \text{ [Wh/(m}^2 \text{ K)]}$

¹⁾ Angaben Wärmespeicherfähigkeit: Isover-Bauteildatenblätter

Schritt 5 Lüftungsmassnahmen festlegen

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

Schritt 6 Risikobeurteilung vornehmen

Abb. 15 erlaubt eine Risikobeurteilung bezüglich der zu erwartenden Innenraumspitzentemperaturen, basierend auf den effektiven Wetterdaten von Zürich-Kloten mit 3 Hitzetagen und 35°C maximaler Aussentemperatur.

Abb. 15: Risikobeurteilung. Bei Annahme von Raumwärmespeicherkapazität 30 [Wh/(m² K)], Gesamtlast 250 [Wh/(m² d)] und Nachtlüftung 3 [1/h] resultiert ein akzeptables Innenraumklima.

Raumwärmespeicherkapazität C_R/A_{NGF} [Wh/(m ² K)]	Lüftungsmassnahmen	Tagessumme der Gesamtlasten $Q_{tot}/A_{NGF}=(Q_s+Q_i)/A_{NGF}$ [Wh/(m ² d)]		
		150	250	350
30	Keine Nachtlüftung	-30 °C $\theta_{i,max}$	-32 °C $\theta_{i,max}$	-35 °C $\theta_{i,max}$
	Nachtlüftung $n_{L,N} \sim 1$ [1/h]	-29 °C $\theta_{i,max}$	-31 °C $\theta_{i,max}$	-33 °C $\theta_{i,max}$
	Nachtlüftung $n_{L,N} \sim 3$ [1/h]	-28 °C $\theta_{i,max}$	-30 °C $\theta_{i,max}$	-31 °C $\theta_{i,max}$

■ unzumutbar ■ problematisch ■ Grenzfall ■ akzeptabel ■ gut

5 | Fazit der EMPA-Studie

Die rechnerischen Untersuchungen zum sommerlichen Wärmeschutz eines Dachraumes mit moderatem Fensterflächenanteil haben gezeigt, dass den einzelnen Einflussfaktoren eine sehr unterschiedliche Bedeutung beigemessen werden muss. Bedingt durch den guten Wärmedämmstandard heutiger Gebäudehüllen und deren luftdichter Bauweise müssen Vorkehrungen getroffen werden, **um die Wärmelasten im Raum so gering wie möglich zu halten und diese gezielt durch Lüftungsmassnahmen nachts abzuführen.**

Einflussfaktoren auf die maximale Raumtemperatur

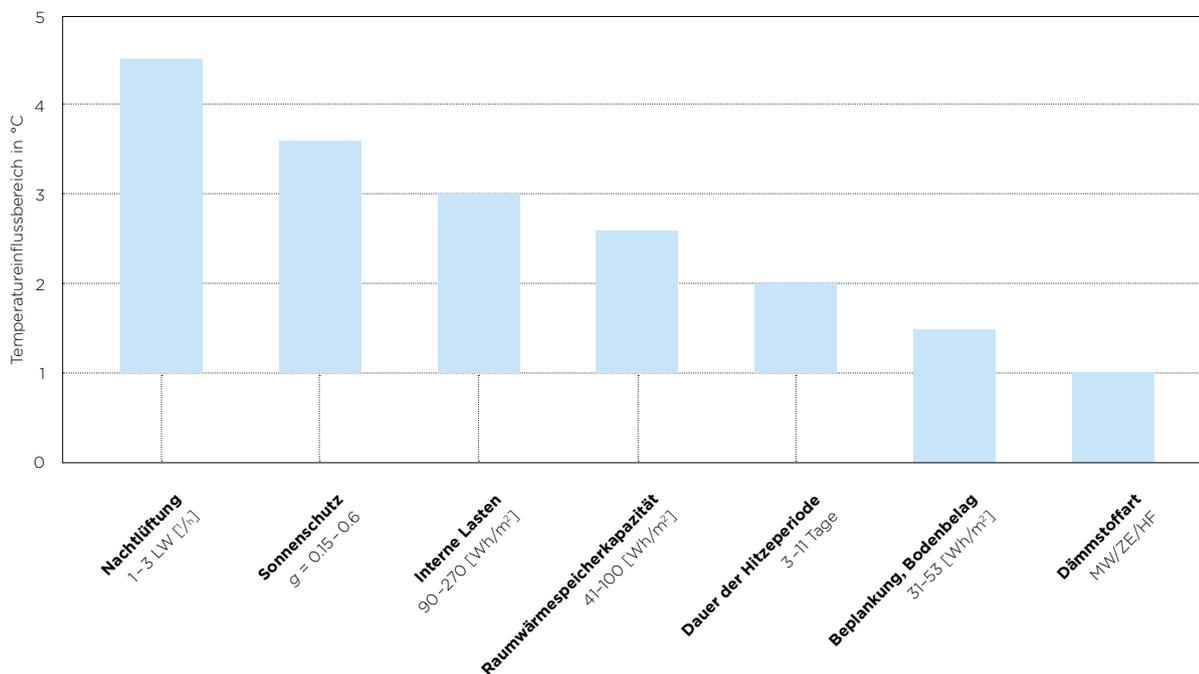


Abb. 16: Einflussfaktoren und ihre Auswirkungen auf die maximale Innentemperatur.

Die Art des gewählten Isoliermaterials führt zu einer Abweichung von 0 bis max. 1°C, was vernachlässigbar ist.

6 | Erweiterte Betrachtung des Einflusspotenzials

Wie sich zusätzlich die Variationen von Fensterflächenanteilen und Dämmstandards auf die anderen Einflussfaktoren auswirken – sowie deren Abhängigkeit untereinander – zeigt die Auswertung fünfzehn weiterer Simulationsberechnungen, zusammengefasst in Abb. 18.

Als Ausgangslage diente wieder die Dachraumgeometrie der EMPA-Studie, und für die Einflussfaktoren wurden Annahmen getroffen, die bei gängiger Bauweise als üblich oder «durchschnittlich» taxiert werden können (Abb. 17, Kolonne «durchschnittlich»). Um den Einfluss der einzelnen Faktoren in Abhängigkeit aller anderen

abzubilden, wurden die Parameter einmal «günstiger» und einmal «ungünstiger» gewählt (Abb. 17). Bei allen anderen Faktoren wurde dabei der Ausgangswert beibehalten. Die so errechneten Innenraumspitzentemperaturen bilden die Grundlage zur Beurteilung des Einflusspotenzials.

Die Einflussfaktoren und Annahmen für drei Fälle

Einflussfaktoren	Mass-einheit	Fall-Annahmen		
		günstiger	durchschnittlich	ungünstiger
Fenstergrösse (% von Nettogeschossfläche NGF)	[%]	10	20	30
Beschattung (Gesamtenergiedurchlassgrad g)	[]	0.12	0.30	0.60
Interne Wärmelasten	[W/m ²]	5	10	15
Luftwechsel Nacht (LW) $n_{L,N}$ [1/h]	[1/h]	3	1.5	kein LW
Dämmstandard der Bauteile (Wärmedurchgangskoeffizient U)	[W/(m ² K)]	0.10	0.20	0.30
Raumwärmespeicherkapazität	[Wh/(m ² K)]	65	52	31
Dämmstoffart	[]	Holzfaser	Hanf	Mineralwolle

Abb. 17: Einflussfaktoren und Annahmen; im Anhang, Abb. 24, sind diese näher beschrieben.

Annahmen für die 15 Simulationen und die in der Hitzeperiode errechneten Raumsitzentemperaturen

Einflussfaktor	Fall-Annahmen	Fenstergrösse	Beschattung	interne Lasten	Luftwechsel Nacht: LW [1/h]	Dämmstandard	Raumwärmespeicherkapazität	Dämmstoffart	Raumspitzentemp. °C
	durchschn.	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	31.3
Fenstergrösse	günstiger	10% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	30.0
	ungünstiger	30% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	32.5
Beschattung	günstiger	20% von NGF	$g = 0.12$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	29.5
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.60$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	35.0
Interne Lasten	günstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	5 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	30.0
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	15 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	32.8
Luftwechsel Nacht: LW [1/h]	günstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	3 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	30.3
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	kein LW	0.20 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	33.7
Dämmstandard	günstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.10 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	31.0
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.30 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Hanf	32.0
Raumwärmespeicherkapazität	günstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	65 [Wh(m ² K)]	Hanf	28.6
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.20 [W(m ² K)]	31 [Wh(m ² K)]	Hanf	32.3
Dämmstoffart	günstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.19 - 0.21 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Holzfaser	31.2
	ungünstiger	20% von NGF	$g = 0.30$	10 [W(m ² K)]	1.5 [1/h]	0.19 - 0.21 [W(m ² K)]	52 [Wh(m ² K)]	Mineralwolle	31.4

Abb. 18: Die Raumsitzentemperatur basierend auf den durchschnittlichen Werten beträgt 31.3°C (erste Zeile). Die weiteren aufgeführten Raumsitzentemperaturen zeigen auf, wie sich die Variation der Einflussfaktoren unter sonst gleichbleibenden Bedingungen auswirkt.

Einflusspotenzial der einzelnen Faktoren.

Dieses ergibt sich aus den in der Hitzeperiode errechneten Raumsitztemperatur der 15 Simulationen. Sie liegen in diesem hohen Bereich, weil für das Aussenklima eine Hitzeperiode mit Spitzentemperaturen bis 35°C angenommen wurde. Diese Extremsituation bringt die Relevanz der Einflussfaktoren besonders deutlich an den Tag und erlaubt daher eine präzise Beurteilung.

Raumsitztemperaturbereiche / Einflusspotenziale der einzelnen Faktoren

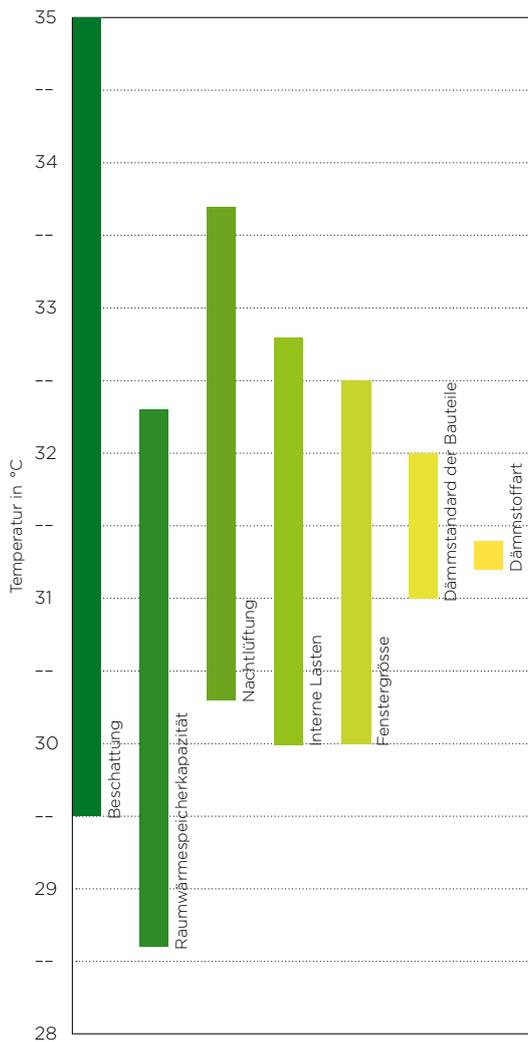


Abb. 19a: Die einzelnen Faktoren und ihr Einflusspotenzial.

Einflussfaktor	Einflussbereich
Fenstergrösse	10 - 30% der NGF (Nettogeschossfläche)
Beschattung	Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0.12 - 0.60$
Interne Lasten	5 - 15 [W/m ²]
Nachtlüftung	Luftwechsel/Stunde: 0 - 3 LW [1/h]
Dämmstandard der Bauteile	U-Wert 0.30 - 0.10 [W/(m ² K)]
Raumwärmespeicherkapazität	65 - 31 [Wh/(m ² K)]
Dämmstoffart	Holzfasern - Hanf - Mineralwolle

Abb. 19b: Die einzelnen Faktoren und deren Einflussbereiche.

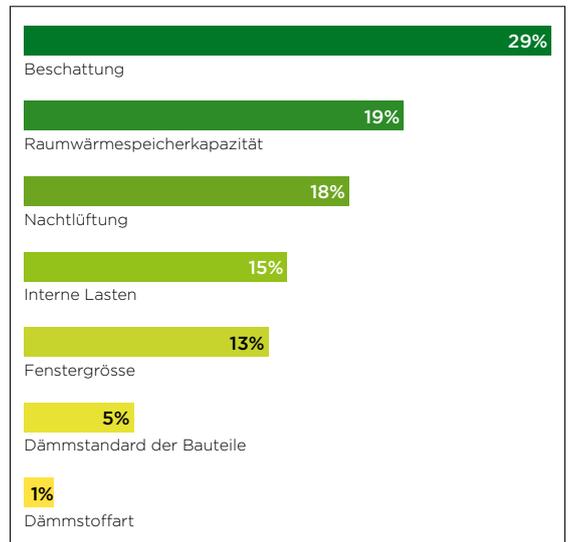


Abb. 19c: Prozentualer Anteil der Faktoren am Einflusspotenzial.

Die oben stehenden Diagramme veranschaulichen und bestätigen den hohen Stellenwert von Beschattung, Raumwärmespeicherkapazität, Nachtlüftung, internen Wärmelasten und Fenstergrössen im Kontext des sommerlichen Wärmeschutzes. Ausserdem wird auf einen Blick erkennbar, wo es sich lohnt, die Hebel anzusetzen. Der Einfluss der Dämmstoffart ist unbedeutend (siehe dazu auch die Abb. 10a + b auf Seite 7).

7 | Anhang

Anforderungen an den g-Wert von Fenstern

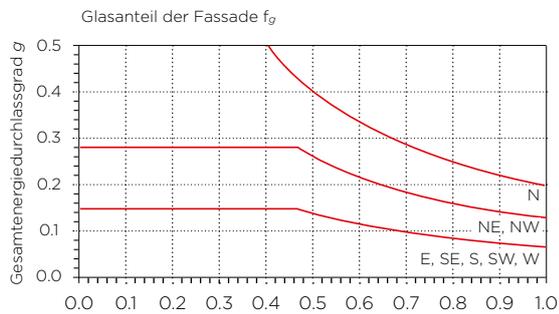


Abb. 20: Anforderungen nach SIA 180 an den g-Wert von Fassadenfenstern (Verglasung und Sonnenschutz) in Abhängigkeit von Glasanteil und Orientierung.

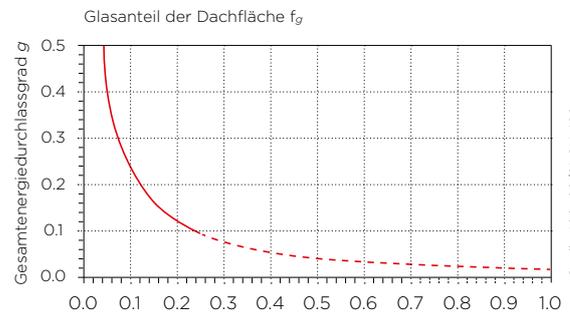


Abb. 21: Anforderungen nach SIA 180 an den g-Wert von Oberlichtern (Verglasung und Sonnenschutz) in Abhängigkeit des Glasanteils.

Quelle: Abb. 20/21: SIA 180

Solare Kennwerte typischer Verglasungen mit Sonnenschutz

Verglasung	Sonnenschutz	Farbe	Solarer Transmissionsgrad des Sonnenschutzes $\tau_{e,B}$	Lichttransmissionsgrad τ_v	Gesamtenergiedurchlassgrad g
Zweifach-Glas normal	aussen	pastell	0.1	0.09	0.13
Zweifach-Glas normal	innen	hell	0.1	0.09	0.37
Zweifach-Wärmeschutzglas	aussen	pastell	0.1	0.08	0.09
Zweifach-Wärmeschutzglas	innen	hell	0.2	0.16	0.40
Dreifach-Glas normal	aussen	pastell	0.1	0.08	0.11
Dreifach-Glas normal	innen	hell	0.1	0.09	0.37
Dreifach-Wärmeschutzglas	aussen	pastell	0.1	0.07	0.07
Dreifach-Wärmeschutzglas	innen	pastell	0.2	0.15	0.40
Dreifach-Wärmeschutzglas	innen	hell	0.2	0.15	0.36

Abb. 22: Verglasung und Sonnenschutz haben einen erheblichen Einfluss auf die solaren Wärmelasten.

SIA Wegleitung 4000 zur Anwendung der Norm SIA 180

Luftwechselraten in Abhängigkeit der Fensterlüftungsart

Fenster gekippt, Rollläden

0.3 - 1.5 Luftwechsel/Stunde



Fenster ganz offen

9 - 15 Luftwechsel/Stunde



Fenster gekippt, kein Rollläden

0.8 - 4 Luftwechsel/Stunde



2 gegenüberliegende Fenster

ca. 40 Luftwechsel/Stunde



Fenster halb offen

5 - 10 Luftwechsel/Stunde



Abb. 23: Varianten der Fensterlüftung und ihre Effizienz, gemessen an der Anzahl Luftwechsel pro Stunde.

Beschreibung der für die erweiterte Betrachtung (ab Seite 14) getroffenen Annahmen

Annahmen	Beschreibung
Fenstergrösse	
Fensterfläche 10% von NGF	Dachfenster 2m ²
Fensterfläche 20% von NGF	Dachfenster 2m ² + Balkonfenstertüre 2m ² in Aussenwand Ost
Fensterfläche 30% von NGF	Dachfenster 2m ² + Balkonfenstertüre 4m ² in Aussenwand Ost
Beschattung	
$g = 0.12$	2-IV-Wärmeschutzverglasung + Aussenlamellenstoren
$g = 0.30$	2-IV-Wärmeschutzverglasung + Markisen aussen
$g = 0.60$	2-IV-Wärmeschutzverglasung ohne Beschattung
Interne Wärmelasten	
$q_i = 5$ [W/m ²]	normale Nutzung (1 Person, kleiner TV/Radio, moderate Beleuchtung)
$q_i = 10$ [W/m ²]	mittlere Nutzung (1 Person, grosser TV/Radio, Arbeitspult, Laptop, konventionelle Beleuchtung)
$q_i = 15$ [W/m ²]	intensive Nutzung (2 Personen, grosser TV/Radio, Arbeitsplatz mit PC und Bildschirm, Halogenbeleuchtung)
Nachtlüftung	
3-facher Luftwechsel/h	$n_{L,N} = 3$ [1/h]
1.5-facher Luftwechsel/h	$n_{L,N} = 1.5$ [1/h]
Kein Luftwechsel	$n_{L,N} = 0$ [1/h]
Dämmstandard der Bauteile	
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.30$ [W/(m ² K)]	Mindestanforderung Einzelbauteilnachweis nach SIA 380/1: 2001 «Thermische Energie im Hochbau»
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.20$ [W/(m ² K)]	Mindestanforderung Einzelbauteilnachweis nach SIA 380/1: 2009 «Thermische Energie im Hochbau»
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 0.10$ [W/(m ² K)]	Anforderung im Bereich MINERGIE-P®- oder Passivhaus-Standard
Raumwärmespeicherkapazität	
$C_{R/A_{NGF}} = 65$ [Wh/(m ² K)]	Aussen- und Innenwände Mauerwerk, Aussenwand mit Aussendämmung; Decke und Steildach Holzkonstruktion, Steildach 2 x 12.5 mm Gipsfaser, Keramikboden
$C_{R/A_{NGF}} = 52$ [Wh/(m ² K)]	Aussen- und Innenwände, Decke und Steildach Holzkonstruktion; innere Beplankungen 2 x 12.5 mm Gipsfaser, Keramikboden
$C_{R/A_{NGF}} = 31$ [Wh/(m ² K)]	Aussen- und Innenwände, Decke und Steildach Holzkonstruktion; innere Beplankungen Wände 1 x 12.5 mm Gipsfaser, Steildach: Täfelung, Teppichbodenbelag
Dämmstoffart in den Holzkonstruktionen	
Holzfasern	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0.043$ [W/(m K)]; spezifische Wärmespeicherkapazität $c = 1400$ [J/(kg K)]; Rohdichte $\rho_a = 150$ [kg/m ³]
Hanf	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0.040$ [W/(m K)]; spezifische Wärmespeicherkapazität $c = 1400$ [J/(kg K)]; Rohdichte $\rho_a = 40$ [kg/m ³]
Mineralwolle	Wärmeleitfähigkeit $\lambda_D = 0.035$ [W/(m K)]; spezifische Wärmespeicherkapazität $c = 1030$ [J/(kg K)]; Rohdichte $\rho_a = 20$ [kg/m ³]

Abb. 24

Bauen mit Verantwortung. Leben in Behaglichkeit.

Bauliche Vorkehrungen und ein situationsgerechtes Nutzerverhalten ermöglichen im Winter wohlige Wärme und im Sommer angenehme Kühle in Innenräumen.

MINERGIE-P®-Haus.

Der elegante Wohnbau aus Burgdorf ist ein gutes Beispiel, wie trotz relativ viel Fensterfläche dank effizienter Beschattungsvorkehrungen auch im Sommer ein angenehmes Raumklima möglich ist.

Realisierung: Schneider & Partner Architektur AG, Burgdorf; Dach und Innenausbau: Baumberger Bau AG, Koppigen; Fassade: Ramseier AG, Bern; Dämmmaterialien von St-Gobain ISOVER AG.



Schlussfolgerungen

Die EMPA-Studie «Sommerlicher Wärmeschutz in Dachräumen – Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima» hat – zusammen mit der erweiterten Betrachtung des Einflusspotenzials – interessante Resultate zutage gebracht. Die daraus abgeleiteten Planungsgrundsätze erlauben eine schnelle und einfache Risikobeurteilung. Zusammenfassend die wichtigsten Erkenntnisse.

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 – mittlere Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen – Luftbewegung – aber auch vom Menschen selbst, seiner Tätigkeit, Bekleidung und seinem physiologischem 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 nichtautomatisierten Betrieb heisst das: Tagsüber intelligente Bedienung der Sonnenschutzvorrichtungen sowie ein gezieltes Lüften, vor allem nachts. Nicht zu vergessen ist der Einfluss bei der Wahl 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.



Weitere wertvolle Informationen zum Thema finden Sie in der Broschüre *Sommerlicher Wärmeschutz* von Minergie.

Thermik, Akustik, Brandschutz: Rundum gut beraten.



Thermische
Dämmung



Akustische
Dämmung



Brandschutz



Dächer

Geneigtes Dach
und Flachdach



Decken, Böden

Estrichböden, Unterlagsböden,
Holzbalkendecken, Kellerdecken,
Akustikdecken



Wände

Fassaden,
Innenwand,
Leichtbau, Holzbau



Technische und Element-Dämmungen

Elementdämmungen,
Leitungen, Behälter, Kanäle

SAINT-GOBAIN

Saint-Gobain
ISOVER AG
Route de Payerne 1
1522 Lucens
Tel. 021 906 01 11
admin@isover.ch

Customer Service / Verkauf

Tel. 021 906 05 70
07:30 - 11:45
13:30 - 17:00
Freitag bis 16:00
sales@isover.ch

Helpdesk / Technik

Tel. 0848 890 601
helpdesk@isover.ch