

Saint-Gobain Isover SA
Rte de Payerne 1
CH-1522 Lucens

Bericht-Nr. 444'383d

Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen

Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima

Inhalt

1. Auftrag
 2. Ausgangslage, Problemstellung
 3. Angaben zum Objekt, Randbedingungen
 4. Rechenmodell HELIOS
 5. Ergebnisse
 6. Zusammenfassung
- Literaturhinweise
- Anhang

Dieser Bericht (inkl. Anhang) umfasst total 24 Seiten.

Dübendorf, 21. April 2008
Abteilung Bautechnologien
Th. Frank



1. Auftrag

Die Firma Saint-Gobain Isover SA, vertreten durch Herrn Martin Bohnenblust, erteilte der EMPA Abteilung Bautechnologien den Auftrag, den sommerlichen Wärmeschutz von Dachräumen zu untersuchen und die Einflussfaktoren auf das Raumklima im Detail zu analysieren. Die Grösse und Bauart des Dachraumes wurden vom Auftraggeber vorgegeben. Die Untersuchung erfolgte rechnerisch mit dem dynamischen Gebäudesimulationsprogramm HELIOS für das Klima von Zürich-Kloten.

2. Ausgangslage, Problemstellung

Die langjährigen Temperaturmessungen der Meteo Schweiz bestätigen, dass in der Schweiz seit 1980 eine deutliche Klimaerwärmung beobachtet werden kann. Aus Bild 1 ist ersichtlich, dass die Abweichung der Sommertemperaturen in der Schweiz (Durchschnitt Juni bis August) gegenüber dem Normwert von 1961-1990 immer deutlich im positiven Bereich liegt und im Jahr 2003 einen Rekordwert von +4.8°C erreichte. Der OcCC-Bericht „Extremereignisse und Klimaänderungen“ [2] weist deshalb darauf hin, dass in der Schweiz in Zukunft mit mehr wärmeren Wettersituationen und einer Zunahme der extremen Wetterereignisse zu rechnen ist. In Bild 2 ist links der von den Meteorologen in Hadley UK prognostizierte Temperaturanstieg für dieses Jahrhundert dargestellt und rechts eine Karte der Verteilung der prognostizierten Temperaturerwärmung in Europa für die Periode 2071-2100 gemäss Grünbuch der Europäischen Kommission abgebildet. Daraus geht hervor, dass die Erwärmung in Nord-Skandinavien, in den südeuropäischen Ländern sowie im mitteleuropäischen Alpenraum am höchsten ausfallen wird.

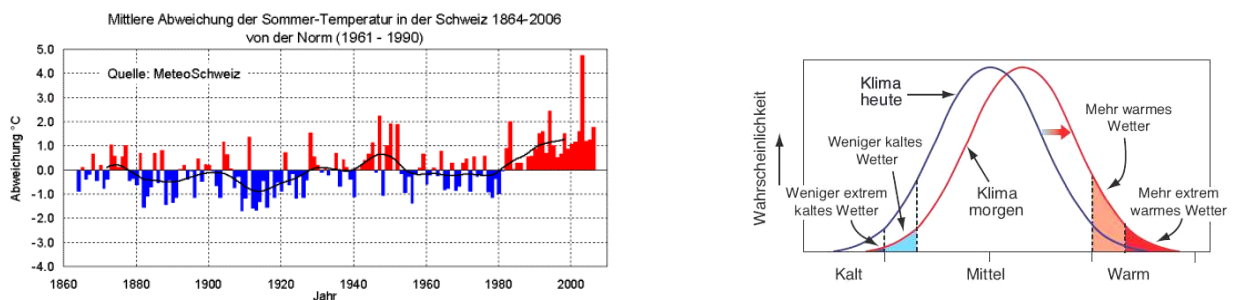


Bild 1: Abweichung der Sommertemperaturen von der WMO Norm und Trendentwicklung nach OcCC [2]

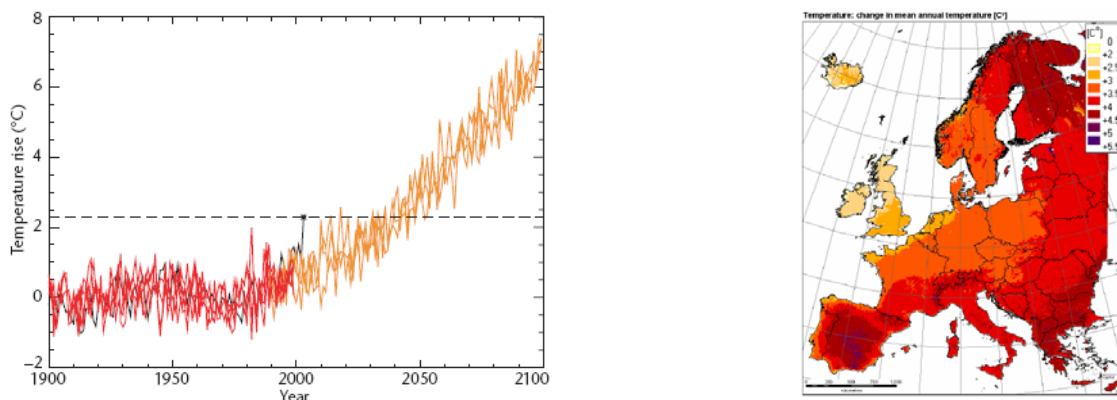


Bild 2: Prognostizierter Temperaturanstieg für Europa bis 2100 [1] und für den Zeitraum 2071-2100 [3].

Neben der Temperaturerhöhung kann eine weitere klimatische Veränderung beobachtet werden: Die Häufigkeit und Länge von Hitzeperioden, d.h. die Anzahl Tage mit Aussenlufttemperaturmaxima grösser als 30°C, nimmt zu. Während eine normale Sommerperiode bisher durchschnittlich 3 Hitzetage aufwies (Bild 3 oben) ist vermehrt mit längeren Hitzeperioden von 10 bis 12 Hitzetagen zu rechnen, wie die Beispiele aus den Jahren 2003 (Bild 3 unten) und 2006 gezeigt haben.

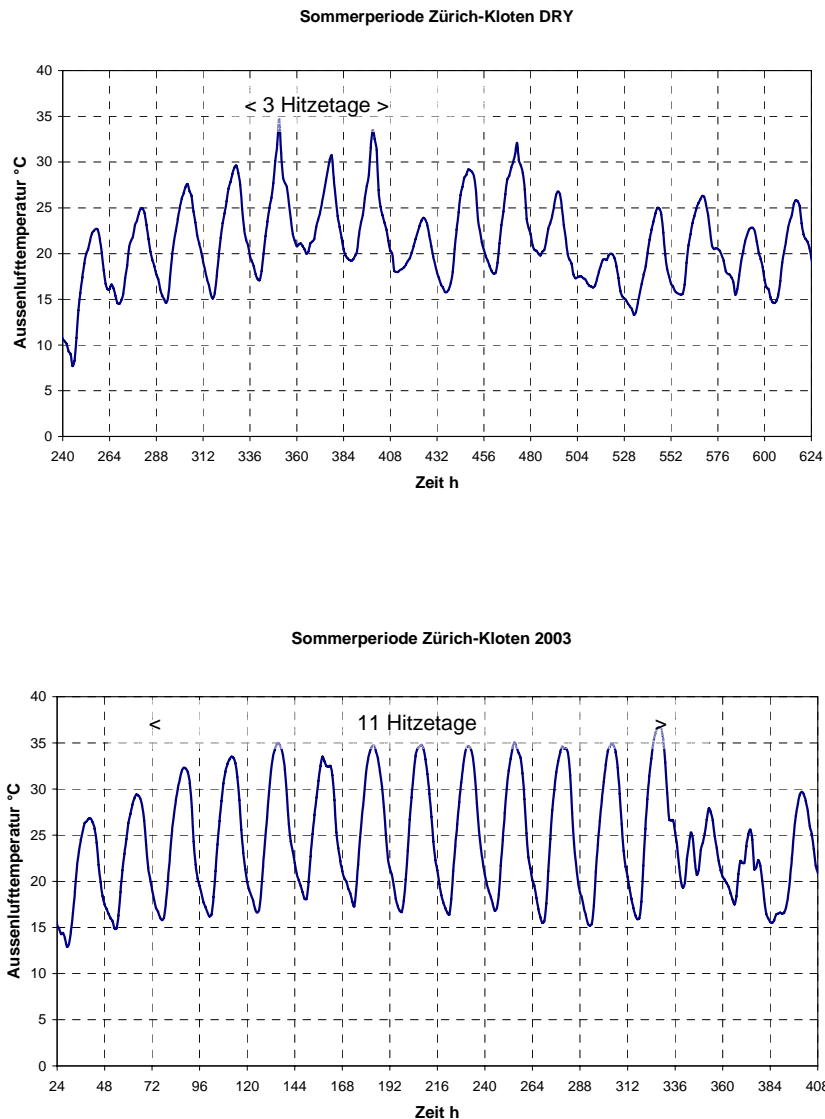


Bild 3: Normale Sommerperiode DRY mit 3 Hitzetagen und extreme Sommerperiode 2003 mit 11 Hitzetagen

Mit dieser sich abzeichnenden Klimaerwärmung gewinnt der sommerliche Wärmeschutz stark an Bedeutung. Besondere Beachtung muss den Dachräumen zugemessen werden, da sie speziell den hohen Sonnenstrahlungsintensitäten ausgesetzt sind. Liegt zudem eine Holzbauweise vor, tritt noch die Frage einer ausreichenden Wärmespeicherfähigkeit des Raumes auf, um die hohen Temperatureinwirkungen zu dämpfen. Um das Temperaturverhalten eines Dachraumes richtig einschätzen zu können, bedarf es einer gesamtheitlichen Wärmebilanzbetrachtung des Raumes mit einem dynamischen Simulationsmodell unter

Einbezug der folgenden Aspekte:

Wärmegewinne (Zugeführte Wärme)

- . Interne Lasten von Personen, Geräten, Beleuchtung (Tagesgang der konvektiven und radiativen Lasten)
- . Solare Gewinne durch Fensterflächen (Orientierung, Fenstergrösse, g-Wert, Beschattungsmassnahmen)
- . Solare Gewinne durch opake Flächen (Orientierung, Absorptionsgrad der Oberfläche, Wärmedurchgang)

Wärmeverluste (Abgeführte Wärme)

- . Transmissionswärmedurchgang (Dach, Wand, Fenster, Türen, Boden, Innenbauteile)
- . Lüftungswärmetransfer durch Infiltration (Fugen und andere Undichtigkeiten)
- . Lüftungswärmetransfer durch Ventilation (Fensterlüftung, mechanische Lüftung)

Wärmespeicherung (Gebäudehülle und Innenbauteile)

- . Wärmespeicherverhalten der Bauteile bezüglich Raumtemperaturschwingungen mit der Periodenlänge T
- . Wärmespeicherverhalten der Bauteile bezüglich Aussentemperaturschwingungen mit der Periodenlänge T
- . Wärmespeicherverhalten des gesamten Raumes (Raumspeicherkapazität, Zeitkonstante) bezüglich Temperaturschwingungen mit der Periodenlänge T oder eines einzelnen Temperatursprungs

Wird das sommerliche Temperaturverhalten von Dachräumen bei identischen Transmissionswärmedurchgangsbedingungen jedoch bei unterschiedlichen Lüftungs-, Wärmegewinn- und Wärmespeicherbedingungen betrachtet, können die wichtigsten Einflussgrössen wie folgt gemäss Bild 4 gegliedert werden.

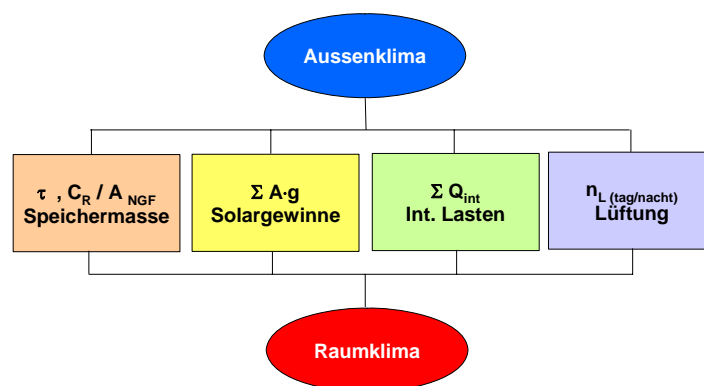


Bild 4: Einflussgrössen auf das sommerliche Temperaturverhalten eines Dachraumes

Zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens von Bauteilen und Räumen werden in den verschiedenen SIA-Normen nachfolgende Begriffe verwendet:

Bauteilkennwerte

Stationärer Wärmedurchgangskoeffizient	U	W/(m ² K)	SIA 180 [6]
Dynamischer, periodischer Wärmedurchgangskoeffizient bezüglich der Periodendauer T = 24 h	U ₂₄	W/(m ² K)	SIA 180 [6]
Flächenbezogene Wärmespeicherkapazität, innen	κ _i	Wh/(m ² K)	SIA 180.073 [10]
Flächenbezogene Wärmespeicherkapazität, aussen	κ _e	Wh/(m ² K)	SIA 180.073 [10]

Raumkennwerte

Dynamische Wärmespeicherkapazität des Raumes	C _R = ΣA _i κ _i	Wh/K	SIA 382/1 [8]
Dynamische Wärmespeicherkapazität des Raumes bezogen auf die Nettogeschossfläche A _{NGF}	C _R / A _{NGF}	Wh/(m ² K)	SIA 382/1 [8]
Statische Wärmespeicherkapazität des Raumes	C = Σ A _i Σ ρ _j d _j c _j	Wh/K	SIA 180 [6]
Wärmeverlustkoeffizient des Raumes (Transmission und Lüftung)	H = H _T + H _V	W/K	SIA 180 [6]
Zeitkonstante des Raumes	τ = C / H	h	SIA 180 [6]

Strahlungslufttemperatur

Beim sommerlichen Wärmeschutz ist der Einfluss der kurz- und langwelligen Strahlung auf den Transmissionswärmedurchgang von grosser Bedeutung (Wärmequellen und Senken an der Aussenoberfläche). Er kann mit der nachfolgenden Definition einer sogenannten Strahlungslufttemperatur θ_e^{*} erfasst werden, welche folgende zu berücksichtigende Einflussgrössen enthält:

$$\theta_e^* = \theta_e + (\alpha_s \cdot I_s - \varepsilon \cdot \Delta I_R) / h_e$$

- θ_e Aussenlufttemperatur in °C
- α_s solarer Absorptionsgrad der Oberfläche
- I_s Solarstrahlungsintensität in W/m²
- ε Emissionsgrad der Oberfläche
- ΔI_R Infrarotstrahlungs-Zusatzverlust an den klaren Himmel in W/m²
- h_e Wärmeübergangskoeffizient aussen in W/(m²K)

Thermischer Komfort

Die optimale Raumtemperatur gemäss SIA 180 [6] in Abhängigkeit der Tätigkeit und Bekleidung ist in Bild 5 links dargestellt, auf der rechten Bildseite ist der zulässige Betriebsbereich der Raumlufttemperatur in Abhängigkeit der Tagesmaxima der Aussenlufttemperatur gemäss SIA 382/3 [9] angegeben.

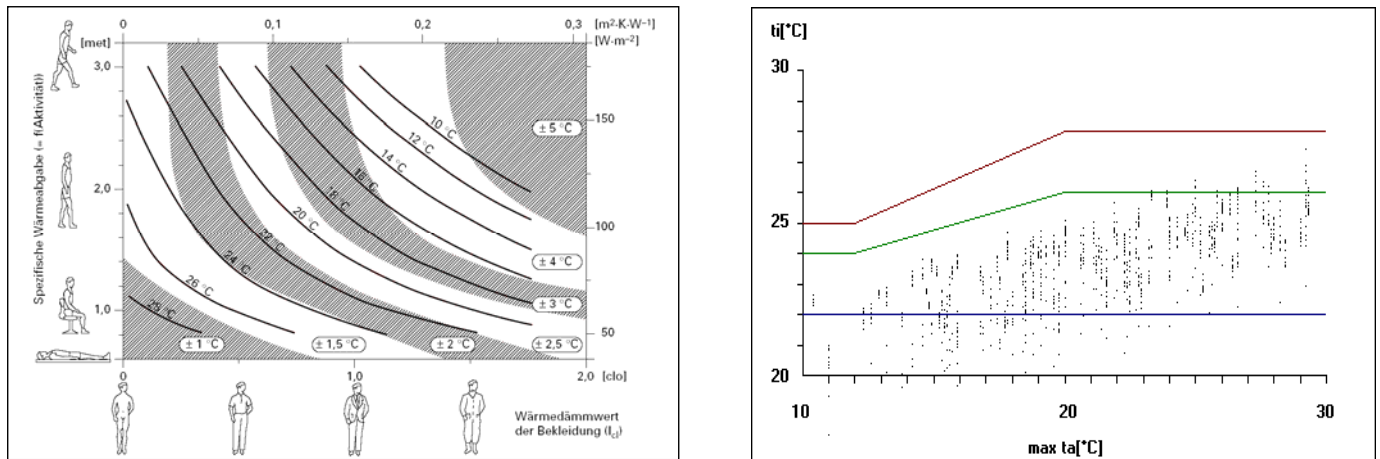


Bild 5: Optimale Raumtemperaturen nach SIA 180 [6] und zulässiger Betriebsbereich nach SIA 382/3 [9]

Eine differenziertere Abstufung der Komfortanforderungen in 4 Kategorien ist in der neuen EN 15251[11] enthalten, welche folgende in Tabelle 1 angegebene Temperaturbereiche für den Sommer bei einer Tätigkeit von 1.2 met und einer Bekleidung von 0.5 clo angibt.

Kategorie	PPD	Raumtemperaturbereich °C
I	< 6%	23.5 – 25.5
II	< 10%	23.0 – 26.0
III	< 15%	22.0 – 27.0
IV	> 15%	< 22.0 bzw. > 27.0

Tabelle 1: Zulässige Raumtemperaturbereiche für den Sommer bei einer Tätigkeit von 1.2 met und einer Bekleidung von 0.5 clo nach EN 15251 [11]

PPD: Erwarteter Anteil Unzufriedener (Predicted Percentage Dissatisfied)

In dieser Untersuchung sollen folgende Problemstellungen betreffend Raumklima im Vordergrund stehen:

- Sommerliches Temperaturverhalten eines normalen Dachraumes in Holzbauweise mit aktuellem Wärmedämmstandard und bei Verwendung unterschiedlicher Wärmedämmstoffarten
- Einfluss eines moderaten Glasflächenanteils (10% bzw. 20% der Bodenfläche) und der Orientierung
- Einfluss der internen Wärmelasten (Nutzung Wohnen 5 W/m², 10 W/m², 15 W/m²)
- Analyse der Faktoren, welche das Temperaturverhalten des Raumes massgeblich beeinflussen

3. Angaben zum Objekt, Randbedingungen

Die Untersuchungen wurden an einem Dachraum in Holzbauweise mit den Dimensionen gemäss Bild 6 durchgeführt. Der Raum besitzt ein Steildach, zwei Wände gegen das Aussenklima und zwei Wände gegen Nachbarräume. Es wurden zwei Fensterflächenvarianten untersucht, eine Dachflächenfenstervariante mit der Gesamtfläche von 2 m² (10% der Bodenfläche) und eine Fensterbalkontürenvariante mit der Fläche von 4m² (20% der Bodenfläche). Die Hüllflächenauszüge der beiden Raumvarianten sind in den Tabellen 2a und 2b zusammengestellt. Das Volumen des Raumes beträgt 53.3 m³.

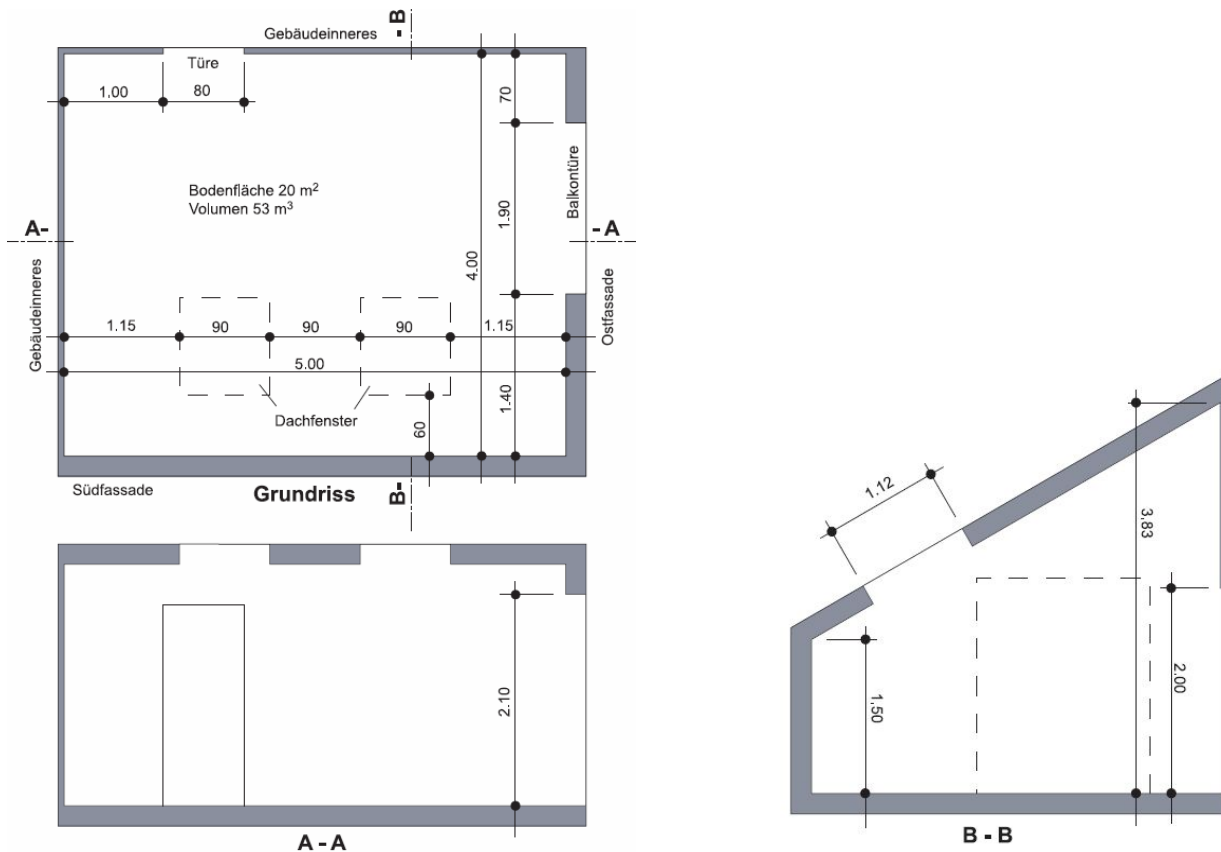


Bild 6: Grundriss und Schnitte des untersuchter Dachraumes mit Steildach und 2 Fensterflächenvarianten

Bauteil	Orientierung	Fläche in m ²
Aussenwand	Ost	10.7
Aussenwand	Süd	7.5
Steildach	Süd	21.2
Dachflächenfenster	Süd	2.0
Trennwand gegen Innenklima	West	10.7
Trennwand gegen Innenklima	Nord	17.2
Türe gegen Innenklima	Nord	2.0

Tabelle 2a: Hüllflächen des Dachraumes mit der Dachflächenfenstervariante

Bauteil	Orientierung	Fläche in m ²
Aussenwand	Ost	6.7
Balkonfenstertüre	Ost	4.0
Aussenwand	Süd	7.5
Steildach	Süd	23.2
Trennwand gegen Innenklima	West	10.7
Trennwand gegen Innenklima	Nord	17.2
Türe gegen Innenklima	Nord	2.0

Tabelle 2b: Hüllflächen des Dachraumes mit der Balkonfenstertürenvariante

Die Kenngrößen der Fensterkonstruktionen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Gegenstand	Kennwert
2-IV Wärmeschutzverglasung	$U_g = 1.1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g = 0.60$
Ψ -Wert des Glasrandverbundes aus Edelstahl	$\Psi = 0.06 \text{ W}/(\text{mK})$
Holzmetallfensterahmen	$U_f = 1.6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Fensterrahmenflächenanteil	25 %
Wärmedurchgangskoeffizient Dachfenster	$U_w = 1.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Wärmedurchgangskoeffizient Balkonfenstertüre	$U_w = 1.4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Tabelle 3: Kenngrößen der Fensterkonstruktionen

Die Aufbauten und Abmessungen der Dach-, Wand- und Bodenkonstruktionen sind in Anhang 1 zusammengestellt. Es sind jeweils zwei Wärmedämmstärken (20cm und 20+6cm, 5 verschiedene Wärmedämmstoffarten und 1- oder 2-lagige raumseitige Beplankungen mit Gipsfaserplatten GFP untersucht worden. In den nachfolgenden Tabellen 4 bis 8 sind die Wärmedurchgangs- und Wärmespeicherkennwerte der Konstruktionen zusammengestellt. Die für die Berechnungen verwendeten Materialkennwerte sind in Anhang 2 aufgeführt. Als Bodenbelag wurden eine Teppich- und eine Steinfliesenvariante untersucht.

Variante	Wärmedämmstoff und Beplankung (Dämmstärke 200 mm)	U (EN 6946) W/(m ² K)	U_{24} EN 13786 W/(m ² K)	κ_{s1} EN 13786 Wh/(m ² K)
D1.1a	Glaswolle ,Beplankung 12.5 mm GFP	0.20	0.15	6
D1.1b	Glaswolle, Beplankung 25 mm GFP	0.20	0.14	9
D1.2a	Steinwolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.20	0.14	6
D1.2b	Steinwolle, Beplankung 25 mm GFP	0.20	0.13	9
D1.3a	Zellulose, Beplankung 12.5 mm GFP	0.21	0.09	6
D1.3b	Zellulose, Beplankung 25 mm GFP	0.21	0.09	9
D1.4a	Holzweichfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.21	0.11	6
D1.4b	Holzweichfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.20	0.10	9
D1.5a	Holzfaserverplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.22	0.07	6
D1.5b	Holzfaserverplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.22	0.07	9

Tabelle 4: Kennwerte der Dachkonstruktion, Variante 1

Variante	Wärmedämmstoff (Dämmstärke 200 mm + 60 mm)	U (EN 6946) W/(m ² K)	U_{24} EN 13786 W/(m ² K)	κ_i EN 13786 Wh/(m ² K)
D2.1a	Glaswolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.16	0.09	6
D2.1b	Glaswolle, Beplankung 25 mm GFP	0.16	0.09	9
D2.2a	Steinwolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.16	0.08	6
D2.2b	Steinwolle, Beplankung 25 mm GFP	0.16	0.08	9
D2.3a	Zellulose, Beplankung 12.5 mm GFP	0.17	0.05	6
D2.3b	Zellulose, Beplankung 25 mm GFP	0.17	0.05	9
D2.4a	Holzweichfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.17	0.06	6
D2.4b	Holzweichfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.17	0.06	9
D2.5a	Holzfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.18	0.04	6
D2.5b	Holzfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.18	0.03	9

Tabelle 5: Kennwerte der Dachkonstruktion, Variante 2

Variante	Wärmedämmstoff und Beplankung (Dämmstärke 200 mm)	U (EN 6946) W/(m ² K)	U_{24} EN 13786 W/(m ² K)	κ_i EN 13786 Wh/(m ² K)
A1.1a	Glaswolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.19	0.12	8
A1.1b	Glaswolle, Beplankung 25 mm GFP	0.18	0.11	11
A1.2a	Steinwolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.19	0.12	8
A1.2b	Steinwolle, Beplankung 25 mm GFP	0.18	0.11	11
A1.3a	Zellulose, Beplankung 12.5 mm GFP	0.20	0.08	8
A1.3b	Zellulose, Beplankung 25 mm GFP	0.19	0.07	10
A1.4a	Holzweichfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.20	0.09	8
A1.4b	Holzweichfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.19	0.08	10
A1.5a	Holzfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.21	0.06	8
A1.5b	Holzfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.21	0.05	10

Tabelle 6: Kennwerte der Aussenwand, Variante 1

Variante	Wärmedämmstoff und Beplankung (Dämmstärke 200 mm + 60 mm)	U (EN 6946) W/(m ² K)	U_{24} EN 13786 W/(m ² K)	κ_i EN 13786 Wh/(m ² K)
A2.1a	Glaswolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.15	0.05	5
A2.1b	Glaswolle, Beplankung 25 mm GFP	0.15	0.05	8
A2.2a	Steinwolle, Beplankung 12.5 mm GFP	0.15	0.05	5
A2.2b	Steinwolle, Beplankung 25 mm GFP	0.15	0.05	8
A2.3a	Zellulose, Bodenbelag Teppich	0.16	0.03	6
A2.3b	Zellulose, Bodenbelag Stein	0.16	0.03	8
A2.4a	Holzweichfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.16	0.06	6
A2.4b	Holzweichfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.16	0.06	8
A2.5a	Holzfaserplatte, Beplankung 12.5 mm GFP	0.17	0.02	6
A2.5b	Holzfaserplatte, Beplankung 25 mm GFP	0.17	0.02	9

Tabelle 7: Kennwerte der Aussenwand, Variante 2

Variante	Wärmedämmstoff und Bodenbelag (Dämmstärke 200 mm)	U (EN 6946) W/(m ² K)	U_{24} EN 13786 W/(m ² K)	κ_i EN 13786 Wh/(m ² K)
B1.1a	Glaswolle, Bodenbelag Teppich	0.18	0.03	12
B1.1b	Glaswolle, Bodenbelag Stein	0.18	0.04	24
B1.2a	Steinwolle, Bodenbelag Teppich	0.18	0.03	12
B1.2b	Steinwolle, Bodenbelag Stein	0.18	0.04	24
B1.3a	Zellulose, Bodenbelag Teppich	0.18	0.02	12
B1.3b	Zellulose, Bodenbelag Stein	0.19	0.03	24
B1.4a	Holzweichfaserplatte, Bodenbelag Teppich	0.18	0.02	12
B1.4b	Holzweichfaserplatte, Bodenbelag Stein	0.18	0.03	24
B1.5a	Holzfaserverplatte, Bodenbelag Teppich	0.19	0.01	12
B1.5b	Holzfaserverplatte, Bodenbelag Stein	0.20	0.02	24

Tabelle 8: Kennwerte der Bodenkonstruktionen

Die Angaben für den Lüftungsbetrieb, die internen Wärmelasten sowie die Sonnenschutzmassnahmen sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Gegenstand	Varianten	
Lüftung	Hygienischer Grundluftwechsel	$n_L = 0.5 \text{ 1/h}$
(Fensterlüftung)	Keine Nachtlüftung	$n_{L,N} = 0 \text{ 1/h}$
	Schwache Nachtlüftung	$n_{L,N} = 1 \text{ 1/h}$
	Gute Nachtlüftung	$n_{L,N} = 3 \text{ 1/h}$
Interne Lasten (Personen + Elektrogeräte)	Normale Nutzung	$q_i = 5 \text{ W/m}^2$
(50 % konvektiv, 50 % radiativ)	Mittlere Nutzung	$q_i = 10 \text{ W/m}^2$
	Intensive Nutzung	$q_i = 15 \text{ W/m}^2$
Sonnenschutzmassnahmen	Keine Sonnenschutzmassnahmen	$g = 0.60, b=1.0$
(resultierender g-Wert des Fensters, Beschattungs-	Markisen aussen	$g = 0.30, b=0.5$
faktor b)	Aussenlamellenstoren	$g = 0.12, b=0.2$

Tabelle 9: Varianten betreffend Lüftung, interne Wärmelasten und Sonnenschutzmassnahmen

Als Klimastation wurde Zürich-Kloten (425 m.ü.M.) mit den DRY-Wetterdaten gewählt. Die Gebäudesimulationen wurden über eine Sommerperiode vom 15. Juli bis 15. August durchgeführt. Die Auswertungen und Analysen zum Temperaturverhalten des Dachraumes wurden über die Hitzeperiode vom 25. Juli bis 6. August erstellt. Der Verlauf der Aussenlufttemperatur und Solarstrahlungsintensität auf eine horizontale Ebene für diese Periode ist in Bild 7 dargestellt.

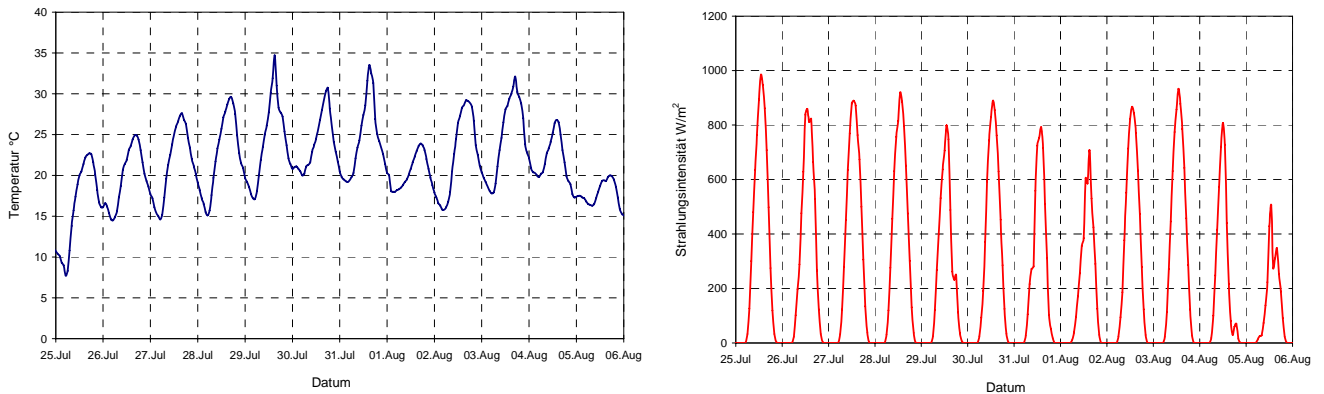


Bild 7: Aussenlufttemperatur und Solarstrahlungsintensität für eine Hitzeperiode in Zürich-Kloten

4. Rechenmodell HELIOS

Die thermischen Gebäudesimulationsrechnungen wurden mit dem an der EMPA entwickelten Rechenprogramm HELIOS-XP durchgeführt. Das dynamische 1-Zonen-Modell bilanziert im Stundenschritt alle ein- und austretenden Wärmeströme unter Berücksichtigung der kurz- und langwelligen Strahlungsbilanz an der Gebäudehülle und erlaubt die Bestimmung der Heiz- und Kühllasten sowie der Bauteil-Oberflächentemperaturen und der Lufttemperatur im Raum unter Einbezug der Wärmespeicherungsvorgänge in allen Baukonstruktionen. Die Wärmeleitung durch die opaken Bauteile wird dabei nach der Response-Faktorenmethode ermittelt. Die Raumlufttemperatur in einer Zone wird als homogen, d.h. ideal durchmischt, betrachtet. In Bild 8 sind schematisch die thermischen Einwirkungen an einem Raummodul und deren Berücksichtigung im Gebäudesimulationsmodell HELIOS dargestellt.

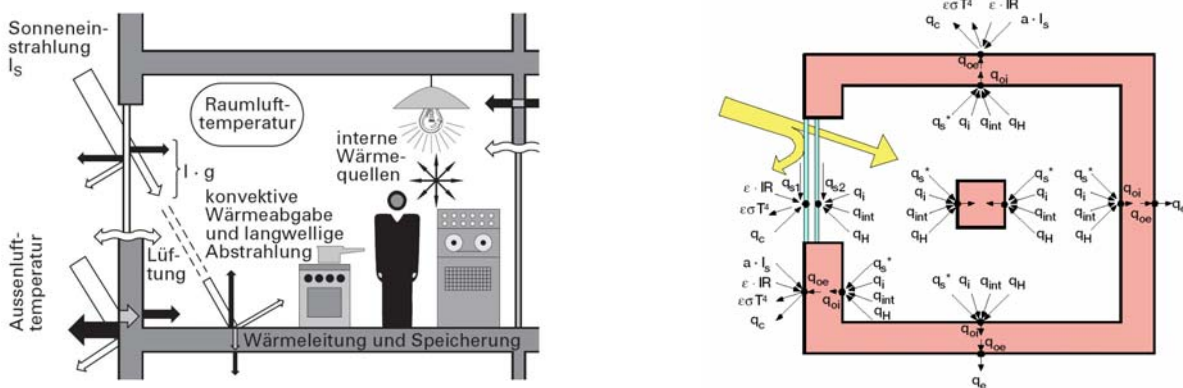


Bild 8: Thermische Einwirkungen am Raummodul (links) und beim Raumbilanzmodell HELIOS (rechts)

Allen Randbedingungen wie Aussenklima, interne Lasten und Lüftung liegen Stundenwerte zu Grunde.

5. Ergebnisse

Raumwärmespeicherkapazität C_R

Die thermische Trägheit eines Raumes wird nach SIA 382/1 [8] mit der Raumwärmespeicherkapazität C_R bezogen auf die Nettogeschossfläche A_{NGF} charakterisiert. In Tabelle 10 sind für den untersuchten Dachraum (Holzständerbauweise, Wand- und Dachbeplankung innen aus 12.5 mm Gipsfaserplatten, Zementunterlagsboden mit Teppichbelag) die Raumspeicherkennwerte für die unterschiedlichen Wärmedämmstoffvarianten angegeben. Um die Grössenordnung der Veränderung einschätzen zu können, sind in Tabelle 11 vergleichsweise die Werte bei unterschiedlicher Bauweise aufgeführt. Daraus geht hervor, dass die Unterschiede von maximal 4 Wh/(m²K) infolge Wärmedämmstoffart als geringfügig und deshalb als unbedeutend einzustufen sind. Eine wesentliche Erhöhung der Wärmespeicherkapazität des Raumes kann mit einer zweilagigen Gipsfaserbeplankung, einem Steinbodenbelag oder der Verwendung von massiven Baukonstruktionen im Innenbereich erreicht werden. Der von der SIA 382/1 [8] geforderte minimale Wert von 30 Wh/(m²K) wird von allen Dämmstoffvarianten eingehalten.

Holzständerbauvariante	C_R / A_{NGF} Wh/(m ² K)
Wärmedämmung mit Glaswolle	31 - 32
Wärmedämmung mit Steinwolle	32 - 33
Wärmedämmung mit Zellulose	33 - 34
Wärmedämmung mit Holzweichfaserdämmplatte	32 - 33
Wärmedämmung mit Holzfaserdämmplatte	34 - 35

Tabelle 10: Einfluss der Dämmstoffart auf die flächenbezogene Raumwärmespeicherkapazität

Bauweise	C_R / A_{NGF} Wh/(m ² K)
Holzständerbau, Beplankung mit 12.5 mm GFP, Teppichbodenbelag	31 - 34
Holzständerbau, Beplankung mit 25 mm GFP, Teppichbodenbelag	41 - 43
Holzständerbau, Beplankung mit 12.5 mm GFP, Steinbodenbelag	43 - 45
Steildach mit 12.5 mm GFP, Backstein-Wände, Teppichbodenbelag	50 - 53
Steildach mit 25 mm GFP, Backstein-Wände, Steinbodenbelag	65 - 68
Steildach mit 25 mm GFP, Betonaussenwände, Backstein-Innenwände, Steinbodenbelag	72 - 84
Massivbau ganz in Betonbauweise, Steinbodenbelag	90 - 100

Tabelle 11: Vergleich der flächenbezogenen Raumwärmespeicherkapazität bei unterschiedlicher Bauweise

Einfluss der Wärmedämmstoffart

Der Einfluss der Wärmedämmstoffart auf das Raumtemperaturverhalten im Sommer geht aus Bild 9 hervor. Die Raumlufttemperaturen liegen bei allen Dämmstoffvarianten sehr nahe beieinander (Bild oben), die Unterschiede bei den maximalen Temperaturen liegen im Detail (Bild unten) im Bereich von 0 - 1°C.

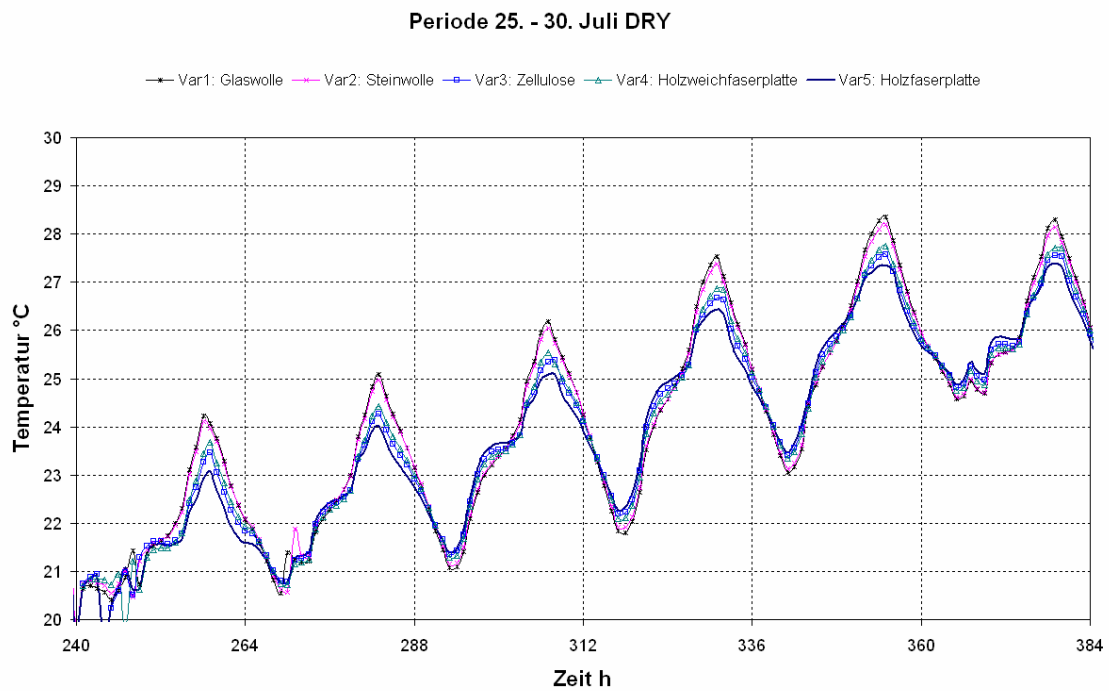
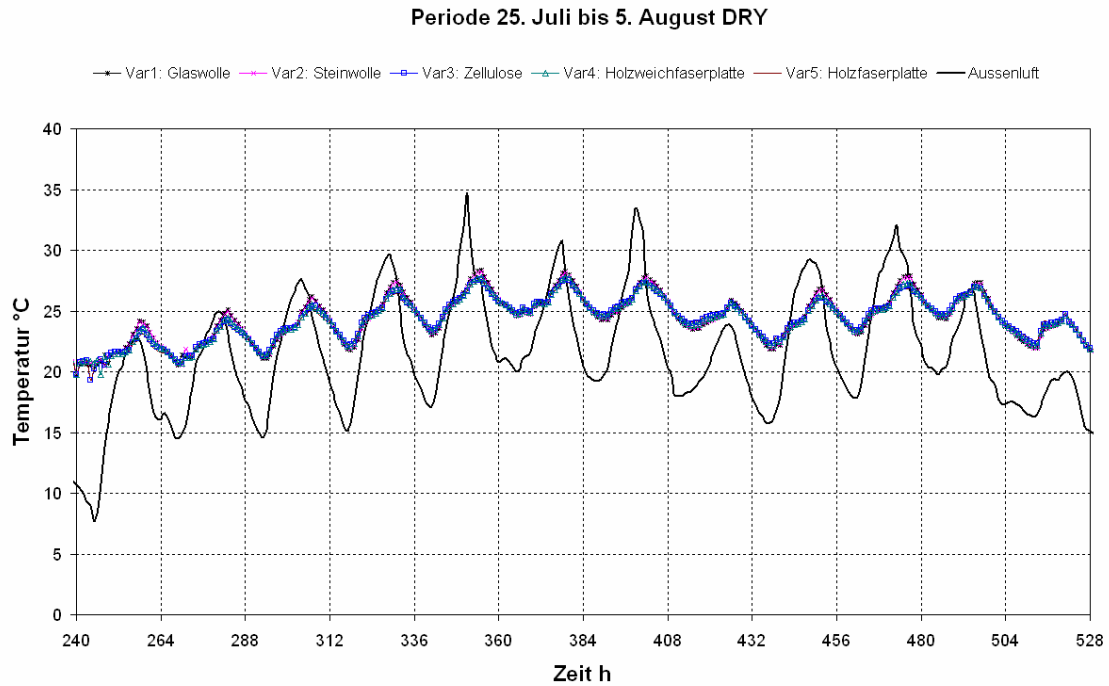


Bild 9: Einfluss der Wärmedämmstoffart auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Balkonfenstertüre $g=0.12$, Teppichbodenbelag, GFP-Belankungen 12.5 mm, Nachtlüftung $3 \text{ }^1/\text{h}$, $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, $U=0.2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Einfluss der Beplankung und des Bodenbelags

Der Einfluss der raumseitigen Oberflächenschichten auf das Raumtemperaturverhalten ist in Bild 10 oben deutlich erkennbar. Der Einsatz einer zweilagigen Beplankung mit Gipsfaserplatten und eines Steinbodenbelags führen zu einer Reduktion der Temperaturspitzen von bis zu 1.5°C (Bild unten).

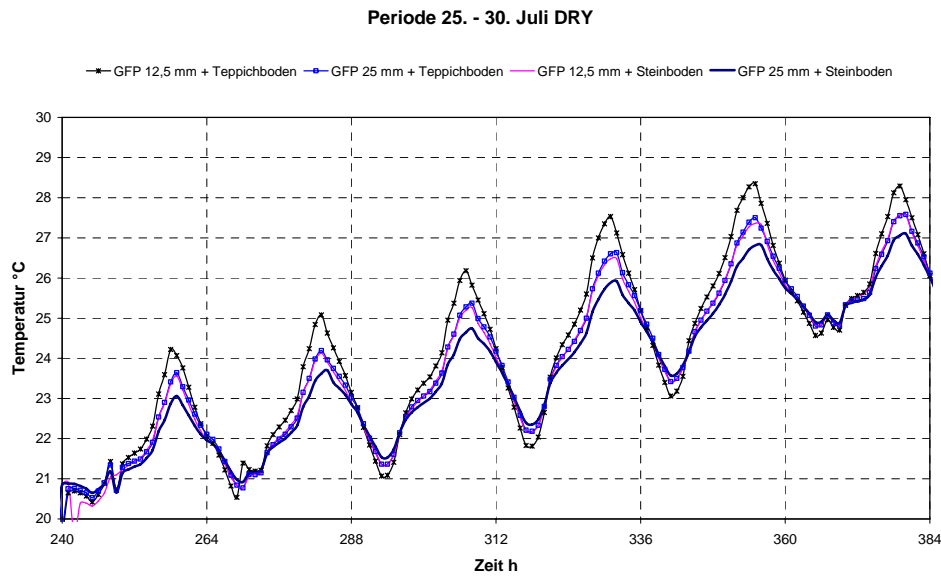
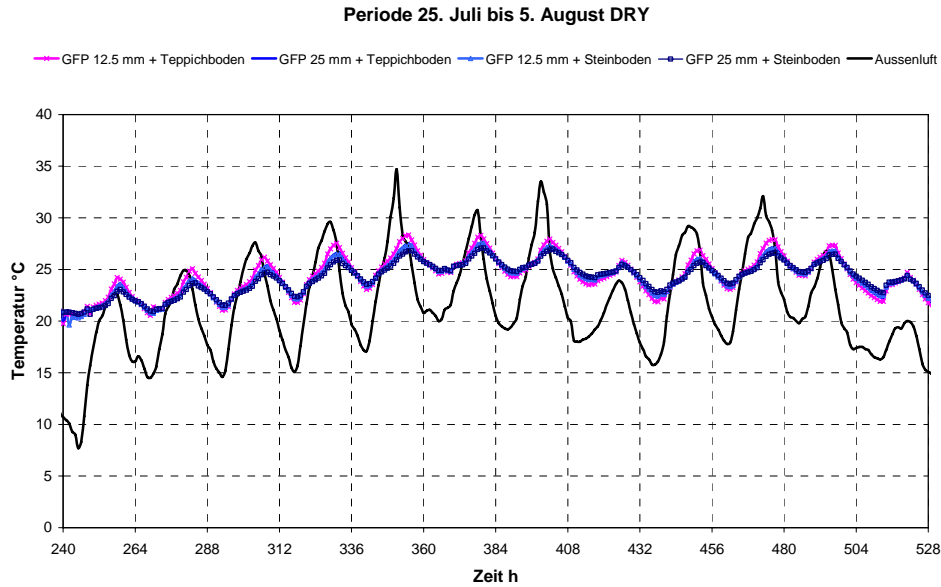


Bild 10: Einfluss der Beplankung und des Bodenbelags auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Dämmstoffvariante Glaswolle, Balkenfenstertüre $g=0.12$, Nachtlüftung 3 l/h , $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, $U=0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Einfluss des Sonnenschutzes

Bild 11 zeigt sehr deutlich, dass ohne wirksamer Sonnenschutz die Raumlufttemperaturen auf über 30°C ansteigen und der zulässige thermische Komfortbereich damit verlassen wird. Mit dem Einsatz von aussenliegenden Lamellenstoren ($g=0.12$) kann eine Reduktion der Temperaturspitzenwerte von 3.5°C erreicht werden.

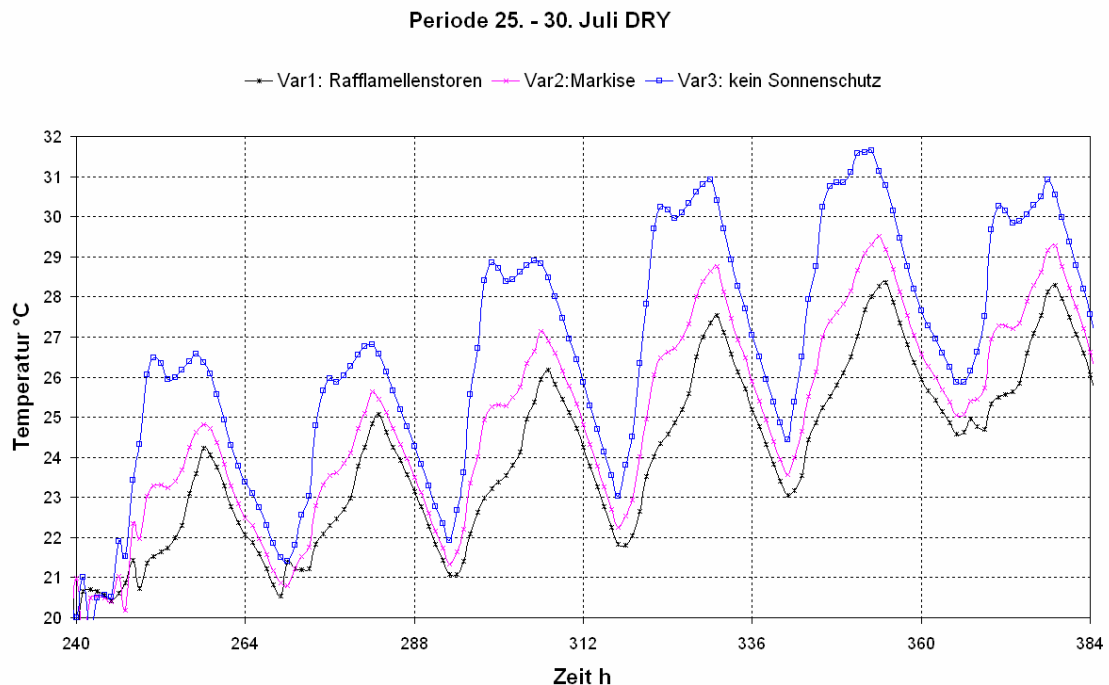
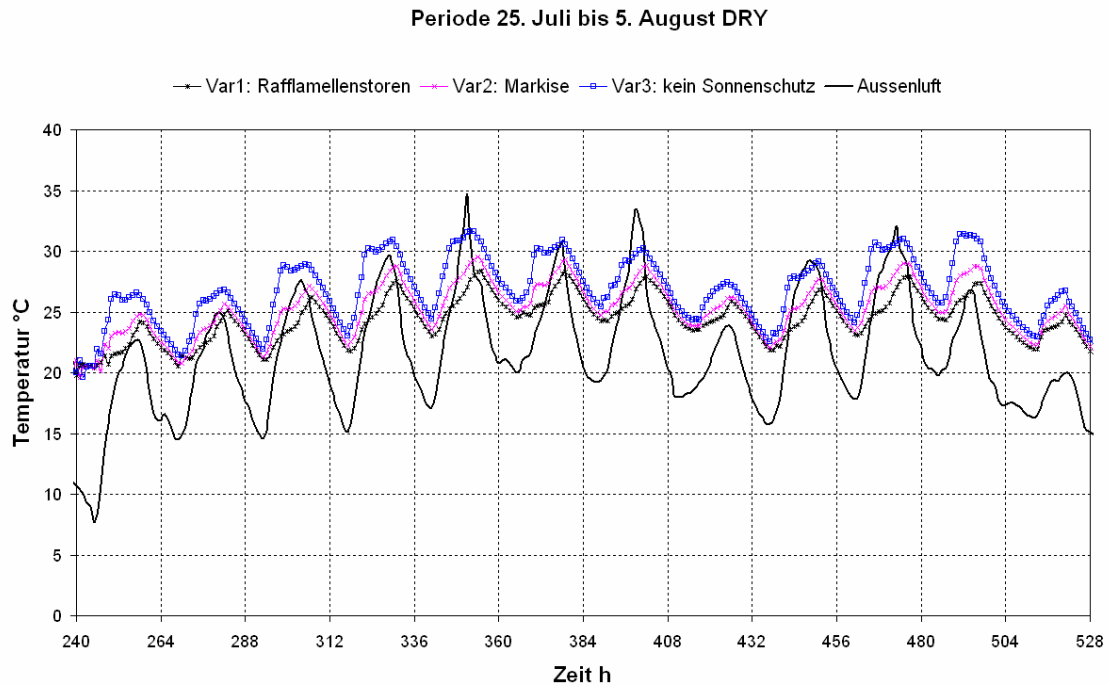


Bild 11: Einfluss des Sonnenschutzes auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Dämmstoffvariante Glaswolle, Balkonfenstertüre, Teppichbodenbelag, GFP-Bepunktungen 12.5 mm, Nachtlüftung 3 ¹/h, $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, $U=0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Einfluss der internen Wärmelasten

Die im Raum vorhandenen internen Wärmelasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung stellen einen wesentlichen Faktor für den Raumtemperaturverlauf dar. Wie aus Bild 12 sehr deutlich ersichtlich ist, führen Wärmelasten von 300 W bzw. 15 W/m² zu einer Temperaturerhöhung von 3°C im Raum.

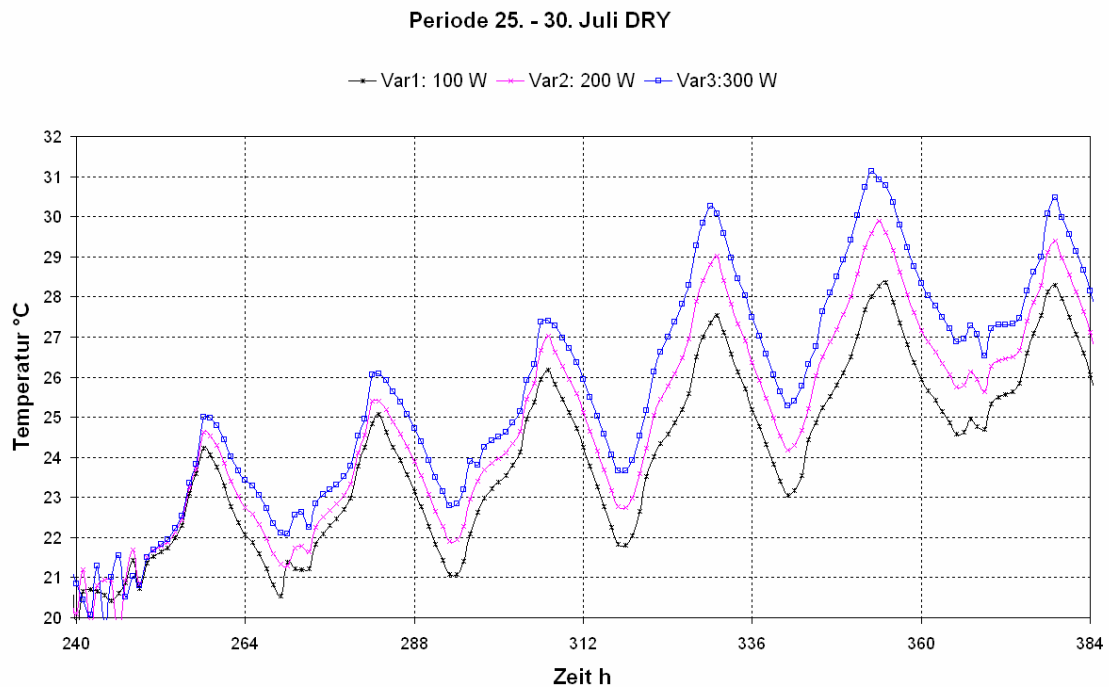
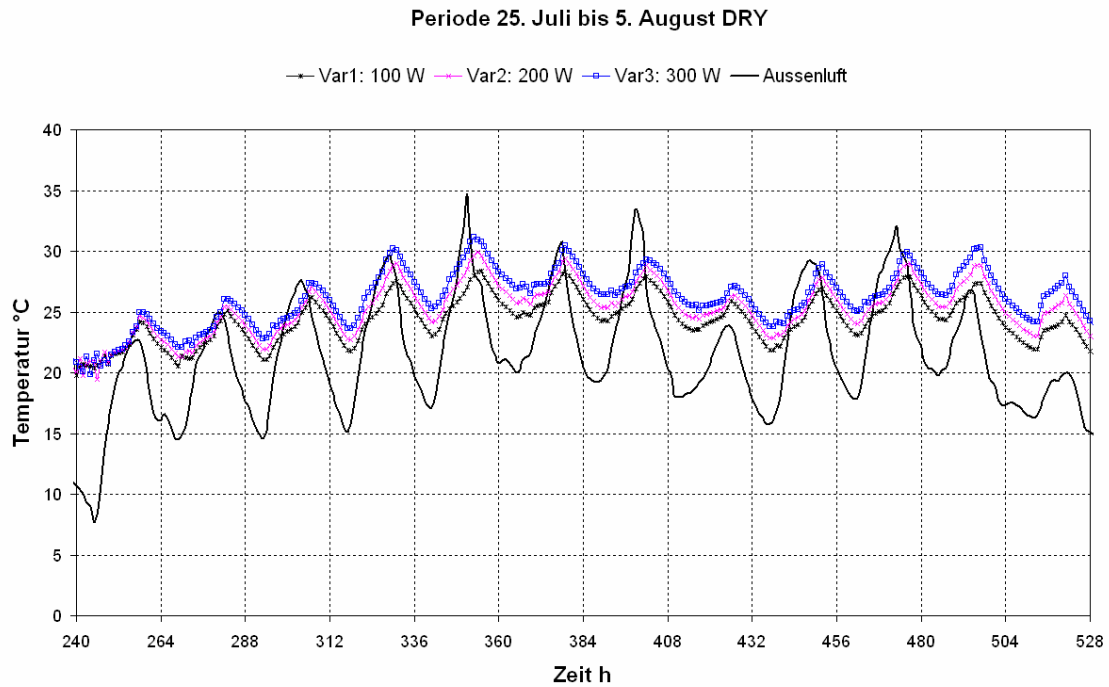


Bild 12: Einfluss der internen Wärmelasten auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Dämmstoffvariante Glaswolle, Balkenfenstertüre $g=0.12$, Teppichbodenbelag, GFP-Beplankungen 12.5 mm, Nachtlüftung 3 l/h, $U=0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Einfluss der Nachtlüftung

Die Nachtlüftung ist eine sehr wichtige Massnahme um die Raumtemperaturen während Hitzeperioden in einem akzeptablen Bereich halten zu können. Wie Bild 13 zeigt, kann mit einer 3-fachen Aussenluftwechselrate nachts eine Temperaturreduktion im Raum von bis 4.5°C erreicht werden.

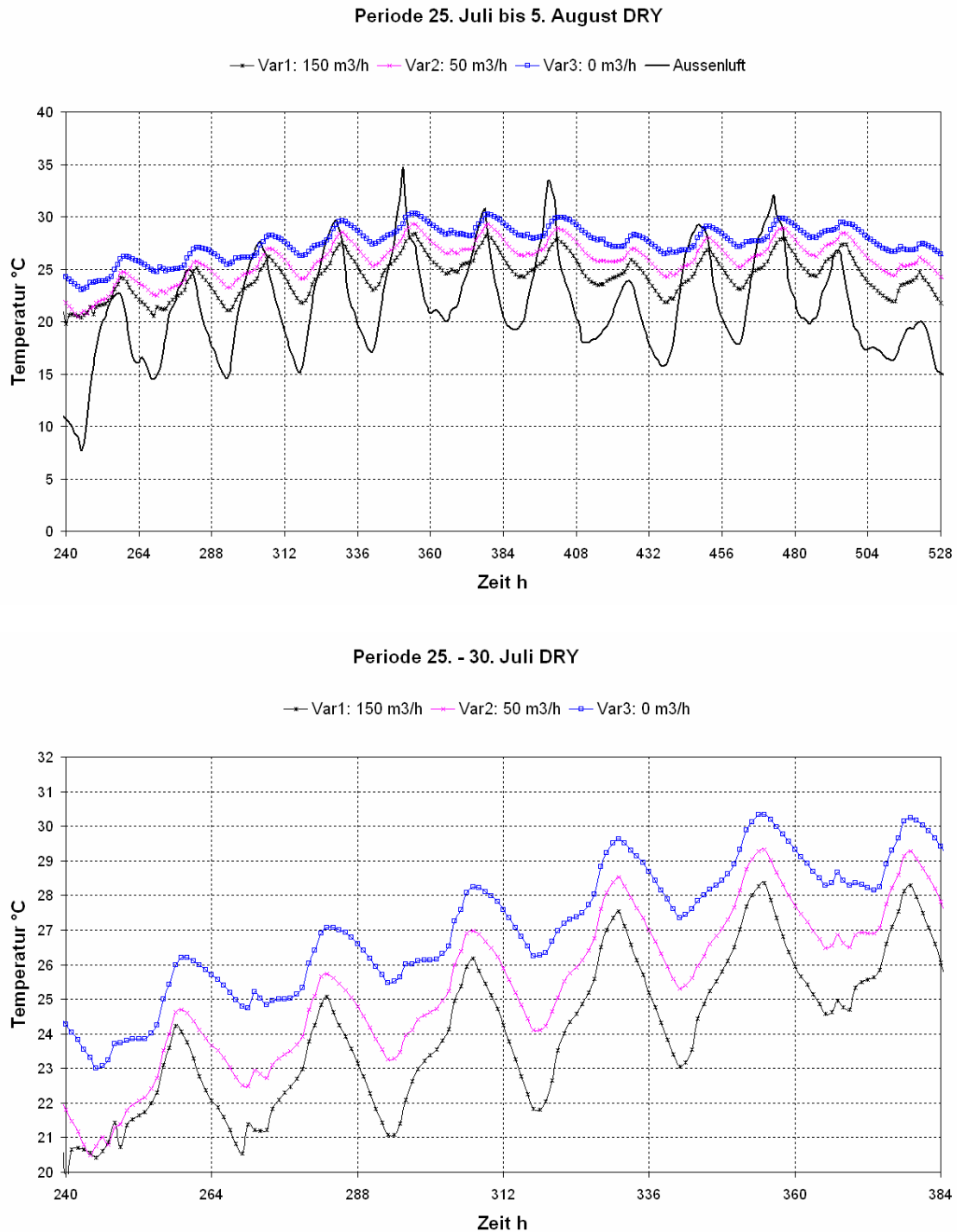


Bild 13: Einfluss der Nachtlüftung auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Dämmstoffvariante Glaswolle, Balkenfenstertüre $g=0.12$, Teppichbodenbelag, GFP-Bepankungen 12.5 mm, $q_i = 5$ W/m^2 , $U=0.2$ $W/(m^2K)$

Einfluss der Hitzeperiodenlänge

In Bild 14 sind die Raumtemperaturentwicklungen für eine 3-Tages-Hitzeperiode (oben) und eine 11-Tages-Hitzeperiode (unten) einander gegenüber gestellt. Die Länge der Hitzeperiode beeinflusst hier das Einschwingverhalten des Dachraumes, die resultierenden Temperaturspitzenwerte am Ende der 11-tägigen Periode liegen um 2°C höher als bei der 3-tägigen Periode.

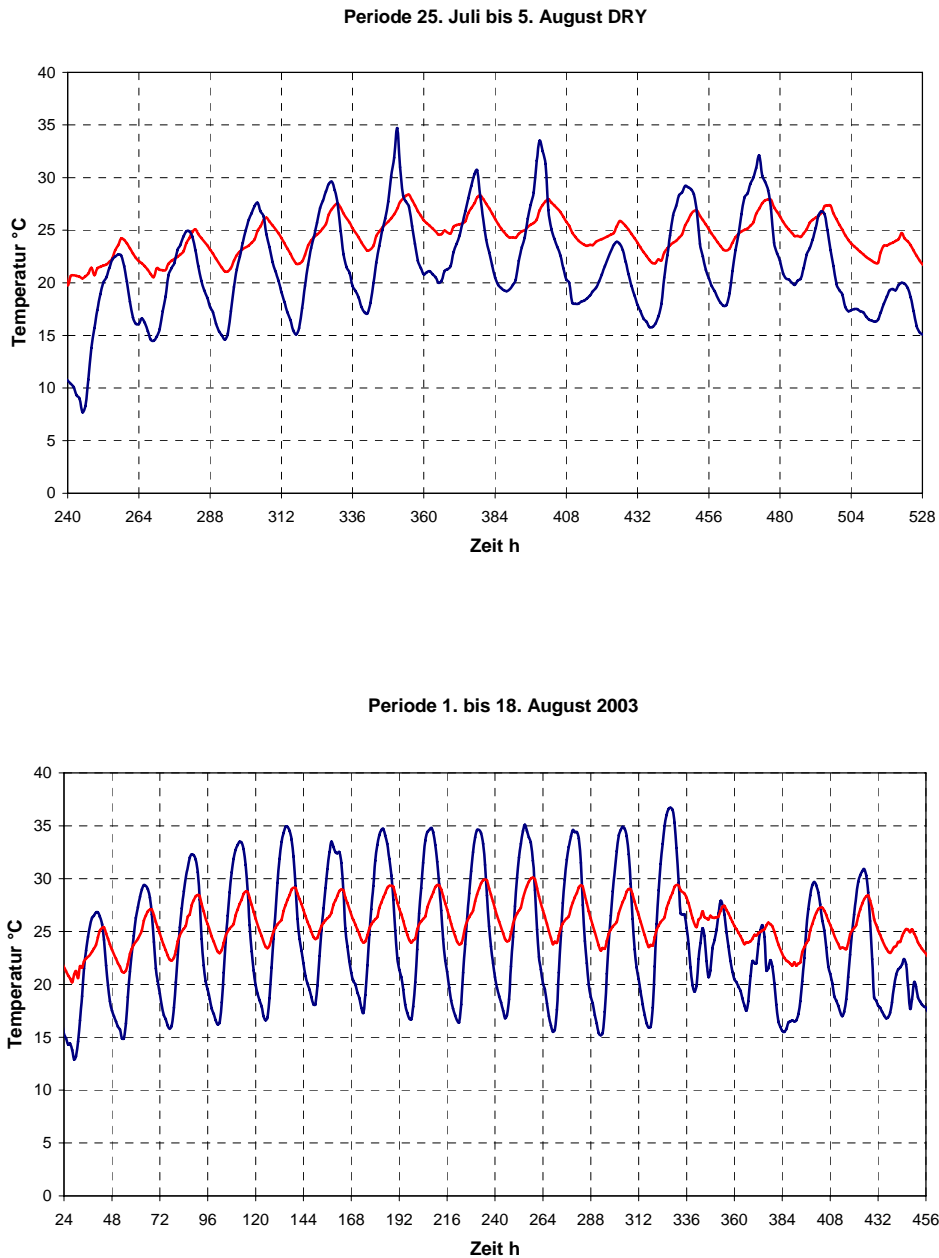


Bild 14: Einfluss der Hitzeperiodenlänge auf den Raumtemperaturverlauf

Randbedingungen: Dämmstoffvariante Glaswolle, Balkonfenstertüre $g=0.12$, Teppichbodenbelag, GFP Beplankungen 12.5 mm, Nachtlüftung $3 \text{ }^1/h$, $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, $U=0.2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

6. Zusammenfassung

Die rechnerischen Untersuchungen zum sommerlichen Wärmeschutz eines Dachraumes mit moderatem Fensterflächenanteil haben gezeigt, dass den einzelnen Einflussfaktoren eine sehr unterschiedliche Bedeutung zugemessen werden muss. Bedingt durch die guten Wärmeschutzeigenschaften der heutigen Gebäudehüllen und deren luftdichte Bauweise müssen Vorkehrungen getroffen werden, die Wärmelasten im Raum so gering wie möglich zu halten und die vorhandenen Wärmelasten gezielt durch Lüftungsmassnahmen nachts abzuführen. In Bild 15 sind die verschiedenen Einflussfaktoren und deren Wirkungen auf die maximalen Raumlufttemperaturen dargestellt. In Bild 16 sind die Grundsätze für einen guten sommerlichen Wärmeschutz dargestellt. In Anlehnung an das SIA Merkblatt 2021 [15] sind in Anhang 3 die Planungsgrundsätze zum sommerlichen Wärmeschutz zusammengefasst.

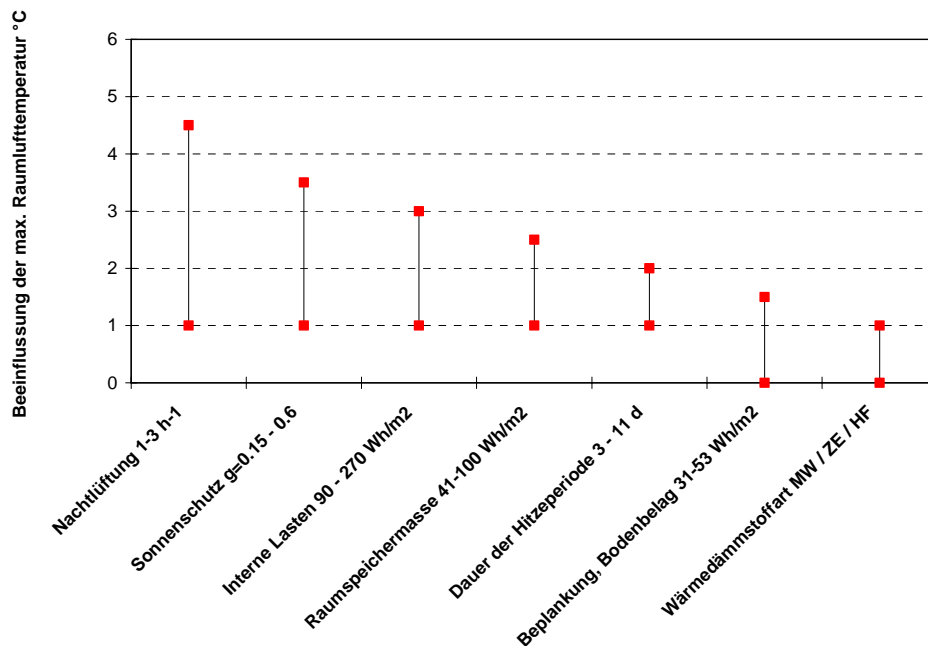


Bild 15: Einflussfaktoren und deren Wirkung auf das Temperaturverhalten von Dachräumen

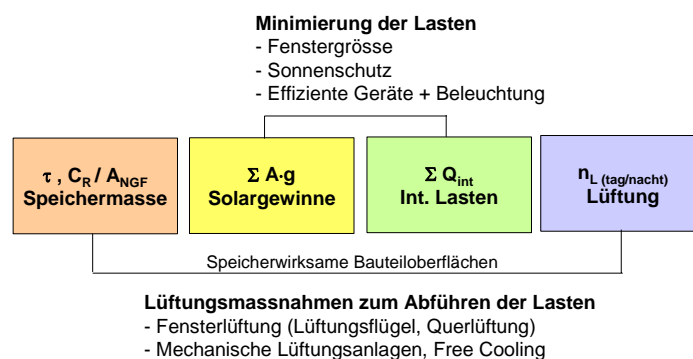
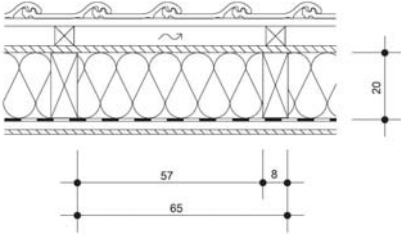
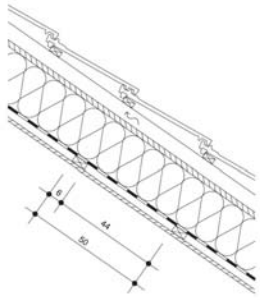
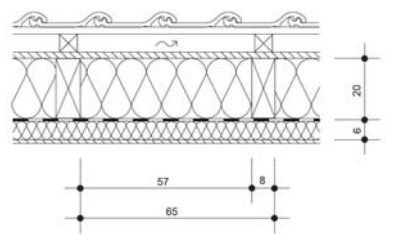
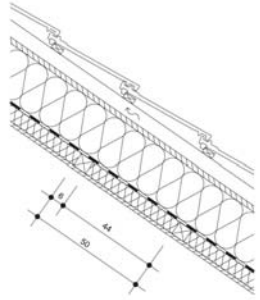
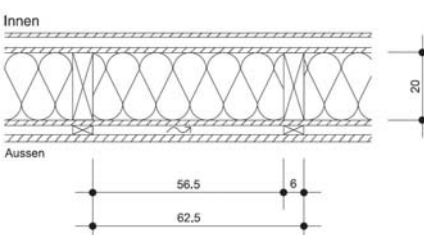
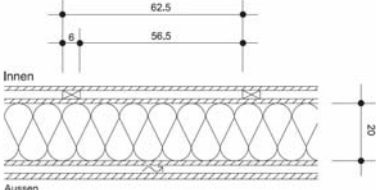
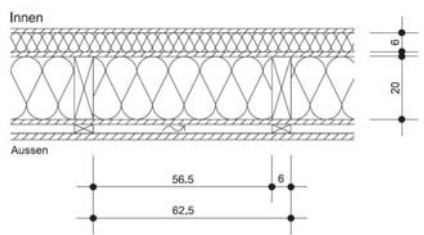
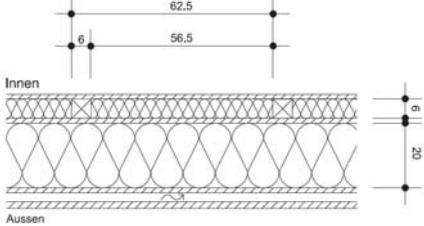
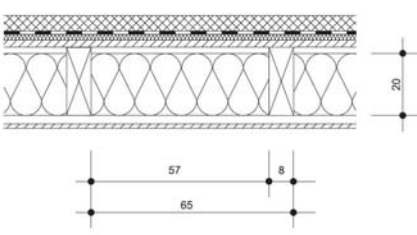
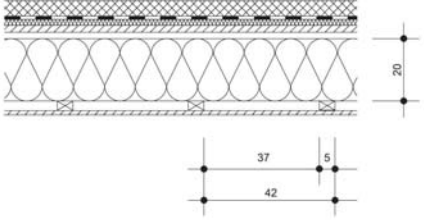


Bild 16: Grundsätze für einen wirksamen sommerlichen Wärmeschutz von Dachräumen

Literaturhinweise

- [1] Report "Uncertainty, risk and dangerous change", Recent research on climate change science from the Hadley Met Office Centre, Exeter UK, 2004
- [2] OcCC Bericht „Extremereignisse und Klimaänderung, Bern 2003
- [3] EU Grünbuch „Anpassung an den Klimawandel in Europa – Optionen und Massnahmen der EU“, Brüssel 2007
- [4] Norm SIA 381.101 - EN 12524:2000; Baustoffe und -produkte – Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte
- [5] SIA Merkblatt 2001 – Ausgabe 2005; Wärmedämmstoffe – Deklarierte Werte der Wärmeleitfähigkeit und weitere Angaben der Lieferanten und Hersteller
- [6] Norm SIA 180:1999; Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau
- [7] Norm SIA 380/1:2007; Thermische Energie im Hochbau
- [8] Norm SIA 382/1:2007; Lüftungs- und Klimaanlageanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
- [9] Empfehlung SIA 382/3:1992; Bedarfsermittlung für Lüftungstechnische Anlagen
- [10] Norm SIA 180.073 - EN ISO 13786:2007; Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren
- [11] Norm SIA 382.703 – EN 15251:2007; Bewertungskriterien für den Innenraum einschliesslich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm
- [12] Schlussbericht BFE-Projekt „Gebäudesimulationsprogramm HELIOS-XP“, Dübendorf 2006
- [13] Frank, Th.; Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland, Energy and Buildings 37 (2005) 1175-1185
- [14] SIA Dokumentation D0176 Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2001
- [15] SIA Merkblatt 2021 Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz, Zürich 2002
- [16] SIA Merkblatt 2023 Lüftung in Wohnbauten, Zürich 2007
- [17] SIA Merkblatt 2028 «Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik», Zürich 2008

Anhang 1 Untersuchte Dach-, Wand- und Bodenkonstruktionen in Holzbauweise

<p>Dach 1</p> 	
<p>Dach 2</p> 	
<p>Aussenwand 1</p> 	
<p>Aussenwand 2</p> 	
<p>Boden</p> 	

Anhang 2 Wärmeschutztechnische Bemessungswerte von Baustoffen und Wärmedämmstoffen nach SIA 381.101 [4] und SIA-Merkblatt 2001 [5]

Baustoff	Rohdichte ρ kg/m ³	Wärmeleitfähigkeit λ_D W/(mK)	Spezifische Wärmekapazität C_p	
			J/(kgK)	Wh/(kgK)
Steinbodenbelag	2800	3.500	1000	0.278
Zementunterlagsboden	2200	1.650	1000	0.278
Beton-Dachziegel	2100	1.500	1000	0.278
Modulbackstein	1100	0.440	940	0.261
Verputz innen	1400	0.700	900	0.278
Verputz aussen	1800	0.870	1000	0.278
Gipsfaserplatte GFP	1150	0.320	1000	0.278
OSB-Platte	650	0.130	1700	0.472
Nutzholz	500	0.130	1600	0.444
Holzfasерplatte (Unterdach)	250	0.047	1400	0.389
Holzweichfasерdämmplatte	55	0.038	1400	0.389
Holzfasерdämmplatte	150	0.042	1400	0.389
Zellulosefasерplatte	70	0.039	1600	0.444
Steinwolldämmplatte	32	0.036	1030	0.286
Steinwolldämmplatte	60	0.034	1030	0.286
Glaswolldämmplatte	20	0.035	1030	0.286
Glaswolldämmplatte	28	0.034	1030	0.286
Teppich	200	0.060	1300	0.361

Anhang 3 Planungsgrundsätze zum sommerlichen Wärmeschutz

■ Schritt 1: Solare Lasten Q_s / A_{NGF} abschätzen

- Glasanteil / Fensterfläche / Bodenfläche
- Sonnenschutz gemäss SIA 382/1 festlegen

Tagessummen der Solarstrahlung I_s

- 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)

■ Schritt 2: Interne Wärmelasten Q_i / A_{NGF} abschätzen

- Personenbelegungsdichte
- Elektr. Geräte & Beleuchtung

Typische interne Wärmelasten im Wohnungsbau

- niedrig 5 W/m² 90 Wh/(m² d)
- mittel 10 W/m² 180 Wh/(m² d)
- hoch 15 W/m² 270 Wh/(m² d)

■ Schritt 3: Gesamte Wärmelast Q_{tot} / A_{NGF} bestimmen

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

■ Schritt 4: Raumwärmespeicherkapazität bestimmen

$$C_R / A_{NGF}$$

■ Schritt 5: Lüftungsmassnahmen festlegen

- Fensteröffnungen, mech. Lüftung
- Nachtlüftungsmöglichkeiten

■ Schritt 6: Risikobeurteilung vornehmen

- weiteres Vorgehen definieren
- Simulationsberechnungen
- optimale Massnahmen evaluieren

Schema zur Risikobeurteilung, gültig für Wetterdaten DRY Zürich-Kloten mit 3 Hitzetagen und $\theta_{e,max} = 35\text{ °C}$

Raumspeicher- kapazität 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	$\theta_{i,max} \sim 30\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 32\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 35\text{ °C}$
	Nachtlüftung $n_L \sim 1\text{ 1/h}$	$\theta_{i,max} \sim 29\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 31\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 33\text{ °C}$
	Nachtlüftung $n_L \sim 3\text{ 1/h}$	$\theta_{i,max} \sim 28\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 30\text{ °C}$	$\theta_{i,max} \sim 31\text{ °C}$

Beurteilungsskala

