

Effiziente Wärmedämmung – effektiver Schutz vor sommerlicher Hitze

Zusammenfassung

Dachgeschosswohnungen sind von den steigenden Temperaturen im Sommer, eine Folge der globalen Klimaerwärmung, besonders betroffen. Der Schutz vor sommerlicher Hitze ist in den Räumen unter dem Dach besonders wichtig. Entscheidend ist, dass Sonnenschutzvorrichtungen außen an den Fenstern angebracht werden, um so den „Glashauseffekt“ zu verhindern. Auch die richtige Wärmedämmung spielt eine wichtige Rolle.



Abbildung 1 Großflächige Verglasung bedeutet viel Wärme im Sommer

Das Forschungsinstitut für Wärmeschutz München (FIW) hat die Wirkungsweise der Wärmedämmung in Dächern durch Simulationsrechnungen und praktische Versuche untersucht. Dabei räumten die Wissenschaftler des FIW mit gängigen Vorurteilen auf. Entgegen einer verbreiteten Meinung bewirken Dämmstoffe mit höherer Wärmespeichermasse keine wesentliche Verzögerung oder Begrenzung des Temperaturanstiegs im Innenraum. Die oft zitierte „Phasenverschiebung“ des Dämmstoffs beeinflusst das Temperaturverhalten des Gebäudes nicht.

Entscheidend ist hingegen der Wärmedurchgangskoeffizient des Daches. Durch effiziente Wärmedämmung wird der Wärmedurchgang in den heißen Mittagsstunden begrenzt und die Aufheizung der Dachräume verringert. Der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der Dämmschichten ist extrem gering [6]. Es gibt keine „Sommerdämmstoffe“. Vielmehr sind Dämmstoffe, die im Winter gut dämmen, d. h. eine niedrige Wärmeleitfähigkeit besitzen, auch im Sommer besonders wirksam. Hocheffiziente Wärmedämmstoffe aus Polyurethan bieten während des ganzen Jahres einen besonders guten Wärmeschutz, sorgen für ein behagliches Wohnklima und minimieren die Energiekosten.

Wärme speichern oder Wärme dämmen?

Der sommerliche Wärmeschutz von Gebäuden zielt darauf ab, die Innentemperaturen in der warmen Jahres-

hälfte auf einem erträglichen Niveau zu halten. Dazu muss die Wärmezufuhr durch direkte Sonneneinstrahlung, Belüftung, Wärmeleitung (Wand-, Dach- und Deckenflächen), sowie durch die Abwärme von Geräten und Personen begrenzt werden. Unverschattete Fenster haben dabei den größten Einfluss auf das sommerliche Temperaturverhalten [5].

Um die Wirkungsweise der Speichermassen in einem Gebäude zu verstehen, muss man sich klar machen, dass Luft- und Bauteiltemperaturen über den Tagesverlauf erheblich schwanken. Dadurch ändern sich kontinuierlich Intensität und Richtung des Wärmeflusses [2]. Bauteile nehmen mittags Wärme auf und geben sie nachts wieder ab. Durch das Speichern und Abgeben der Wärme aus Bauteilen werden die Temperaturspitzen im Innenraum abgepuffert. Massivbauten reagieren im Allgemeinen träger auf äußere Temperaturschwankungen als Gebäude in Leichtbauweise. Maßgebend ist dabei nicht allein die Wärmekapazität der Bauteile, sondern auch die Lage und Wirksamkeit der Speichermassen. Als Wärmepuffer wirken Bauteilschichten, die in direktem Kontakt mit der Innenraumluft stehen, hohe Wärmespeicherkapazität besitzen, und die Wärme gut leiten. Besonders Effektiv sind ungedämmte, massive Innenwände, Decken und Fußböden mit Steinplatten- oder Fliesenbelag, die in der Mittagszeit Wärme aus der Raumluft aufnehmen und dadurch den Raum kühlen. Nachts und in den frühen Morgenstunden entlädt sich der Puffer: Das Bauteil gibt die tagsüber aufgenommene Wärme wieder ab.

Wärmedämmstoffe sind aufgrund ihrer niedrigen Wärmeleitfähigkeit und geringen Masse (im Verhältnis zu Massivbauteilen) per se keine guten Wärmespeicher. Sie sollen ja schließlich dämmen und nicht Wärme speichern. Niemand käme auf die Idee, einen Warmwasserspeicher oder einen Kühlschrank aus Holz (hohe Wärmespeicherkapazität!) herzustellen. Ein optimales Gebäude in Hinblick auf den sommerlichen (und winterlichen) Wär-

meschutz sollte auf der Außenseite eine sehr gute Wärmedämmung haben, um Transmissionswärmegewinne und -verluste zu minimieren. Im Inneren sind Speichermassen in Form von massiven Wänden, und Decken von Vorteil.

Für Verwirrung sorgt die Behauptung, Holzfaserdämmstoffe könnten gleichzeitig die Funktionen Wärmedämmung und –speicherung erfüllen. Tatsächlich sind Holzfaserdämmstoffe für keinen der beiden Zwecke optimal geeignet: Auf der einen Seite lässt ein Holzfaserdämmstoff mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,048 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ doppelt soviel Wärme durch wie z. B. ein Hochleistungsdämmstoff aus Polyurethan der Wärmeleitfähigkeitsstufe 024. Auf der anderen Seite sind Holzfaserdämmstoffe als Wärmespeicher massiven Bauteilen z. B. aus Stein oder Beton weit unterlegen.

Wärmedämmung und Wärmespeicherung in einem Gebäude gehören zusammen und ergänzen sich gegenseitig. Idealerweise sollte die Wärmedämmung außen (z. B. Bei Dächern auf den Sparren) angeordnet werden und die innen liegende Bauteilschichten hohe Wärmespeicherkapazität und –leitfähigkeit aufweisen. Schwere Dämmstoffe mit mäßigen Dämmeigenschaften, die noch ein wenig Wärme speichern können, sind nicht vorteilhaft.

Phasenverschiebung

Während des Tagesverlaufes schwankt die Außentemperatur zwischen einem Maximalwert am Nachmittag und einem minimalen Wert in den frühen Morgenstunden. Die Raumtemperatur folgt der Außentemperatur mit einer bestimmten zeitlichen Verzögerung. Dieser zeitliche Versatz wird als „Phasenverschiebung“ bezeichnet. Bei einem massiven Gebäude mit hoher Speichermasse ist die zeitliche Verschiebung zwischen der maximalen Außentemperatur und Innentemperatur größer als bei einem Gebäude in Leichtbauweise, da die Wärme in den Bauteilen gepuffert wird.

Das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV) und die Phasenverschiebung (φ) werden manchmal auch für einzelne Bauteile oder Bauteilschichten angegeben. TAV und φ beschreiben dann den theoretischen zeitlichen Zusammenhang zwischen den Oberflächentemperaturen auf der Außen- und der Innenseite. Dabei muss betont werden, dass es sich um rein theoretische Größen handelt, die unter Randbedingungen berechnet werden, die in realen Gebäuden so nicht vorliegen und daher auch nicht nachgemessen werden können.

Die Phasenverschiebung sagt bei realen Bauteilen nichts über den Wärmeschutz aus. Sie gibt lediglich an, mit welcher Verzögerung die von außen auftreffende Temperaturwelle im Inneren ankommt. Wichtiger ist, welche Temperatur auf der Innenseite tatsächlich erreicht wird, d. h. wie viel Wärme im Inneren ankommt – und das hängt im Wesentlichen von der Effizienz der Wärmedämmung ab.

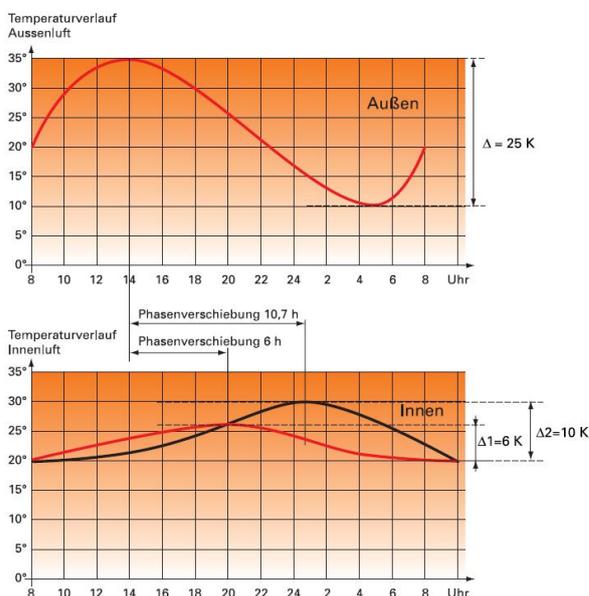


Abbildung 2 Phasenverschiebung und Innentemperaturen

Der Zusammenhang lässt sich an einem einfachen Beispiel veranschaulichen: Ein Schlafsack hat aufgrund seiner geringen Wärmespeicherfähigkeit nur eine geringe Phasenverschiebung, hält aber aufgrund seiner guten Wär-

medämmung auch in kalten Nächten kuschelig warm. Wasser kann hingegen viel Wärme speichern. Niemand würde jedoch auf die Idee kommen, die Nacht in einer Badewanne zu verbringen.

Wärmespeicherfähigkeit von Dämmstoffen

Mit Hilfe thermischer Computersimulationen ist es möglich, die tageszeitlich bedingten Schwankungen der Innentemperaturen im Sommer mit hoher Zuverlässigkeit vorherzusagen. Die Simulationstechnik erlaubt einen direkten Vergleich zwischen unterschiedlichen Bauausführungen bei gleichen Randbedingungen in einem ausgewählten Gebäude. Es handelt es sich dabei immer um Einzelfallbetrachtungen; die Ergebnisse gelten also nur für das gewählte Modellgebäude. Simulationsrechnungen sind in der Regel aussagekräftiger als Versuche. Bei Experimenten spielen zufällige Randbedingungen oft eine größere Rolle als die zu messenden Effekte.

Welche der Einflussfaktoren die größte Bedeutung haben, hängt wesentlich vom untersuchten Gebäudetyp und den jeweiligen Randbedingungen ab. Holzskelettbauten heizen sich, wenn im Innenraum keine thermisch wirksamen Massen vorhanden sind, im Sommer schneller auf als Massivbauten. Massive Geschoss- oder Kellerdecken haben aber auch bei diesem Gebäudetyp einen größeren Einfluss auf die Innentemperaturen als die Wärmespeicherfähigkeit des Dämmstoffs. Eine thermische Computersimulation des Fraunhoferinstitutes für Bauphysik hat gezeigt, dass die unterschiedlichen Wärmespeicherfähigkeiten der Dämmstoffe im Erdgeschoss eines Holzhauses aufgrund des thermisch wirksamen Estrichs von geringerer Bedeutung sind [1].

Simulationsrechnungen mit verschiedenen Dämmstoffen am Beispiel eines Steildachs verdeutlichen, dass der Einfluss der unterschiedlichen Wärmespei-

cherkapazitäten der Dämmstoffe bei gleichem Wärmedurchgangskoeffizienten vernachlässigbar gering ist. Der Temperaturunterschied im Innenraum beträgt maximal 0,6 K [5]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Dämmstoffe mit schlechterer Wärmeleitfähigkeit dicker ausgeführt werden müssen, um denselben Wärmedurchgangskoeffizienten zu erreichen.

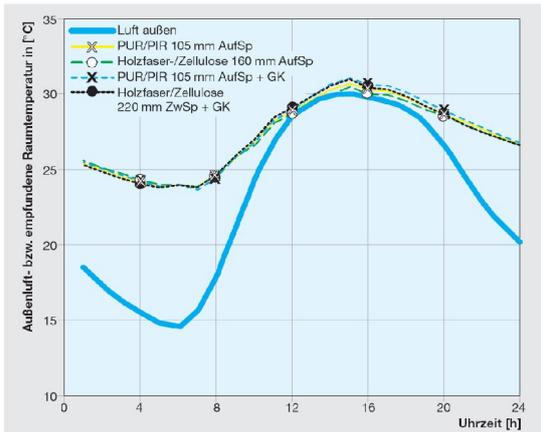


Abbildung 3
Raumtemperaturen ohne Sonnenschutz

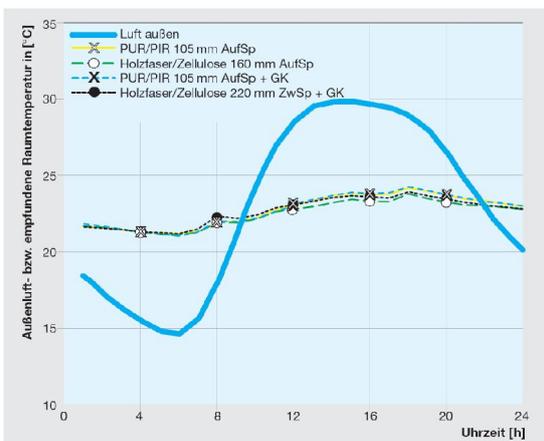


Abbildung 4 Raumtemperaturen mit Sonnenschutz

Dachräume im Modellversuch

Gelegentlich wird auf Messen und in Informationsveranstaltungen ein einfacher Schauversuch gezeigt, der die Theorie „Speicher statt Dämmung“ untermauern soll, jedoch eklatante ge-

dankliche und handwerkliche Fehler aufweist [3]. In Holzkisten werden die Prüfmuster, verschiedene 40 mm dicke Dämmstoffplatten, mit Hilfe von Infrarotlampen erwärmt. Die Versuchsdauer beträgt meist 10 - 20 Minuten. Während dieser Zeit zeichnen Messfühler den Temperaturverlauf an der Unterseite der obersten Dämmstoffplatte auf.

Die Ergebnisse des Schauversuches lassen sich nicht auf reale Gebäude übertragen. Die Liste der versuchs-technischen Mängel beginnt damit, dass die Lufttemperatur in den Holzkisten unterschiedlich ist. Die Dämmstoffe haben keine einheitliche Oberflächenbeschichtung, so dass sich aufgrund des unterschiedlichen Reflektionsverhaltens verschiedene Temperaturen an der Oberseite einstellen. Manche Dämmstoffe sind lichtdurchlässig; dadurch werden die Temperaturfühler direkt bestrahlt und unmittelbar erwärmt. Der Wärmeabfluss nach den Seiten und nach unten findet unkontrolliert statt. Die kurze Versuchsdauer betont die kurzzeitigen Effekte [3], spiegelt jedoch nicht den Temperaturverlauf über den ganzen Tag wider.

Der simple Schauversuch und die kurze Versuchsdauer genügen somit nicht den Ansprüchen, die an ein wissenschaftliches Experiment gestellt werden.

Ausgehend von den Fehlern dieses Experimentes hat das FIW München einen Modellversuch entwickelt, bei dem für alle Probekörper identische Randbedingungen vorliegen. Daraus können Aussagen über das Verhalten von Dämmstoffen in Gebäuden abgeleitet werden.

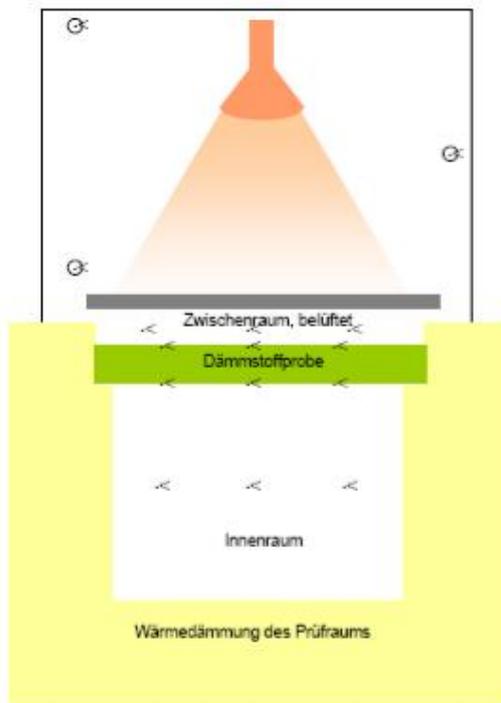


Abbildung 5 Versuchsaufbau (Schnitt)



Abbildung 6: Versuchsaufbau (Ansicht)

Der vom FIW München realisierte Versuchsaufbau hat im „Innenraum“ keine nennenswerten Speichermassen und weist zur bestrahlten Seite keine transparenten Bauteile auf. Die Dämmung des Versuchsraums soll die Wärmeab-

oder -zufuhr aus der Umgebung minimieren. Die einheitliche Probendicke von 40 mm wurde gewählt, um durch eine deutliche Erwärmung des Innenraums die Messfehler klein zu halten und die nächtliche Abkühlung noch gut messen zu können. Die Versuchsdauer betrug 24 Stunden. Während dieser Zeit wurde die Strahlungsleistung der Infrarotlampe entsprechend der Tagesganglinie gesteuert.

Vergleicht man die Temperaturverläufe im Innenraum, so zeigt sich bei der Holzfaserprobe am Anfang ein verzögerter Anstieg infolge des höheren Wärmespeichervermögens (Abbildung 7). Mit zunehmender Versuchsdauer wird dieser Effekt jedoch vom niedrigeren Wärmedurchlasswiderstand kompensiert, so dass sich die Temperaturkurven nach ca. 6 Stunden annähern. Danach steigt die Temperatur bei der Holzfaser stärker an. Die Höchsttemperatur liegt bei Polyurethan um 1 Kelvin niedriger.

Für die subjektive Wahrnehmung ist nicht nur die Maximaltemperatur, sondern auch die Dauer, in der eine bestimmte Temperaturschwelle überschritten wird, maßgebend. In Mitteleuropa werden Innentemperaturen von mehr als 26 °C als unangenehm empfunden. Für die Untersuchung wurde daher eine Temperaturerhöhung um 6 Kelvin, entsprechend einem Temperaturanstieg von 20°C auf 26°C, als Schwellenwert definiert. Bei Polyurethan ist die Überschreitungsdauer der Temperaturgrenze von 6 Kelvin um 1,2 Stunden kürzer.

Die höhere Speichermasse bewirkt bei der Holzfaser nicht nur eine langsamere Erwärmung, sondern auch ein deutlich verzögertes Abklingen der Raumlufttemperatur, d. h. es bleibt länger unangenehm warm.

Fazit

Wärmedämmstoffe begrenzen den Wärmedurchgang von der warmen zur kalten Seite - im Winter wie im Sommer. Der Unterschied liegt lediglich darin, dass der Wärmefluss in der warmen Jahreszeit von außen nach innen, in der kalten von innen nach außen erfolgt. Hochleistungsdämmstoffe aus Polyurethan-Hartschaum, die sich durch eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit und damit hohe Dämmleistung auszeichnen, sind auch im Sommer besonders wirksam.

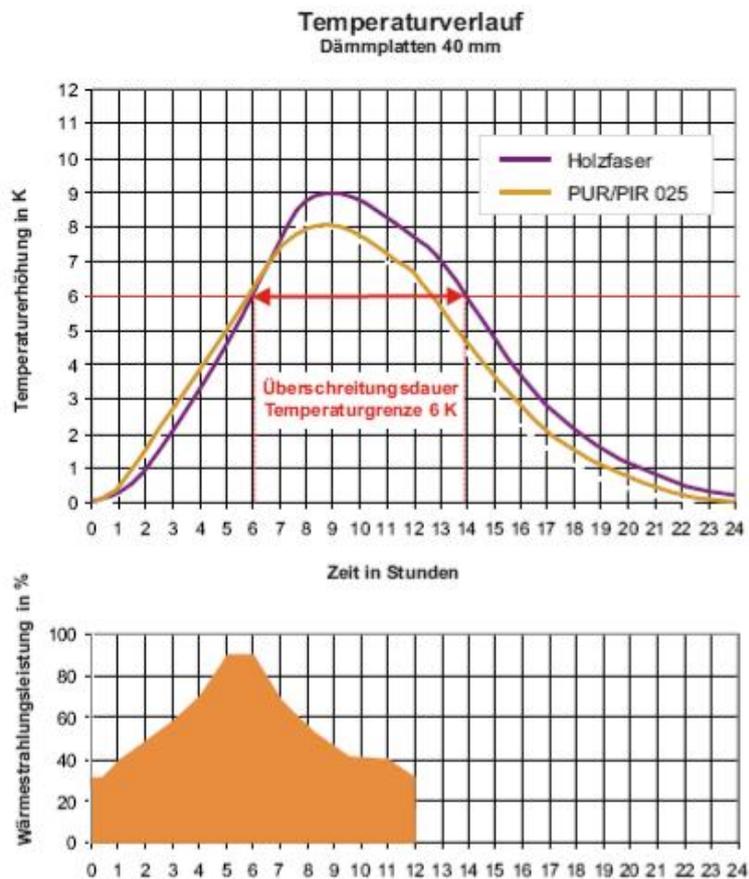


Abbildung 7 oben: Temperaturkurven Polyurethan und Holzfaser im Vergleich
unten: Strahlungsleistung der Wärmelampe

Literaturverzeichnis

- [1] Gerd Hauser: *Holzfaserdämmplatten – Dämmstoffe als Wärmespeicher in Isoliertechnik*, 6-2006, S. 38 – 44
- [2] Martin H. Spitzner und Christoph Sprengard: *Sommerliches Raumklima im Dachgeschoss: Vergleichende Untersuchungen von Dämmstoffen unter Berücksichtigung instationärer Effekte in einem Modellversuch*, Untersuchungsbericht, 2006
- [3] Martin H. Spitzner und Christoph Sprengard: *Durchführung eines Experimentes zur Oberflächen- und Tiefenerwärmung verschiedener Dämm- und Baustoffe durch Bestrahlung mit einer Infrarotlampe*, Untersuchungsbericht, 2004
- [4] Schellenberger, Tobias: *Kühler Kopf an heißen Tagen in DDH 16/2005*, S 6 – 8
- [5] *Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V. (Hg.): Sommerlicher Wärmeschutz*, 2004
- [6] Wolfgang Feist, *Ist Wärmespeichern wichtiger als Wärmedämmen?*, Hrg. Passivhausinstitut, Fachinformation PHI 2000/4

Impressum:

IVPU – Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e. V.
Im Kaisemer 5, 70191 Stuttgart
www.daemmt-besser.de www.ivpu.de
© 2007 by IVPU
1. Auflage: Mai 2007

Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07
Ermittlung der maximal zulässigen und tatsächlichen Sonneneintragskennwerte

-Vereinfachtes Nachweisverfahren-

Das Ergebnis bitte **selbständig** in die Berechnung übernehmen.

Projekt	Kurzbezeichnung	Raumname/-nummer	Beschreibung

Möglicher Verzicht auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes bei:

Ein- und Zweifamilienhäuser, deren Fenster in Ost-, Süd- oder Westorientierung mit außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor $F_c \leq 0,3$ ausgestattet sind. (z.B. Rolläden, Fensterläden)			<input type="checkbox"/>
Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster	f_{AG} %	
Über 60° bis 90°	Nord- West- über Süd bis Nord- Ost	10	<input type="checkbox"/>
Über 60° bis 90°	Alle anderen Orientierungen	15	<input type="checkbox"/>
von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7	<input type="checkbox"/>

• **Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist zu führen!**

1. Vorhandener Sonneneintragskennwert S:

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g [] -
 Fensterfläche einschließlich Dachfenster A_w in m^2 : [] m^2
 Nettogrundfläche des betrachteten Raumes A_G in m^2 : [] m^2

Zeile	Sonnenschutzvorrichtung	F_c	übernehmen
1	Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	<input type="checkbox"/>
2	Innenliegend oder zwischen den Scheiben		
	2.1 weiß oder reflektierende Oberfläche, ger. Transparenz	0,75	<input type="checkbox"/>
	2.2 helle Farben oder geringe Transparenz	0,80	<input type="checkbox"/>
	2.3 dunkle Farbe oder höhere Transparenz	0,90	<input type="checkbox"/>
3	Außenliegend		
	3.1 drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25	<input type="checkbox"/>
	3.2 Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz, hinterlüftet	0,25	<input type="checkbox"/>
	3.3 Jalousien allgemein	0,40	<input type="checkbox"/>
	3.4 Rolläden, Fensterläden	0,30	<input type="checkbox"/>
	3.5 Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen	0,50	<input type="checkbox"/>
	3.6 Markisen, oben und seitlich ventiliert	0,40	<input type="checkbox"/>
3.7 Markisen, allgemein	0,50	<input type="checkbox"/>	
4	Sonnenschutzvorrichtung nach Herstellerangabe mit Prüfzeugnis	[]	<input type="checkbox"/>

Abminderungsfaktor für fest installierte Sonnenschutzvorrichtungen F_c : [] -

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutz $g_{total} = g \cdot F_c$: [] -

Sonneneintragskennwert:
$$S = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_G} = \frac{A_{w,gesamt} \cdot g_{total}}{A_G}$$
 [] -

2. zulässiger Höchstwert S_{zul} :

Fensterfläche einschließlich Dachfenster A_W : m²
 Nettogrundfläche des betrachteten Raumes A_G : m²
 Außenwandfläche des betrachteten Raumes (Außenmaße) A_{AW} : m²
 wärmeübertragende Dach- oder Deckenfläche des betrachteten Raumes A_D : m²
 gewichtete Außenflächen, bezogen auf die Nettogrundfläche f_{gew} : -

$$f_{gew} = \frac{(A_W + 0,3 \cdot A_{AW} + 0,1 \cdot A_D)}{A_G}$$

geneigte Fensterfläche $A_{W,neig}$: m²
 gewichtete geneigte Fensterflächen f_{neig} : $A_{W,neig}/A_G$ -

Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche
 soweit deren Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist,
 sowie Fensterflächen die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind $A_{W,nord}$: m²
 gewichtete Nordfenster f_{nord} : $A_{W,nord}/A_{W,gesamt}$ -

Zeile	Gebäudelage, Bauart, Fensterneigung, Orientierung	Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x	zutreffende Zeilen ankreuzen
1	Klimaregion		
1.1	Gebäude in Klimaregion A	0,04	<input type="checkbox"/>
1.2	Gebäude in Klimaregion B	0,03	<input type="checkbox"/>
1.3	Gebäude in Klimaregion C	0,015	<input type="checkbox"/>
2	Bauart		
2.1	leichte Bauart: ohne Nachweis von C_{wirk}/A_G : $0,06 \cdot f_{gew}$	0,06 $\cdot f_{gew}$	<input type="checkbox"/>
2.2	mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(K \cdot m^2) < C_{wirk}/A_G < 130 \text{ Wh}/(K \cdot m^2)$: $0,10 \cdot f_{gew}$	0,10 $\cdot f_{gew}$	<input type="checkbox"/>
2.3	schwere Bauart: $C_{wirk}/A_G > 130 \text{ Wh}/(K \cdot m^2)$: $0,115 \cdot f_{gew}$	0,115 $\cdot f_{gew}$	<input type="checkbox"/>
3	Erhöhte Nachtlüftung während der zweiten Nachthälfte $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$		
3.1	bei mittlerer und leichter Bauart	0,02	<input type="checkbox"/>
3.2	bei schwerer Bauart	0,03	<input type="checkbox"/>
4	Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	0,03	<input type="checkbox"/>
5	Fensterneigung: $0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen): $0,12 \cdot f_{neig}$	-0,12 $\cdot f_{neig}$	<input type="checkbox"/>
6	Orientierung: Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit deren Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist, sowie Fenster die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind: $0,10 \cdot f_{nord}$	0,10 $\cdot f_{nord}$	<input type="checkbox"/>

zulässiger Höchstwert $S_{zul} = \sum S_x$ -
 vorhandener Sonneneintragskennwert $S = \frac{A_{w,gesamt} \cdot g_{total}}{A_G}$ -

3. Anforderung:

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S darf den zulässigen Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten.

4. Ergebnis:

(Stempel)

 der Aufsteller