

Erstellung eines Aktionsplans „Temporärer Wärmeschutz“ und „Sonnenschutz“

IBH 798/09

Auftraggeber:

Industrieverband Technische Textilien - Rollläden - Sonnenschutz e. V.
Parkstraße 60
41061 Mönchengladbach

Bearbeitung:

Ingenieurbüro
Prof. Dr. Hauser GmbH
Gottschalkstraße 28a
34127 Kassel

Dipl.-Ing. Christoph Kempkes
Dipl.-Ing. Mareike Ettrich



Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Kassel, 26. September 2011

Inhalt

1	Aufgabenstellung	5
1.1	Temporärer Wärmeschutz	5
1.2	Sonnenschutz	5
2	Darstellung des Einsparpotentials typischer temporärer Wärmeschutzsysteme im Hinblick auf den Jahres-Nutzwärmebedarf von Gebäuden	6
2.1	Grundlagen der Berechnung	6
2.1.1	Berechnungsmodell	6
2.1.2	Zusätzliche Wärmedurchlasswiderstände durch temporäre Wärmeschutzsysteme	9
2.2	Berechnungsfälle	11
2.3	Ergebnisse	11
2.3.1	Lage des Raumes	11
2.3.2	Standort und Orientierung	12
2.3.3	Nutzungsprofil und Steuerung des temporären Wärmeschutzes	15
2.3.4	Fensterflächenanteil	17
2.4	Vorgeschlagener Näherungsalgorithmus	21
2.5	Berechnungsbeispiel	24
3	Darstellung des Einflusses typischer Sonnenschutzvorrichtungen auf den Jahres-Nutzkältebedarf von Gebäuden	27
3.1	Grundlagen der Berechnung	27
3.1.1	Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	27
3.1.2	Berechnungsmodell	28
3.1.3	Kennwerte der Verglasungen und Sonnenschutzsysteme	28
3.2	Berechnungsfälle	31
3.3	Ergebnisse	32
4	Zusammenfassung und Fazit	39
5	Aktionsplan	39
6	Literatur	40

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des vorliegenden Berichts soll ein Aktionsplan erarbeitet werden, der aufzeigt, wie sich die Wirkung verschiedener temporärer Wärmeschutzmaßnahmen sowie die von Sonnenschutzvorrichtungen bei der Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen von Gebäuden nach DIN V 18599 [1] darstellt. Das Projekt gliedert sich in zwei Teilprojekte. Teil 1 (siehe 1.1) befasst sich mit der energetischen Bewertung des temporären Wärmeschutzes, Teil 2 mit den Energieeinsparpotentialen verschiedener Sonnenschutzvorrichtungen (siehe 1.2).

1.1 Temporärer Wärmeschutz

Bei der energetischen Bewertung von Gebäuden nach DIN V 18599 wird die Wirkung eines temporären Wärmeschutzes derzeit weder für den Winter- noch für den Sommerfall berücksichtigt. Somit können die Auswirkungen temporärer Wärmeschutzmaßnahmen auf den Nutzenergiebedarf für Heizen nicht in die Bilanz einfließen. Auch in KfW-Förderprogrammen wird dem keine Rechnung getragen. Daher soll ein Aktionsplan mit folgenden Inhalten erstellt werden:

- Darstellung des Einsparpotentials einzelner typischer Wärmeschutzsysteme auf den Nutzwärmebedarf von Gebäuden unter Verwendung dynamischer Simulationen
- Erarbeitung von Berechnungsalgorithmen, mit denen der temporäre Wärmeschutz (ggf. ausschließlich der automatisch gesteuerte) bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs nach DIN V 18599 für Heizen in Ansatz gebracht werden kann
- Zahlenmäßige Festlegung des Quantifizierungs-Vorschlags
- Aufzeigen von „politischen“ Wegen, wie der gefundene Ansatz in die Normung / Verordnung eingehen kann und entsprechend als Unterstützung in den relevanten Gremien dienen kann

1.2 Sonnenschutz

Sonnenschutzvorrichtungen vermeiden den Einsatz von Kältetechnik und wirken somit ungemein energiesparend. Dieser Einfluss kann jedoch nicht ausgewiesen werden und dementsprechend finden Sonnenschutzvorrichtungen in KfW-Förderprogrammen keine Berücksichtigung. Um diesbezüglich eine Änderung einzuleiten, soll analog zu den temporären Wärmeschutzmaßnahmen ein Aktionsplan wie nachstehend aufgeführt, erarbeitet werden:

- Anhand einer Raumgeometrie, deren Ausführung hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes jeweils exakt die Anforderungen nach DIN 4108-2:2003-08 [2] erfüllt, soll die sommerliche Überhitzung jeweils für Wohn- und Nichtwohnnutzung dargestellt werden.
- Die Auswirkungen durch einen zusätzlichen Sonnenschutz auf den Nutzkältebedarf sollen für Wohn- und das Nichtwohngebäude als fiktiv eingesparte Energie zur Dokumentation der Energieeinsparung infolge des Sonnenschutzes dargestellt werden.

2 Darstellung des Einsparpotentials typischer temporärer Wärmeschutzsysteme im Hinblick auf den Jahres-Nutzwärmebedarf von Gebäuden

2.1 Grundlagen der Berechnung

Temporäre Wärmeschutzvorrichtungen, wie zum Beispiel Rollläden und Klappläden, haben abhängig von deren Ausführung, der jeweiligen Gestalt und Qualität der Gebäudehülle sowie weiteren Randbedingungen wie die Anzahl der Stunden ohne Sonneneinstrahlung in denen der temporäre Wärmeschutz geschlossen ist, einen mehr oder weniger großen Einfluss auf den Jahres-Nutzwärmebedarf von Gebäuden. Um das Energieeinsparpotential typischer temporärer Wärmeschutzsysteme in Bezug auf den Nutzwärmebedarf von Gebäuden quantifizieren zu können, werden im Rahmen dieses Projekts umfangreiche Simulationsstudien analog zu den Untersuchungen von Hauser [3] am Beispiel einer Einzelraumgeometrie, wie in 2.1 dargestellt, durchgeführt. Auf Basis der erzielten Ergebnisse wurde ein Berechnungsalgorithmus abgeleitet, der es ermöglicht, die Energieeinsparung infolge temporärer Wärmeschutzsysteme bei der Berechnung des Jahres-Nutzwärmebedarfs zu berücksichtigen.

2.1.1 Berechnungsmodell

Die Berechnungen erfolgen jeweils für Wohn- und Büronutzung analog zu den Nutzungsrandbedingungen für die Profile Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und Einzelbüro nach DIN V 18599 [1]. Die internen Wärmegegewinne werden entsprechend mit $50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ für Einfamilien- bzw. $100 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ für Mehrfamilienhäuser sowie mit $72 \text{ Wh}/(\text{m}^2\text{d})$ für Büroräume angesetzt.

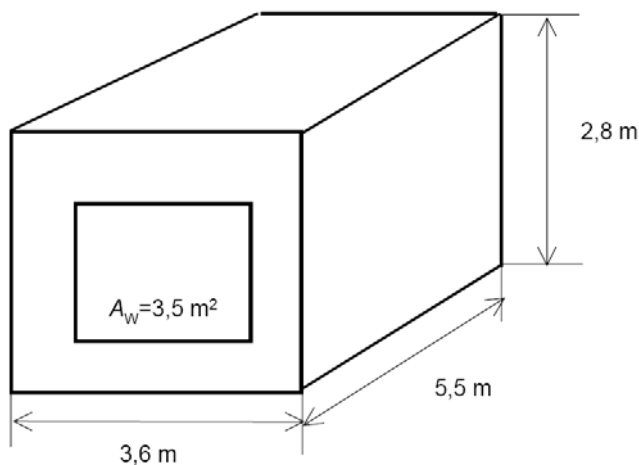


Bild 2.1: Geometrie des Einraummodells gemäß DIN EN ISO 13791 [4], DIN EN ISO 13790 [5] sowie DIN EN 15265 [6].

Als Gebäudemodell für die Einzelraumsimulationen wird eine Geometrie gemäß Bild 2.1 herangezogen, die in dieser Form auch bereits in [3] verwendet wurde. Der fassadenbezogene Fensterflächenanteil f_w wird abweichend von Bild 2.1 von 0,3 (30% fassadenbezogener Fensterflächenanteil) bis 1 (100% fassadenbezogener Fensterflächenanteil) in den Schritten 30%, 50%, 70% und 100 % variiert, um die Simulationsergebnisse jeweils über dem Fensterflächenanteil auftragen zu können. Der Rahmenanteil wird dabei vereinfachend konstant mit $f_r = 30\%$ angenommen. Der Orientierungseinfluss wird berücksichtigt, indem diese Berechnungen jeweils für eine Fassadenorientierung in den Himmelsrichtungen Nord und Süd durchgeführt werden.

Das verwendete Einzelraummodell gem. Bild 2.1 dient in der einschlägigen internationalen Normung als Grundlage der Validation thermischer Simulationsprogramme zur Berechnung des sommerlichen Wärmeverhaltens (DIN EN ISO 13791 [4], DIN EN ISO 13790 [5], DIN EN 15265 [6]) sowie auch des

Nutzwärmebedarfs (DIN EN ISO 13790). Validationsergebnisse des verwendeten Simulationsprogramms [7,8] zu den genannten Normen liegen jeweils vor.

Bei einer Einzelraumbetrachtung ist zudem die Lage im Gebäude zu berücksichtigen, da diese einen maßgeblichen Einfluss auf die Energiebilanz des Raumes hat. Um diesem Einfluss Rechnung zu tragen wurden bei der Simulation jeweils ein Zentralraum mit einer an die Außenluft grenzenden Fassadenfläche sowie ein Eckraum mit zwei an Außenluft grenzenden Fassadenflächen betrachtet.

Für den öffentlich-rechtlichen Nachweis nach EnEV [9] wird ausschließlich der Referenzstandort Deutschland (Würzburg) herangezogen. Allerdings soll im Rahmen der vorliegenden Studie auch der Meteorologieeinfluss auf die Höhe des Jahres-Nutzwärmebedarfes betrachtet werden. In den Simulationsstudien auf Stundenbasis wird im Rahmen dieser Studie der Klimadatenatz des Testreferenzjahres (TRY) für Essen [10] verwendet. Vergleichend werden zusätzlich zum hinterlegten TRY-Essen Berechnungen für die Standorte Rostock, Mannheim und Passau durchgeführt. Die Auswahl der Testreferenzjahre für die Untersuchungen soll ein möglichst großes Spektrum von Klimadaten der Bundesrepublik abdecken. Die gewählten Testreferenzjahre liegen, auf der sicheren Seite liegend, hinsichtlich der Jahrestemperaturen eher im mittleren bis warmen Bereich, wie die Gegenüberstellung in Bild 2.2. – hier für den Sommerfall (Überschreitungsdauer $t_{op,26}$ von 26°C in einem Raum) – zeigt. Für den Winterfall – hier nicht dargestellt – ergeben sich vergleichbare Ergebnisse mit Rostock, Essen und Passau mit eher mittleren, Mannheim mit warmen Verhältnissen.

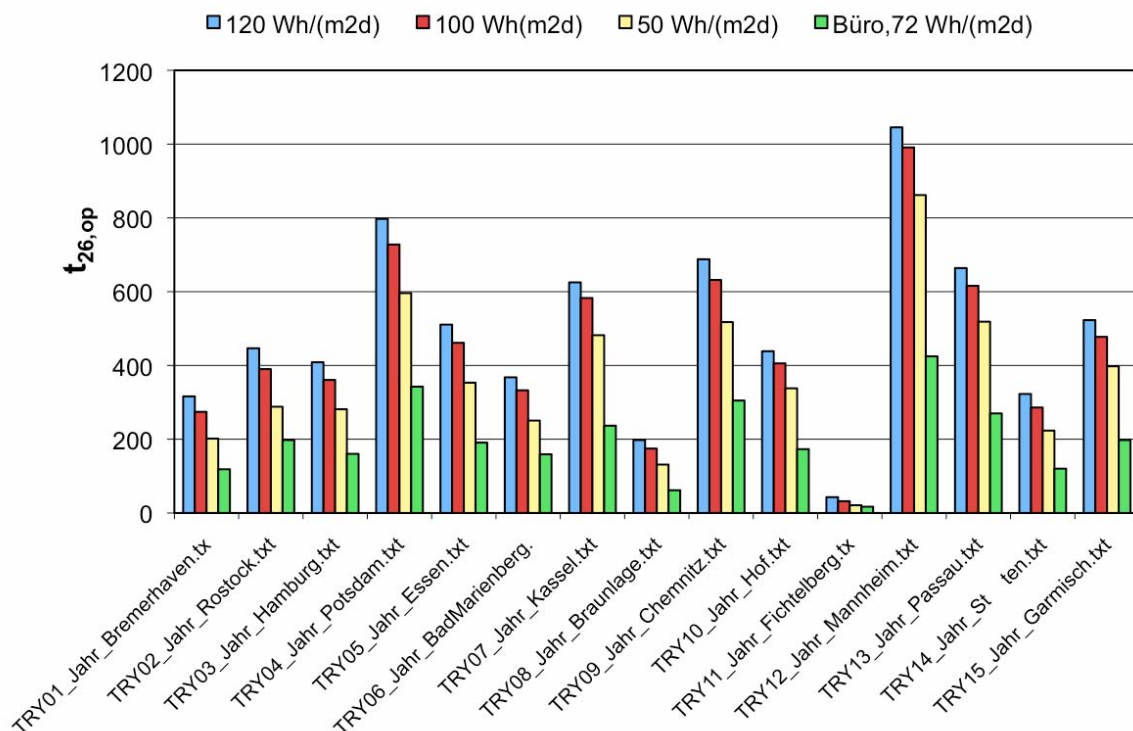


Bild 2.2: Vergleich der für Deutschland vorliegenden Testreferenzjahre hinsichtlich der im Sommerfall in einem Raum auftretenden Überschreitungsdauer $t_{op,26}$ von 26 °C [10].

Zur Bewertung der erzielbaren Einsparungen im Hinblick auf den Jahres-Nutzenergiebedarf für die Heizung werden Simulationen für den Altbaustandard sowie für den Neubaustandard nach EnEV 2009 durchgeführt. Die den Simulationsrechnungen zugrunde liegenden Bauteil-U-Werte basieren für den Altbau auf Angaben aus der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand [11] für die Baualtersklasse 1968 - 1979. Für den Dämmstandard der EnEV 2009 wurden die Werte der Referenzausführung [9] hinterlegt. Zudem wurde für das Niveau EnEV 2009 jeweils eine Variante mit verbessertem U-Wert der Fenster (Variante EnEV 2009*) berechnet. Die einzelnen U-Werte sind den Tabellen 2.1 und 2.2 zu entnehmen.

Tabelle 2.1 Referenzwerte für Wohn- und Nichtwohngebäude für Altbauniveau 1969-1978 [11], gemäß EnEV 2009 und EnEV 2009*

	U [W/(m ² K)]		
	Altbau	EnEV 2009	EnEV 2009*
Fenster	3,0 (g = 0,75)	1,3 (g = 0,60)	1,0 (g = 0,50)
Außenwand	1,0	0,28	0,28

Tabelle 2.2: U-Werte der in der Simulation angesetzten Verglasungen

Verglasung	U_w [W/(m ² K)]	U_g [W/(m ² K)]	U_f [W/(m ² K)]	g [-]
2-Scheiben Isolierverglasung, unbeschichtet	3,0 [11], [12]	2,8 [13]	3,0 [12]	0,75
2-Scheiben Wärmeschutzverglasung	1,3 [11], [12]	1,1 [12]	1,8	0,60
3-Scheiben Wärmeschutzverglasung, thermisch verbesserter Randverbund	1,0 [11], [12]	0,7 [12]	1,7	0,50

Neben dem baulichen Wärmeschutzniveau sind – wie bereits Hauser in [3] gezeigt hat – insbesondere die angesetzte Luftwechselrate und die internen Lasten die wesentlichen Einflussparameter, welche im Rahmen dieser Studie entsprechend den Randbedingungen der DIN V 18599 [1] für das Einfamilienhaus, das Mehrfamilienhaus und ein Einzelbüro angesetzt werden. Die gewählten Randbedingungen hinsichtlich Lüftung und interner Last sind ausführlich in [14] dokumentiert.

Die temporären Wärmeschutzsysteme, die in 2.1.2 genauer definiert sind, werden im Rahmen der Simulation während der Nachtstunden als vollständig geschlossen angesetzt. Hinsichtlich der Bedienung der Systeme werden für Büro- und Wohnnutzung jeweils folgende 3 Varianten untersucht:

- Tageslichtabhängige Steuerung des temporären Wärmeschutzes, Bedienung bei Sonnenunter- und Sonnenaufgang bedient (Optimum)
- zeitliche Steuerung des temporären Wärmeschutzes zwischen 19 und 7 Uhr
- zeitliche Steuerung des temporären Wärmeschutzes zwischen 22 Uhr und 6 Uhr (Minimum)

2.1.2 Zusätzliche Wärmedurchlasswiderstände durch temporäre Wärmeschutzsysteme

Um die energetische Wirkung verschiedener temporärer Wärmeschutzsysteme im Rahmen der Simulation abbilden zu können, werden zusätzliche Wärmedurchgangswiderstände ΔR für den temporären Wärmeschutz und die zwischen Scheibe und Wärmeschutz entstehende Luftschicht angesetzt.

Diese zusätzlichen Wärmedurchgangswiderstände sind abhängig von der Luftdurchlässigkeit der Abschlüsse. Gemäß DIN EN 13125:2001 [15] werden äußere Abschlüsse in die Luftdurchlässigkeitsklassen 1 „sehr hohe Luftdurchlässigkeit“ bis 5 „luftdicht“ eingeteilt. Bei innenliegenden Systemen wird zwischen Klasse 1 „hohe und höchste Luftdurchlässigkeit“, Klasse 2 „mittlere Luftdurchlässigkeit“ und Klasse 3 „niedrige Luftdurchlässigkeit“ unterschieden.

Für außenliegende Systeme lassen sich die ΔR -Werte wie folgt bestimmen:

Klasse 1: $\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 2: $\Delta R = 0,25 R_{sh} + 0,09 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 3: $\Delta R = 0,55 R_{sh} + 0,11 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 4: $\Delta R = 0,80 R_{sh} + 0,14 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 5: $\Delta R = 0,95 R_{sh} + 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Die ΔR -Werte für innenliegende Systeme sind im nachstehend aufgeführt:

Klasse 1: $\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 2: $\Delta R = 0,11 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Klasse 3: $\Delta R = 0,14 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

Für verschiedene innen- und außenliegende geschlossene Systeme wurden die zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstände ΔR in Abhängigkeit von deren Luftdurchlässigkeit nach DIN EN 13125 berechnet und in Tabelle 2.3 dargestellt.

Durch infrarot reflektierende Oberflächenbeschichtungen lässt sich der Wärmestrom nach außen durch den temporären Wärmeschutz weiter reduzieren, was am Fraunhofer-Institut für Bauphysik messtechnisch untersucht wurde [14].

Grundsätzlich ist die Ausstattung aller in Tabelle 2.3 dargestellten Abschlüsse mit IR-reflektierenden Oberflächen möglich. Eine rechnerische Berücksichtigung der Schicht kann mit nachfolgend aufgeführter Formel nach DIN EN 13125 für innenliegende Systeme in Abhängigkeit vom Emissionsgrad ε der Beschichtung durch den Faktor k erfolgen, der multipliziert mit ΔR den Gesamtdurchlasswiderstand des temporären Wärmeschutzes ergibt. Für außenliegende Systeme mit IR-reflektierender Beschichtung auf der der Verglasung zugewandten Seite gibt die Norm keine Berechnungsformel vor. Auf Grundlage einer rechnerischen Überprüfung mit der Software „Window v6.3.9.0“ kann jedoch mit hinreichender Genauigkeit angenommen werden, dass die Formel auch für außenliegende Systeme angewendet werden kann. Die Überprüfung zeigt, dass die Anordnung der IR-reflektierenden Schicht auf der jeweils der Verglasung zugewandten Seite bei außen- oder innenliegendem System in Bezug auf den Wärmedurchgangswiderstand R und somit auch auf den Wärmedurchgangskoeffizienten U nahezu gleiche Ergebnisse liefert.

$$k = 1 + 1,54 \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{0,9}\right)^2$$

Es wurde – auf der sicheren Seite liegend – für die Simulation eine Beschichtung mit einem Emissionsgrad $\varepsilon = 0,20$, der etwa dem von leicht oxidiertem oder verschmutztem Aluminium entspricht, angesetzt. Die resultierenden Werte für ΔR sind in Tabelle 2.3 in Klammern aufgetragen.

Tabelle 2.3: Zusätzliche Wärmedurchlasswiderstände für Fenster mit geschlossenen Abschlüssen, Abschlüsse mit IR-reflektierender Beschichtung sind in Klammern angegeben [nach DIN EN 13125:2001 [15] und EN ISO 10077-1:2006 [13]]

Lage	Art des Abschlusses	R_{sh} [(m ² K)/W]	ΔR [(m ² K)/W] abhängig von der Luftdurchlässigkeit des Abschlusses				
			Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Innen	z. B. Vertikaljalousien	-	0,08 (0,15)	0,11 (0,21)	0,14 (0,27)	-	-
außen	z. B. Senkrechtmarkisen, Rollläden aus Aluminium	0,01	0,08 (0,15)	0,09 (0,18)	0,12 (0,22)	0,15 (0,29)	0,18 (0,35)
	z. B. Rollläden aus Holz, Kunststoff oder Aluminium ausgeschäumt	0,10	0,08 (0,15)	0,12 (0,22)	0,17 (0,32)	0,22 (0,42)	0,27 (0,51)
	z. B. Rollläden aus Kunststoff, gedämmt	0,15	0,08 (0,15)	0,13 (0,25)	0,19 (0,37)	0,26 (0,50)	0,31 (0,60)
	z. B. Schiebeläden aus Holz (25 - 30 mm)	0,20	0,08 (0,15)	0,14 (0,27)	0,22 (0,42)	0,30 (0,58)	0,36 (0,70)

2.2 Berechnungsfälle

Für die Simulationen werden aus der Bandbreite der in den Tabellen 2.3 und 2.4 aufgeführten ΔR -Werte der unterschiedlichen Abschlüsse die Maximal- und Minimalwerte sowie einzelne Zwischenwerte hinterlegt, um daraus die Abhängigkeiten des Jahres-Nutzwärmebedarfes vom ΔR des temporären Wärmeschutzes ableiten zu können. Die Simulationen wurden dazu mit den in Tabelle 2.5 angegebenen ΔR -Werten jeweils für die beschriebenen Dämmstandards Altbau, EnEV 2009 und EnEV 2009* (Tabelle 2.1.2) durchgeführt.

Tabelle 2.5: Bei den Simulationen zugrunde gelegte ΔR -Werte

$\Delta R \text{ [(m}^2\text{K)/W]}$							
0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

Zusätzlich wurde der Einfluss der meteorologischen Bedingungen am Standort auf den Jahres-Nutzwärmebedarf am Beispiel der Nutzung Einfamilienhaus für einen Zentralraum dargestellt. Hierzu werden zusätzlich zum Ausgangsfall Essen die Klimarandbedingungen der Standorte Rostock, Mannheim und Passau hinterlegt.

2.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse einzelner Parametervariationen, wie in 2.1 und 2.2 beschrieben, dargestellt und erläutert. Als Bezugsgröße wird jeweils die Energieeinsparung ($\Delta Q_{h,b}$) pro Quadratmeter Fensterfläche dargestellt. Bei gegebener Fenstergröße erlauben die Grafiken somit eine direkte Bestimmung der Energieeinsparung, die dann ggf. auf die Nettogrundfläche umgerechnet werden kann. Das Einsparpotenzial ergibt sich wie folgt:

$$\Delta Q_{h,b} = Q_{h,b} - Q_{h,b,WS} \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$$

$Q_{h,b}$ Jahres-Nutzwärmebedarf ohne temporären Wärmeschutz bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche in [kWh/(m²a)]

$Q_{h,b,WS}$ Jahres-Nutzwärmebedarf mit temporärem Wärmeschutz bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche in [kWh/(m²a)]

Würde der Bezug direkt auf die Nettogrundfläche gewählt, so besäßen die Grafiken nur Gültigkeit für den in Bild 2.1 dargestellten Raum mit einer Grundfläche von 19,8 m². Nur bei Bezug auf die Fensterfläche kann ein allgemeingültiger Zusammenhang aufgezeigt werden, da naturgemäß die zu erwartende Einsparung von der Fensterfläche abhängt.

2.3.1 Lage des Raumes

Der Einfluss der Lage des Raumes im Gebäude auf die Einsparung hinsichtlich Nutzwärmebedarfs pro Quadratmeter Fensterfläche ($\Delta Q_{h,b}$) ist abhängig vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil in Bild 2.3 jeweils für die Zentral- und die Eckraumgeometrie dargestellt.

Um die Abhängigkeit des Einsparpotenzials von der Qualität des temporären Wärmeschutzsystems abzubilden, sind zudem die nach 2.1.2 ermittelten minimalen und maximalen zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstände für den jeweiligen Abschluss (ΔR) bei der Berechnung zugrunde gelegt.

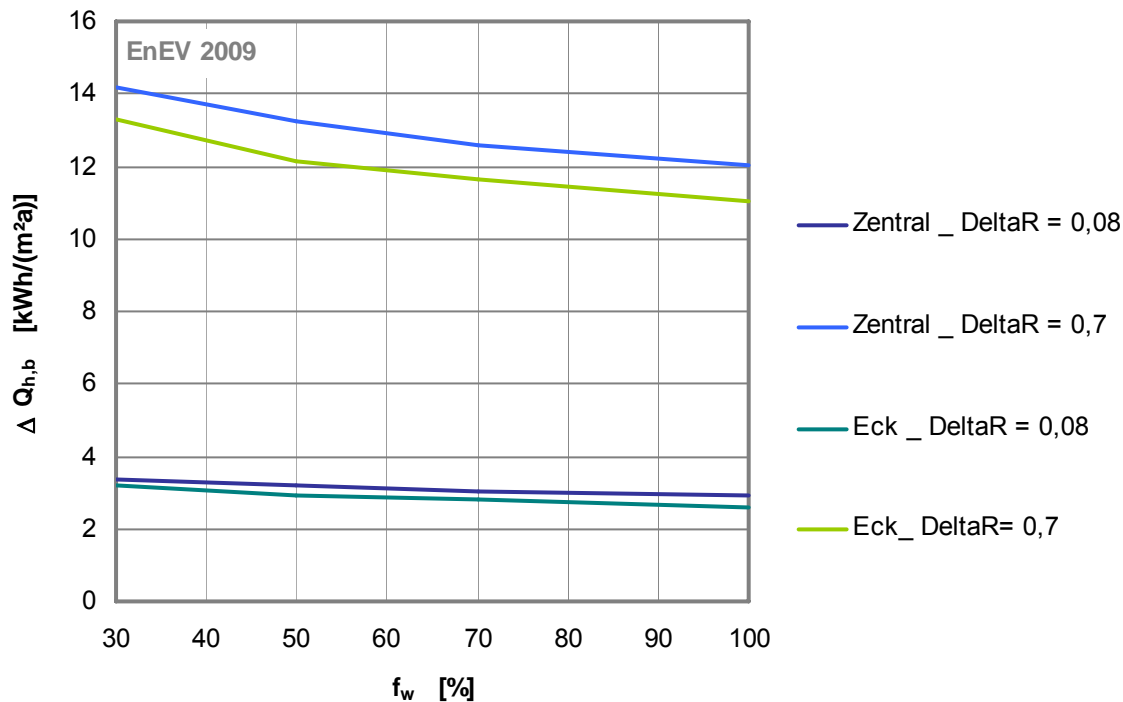


Bild 2.3: Einfluss der Lage des Raumes (Zentral- oder Eckraum) auf die zu erwartende jährliche Energieeinsparung bezüglich des Nutzwärmebedarfs pro Quadratmeter Fensterfläche in Abhängigkeit vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil. Nutzung: Einfamilienhaus, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009, Orientierung: Süd, Standort: Essen, Steuerung: 22 - 6 Uhr

Da die Einsparpotenziale $\Delta Q_{h,b}$ für Zentral- und Eckraum, wie in Bild 2.3 erkennbar, nur geringe Differenzen aufweisen, kann der Einfluss der Positionierung im Gebäude bei der Quantifizierung der Einsparungen bezogen auf den Fensterflächenanteil vernachlässigt werden. Daher wird im Folgenden ausschließlich der Zentralraum betrachtet.

2.3.2 Standort und Orientierung

Der Standort eines Gebäudes hat aufgrund der unterschiedlichen Klimarandbedingungen (Temperaturverlauf, solares Strahlungsangebot, etc.) einen Einfluss auf den Nutzenergiebedarf von Gebäuden und somit auch auf das Einsparpotential durch den Einsatz temporärer Wärmeschutzsysteme. Die mögliche Minderung des Heizwärmebedarfs ist in den Bildern 2.4 - 2.7 abhängig vom zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des temporären Wärmeschutzes für 4 Standorte in Deutschland mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen jeweils für Nord- und Südorientierung dargestellt. Aufgrund der geringeren solaren Gewinne, die abhängig von deren Nutzbarkeit den Heizwärmebedarf eines Raumes reduzieren, weisen die nordorientierten Räume grundsätzlich etwas höhere Einsparpotenziale bei gleicher Qualität des temporären Wärmeschutzes auf als die südorientierten Räume.

Für den Ansatz zur rechnerischen Quantifizierung der Einsparungen infolge des temporären Wärmeschutzes werden daher der Standort Essen sowie eine Südorientierung der Fensterflächen gewählt. Somit werden mögliche Berechnungsergebnisse keine zu hohen Einsparungen ausweisen.

Mit steigender Qualität der wärmeschutztechnischen Ausbildung der Gebäudehülle werden die Transmissionswärmeverluste reduziert, wodurch sich der Heizwärmebedarf verringert. Die Nutzbarkeit der solaren Gewinne, die bei der Zweischeiben-Isolierverglasung (Wärmeschutzniveau Altbau) mit höherem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung deutlich höher sind als bei der Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung (Wärmeschutzniveau EnEV 2009*), ist im Altbau aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs höher als bei neuen Gebäuden (EnEV 2009 und EnEV 2009*). Somit sind die erzielbaren Einsparungen durch temporäre Wärmeschutzmaßnahmen im Altbau, wie aus den Bildern 2.4 bis 2.7 hervorgeht, entsprechend höher als bei gut gedämmten Gebäuden.

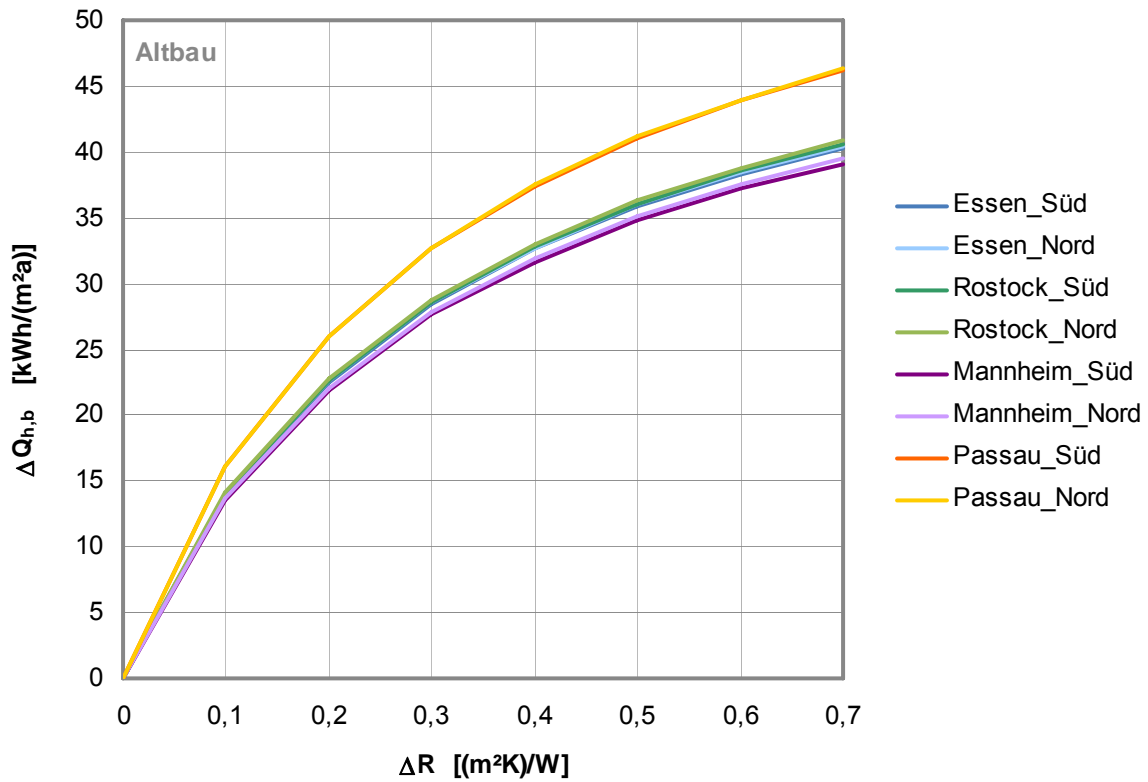


Bild 2.4: Einfluss des zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands eines außenliegenden temporären Wärmeschutzes (ΔR) auf den Jahres-Nutzwärmebedarf pro Quadratmeter Fensterfläche in Abhängigkeit von Standort und Orientierung
 Position: Zentralraum, Standort: Essen, Nutzung: EFH, fassadenbezogener Fensterflächenanteil (f_w): 50 %, Steuerung: 22 - 6 Uhr, Wärmeschutzniveau: Altbau

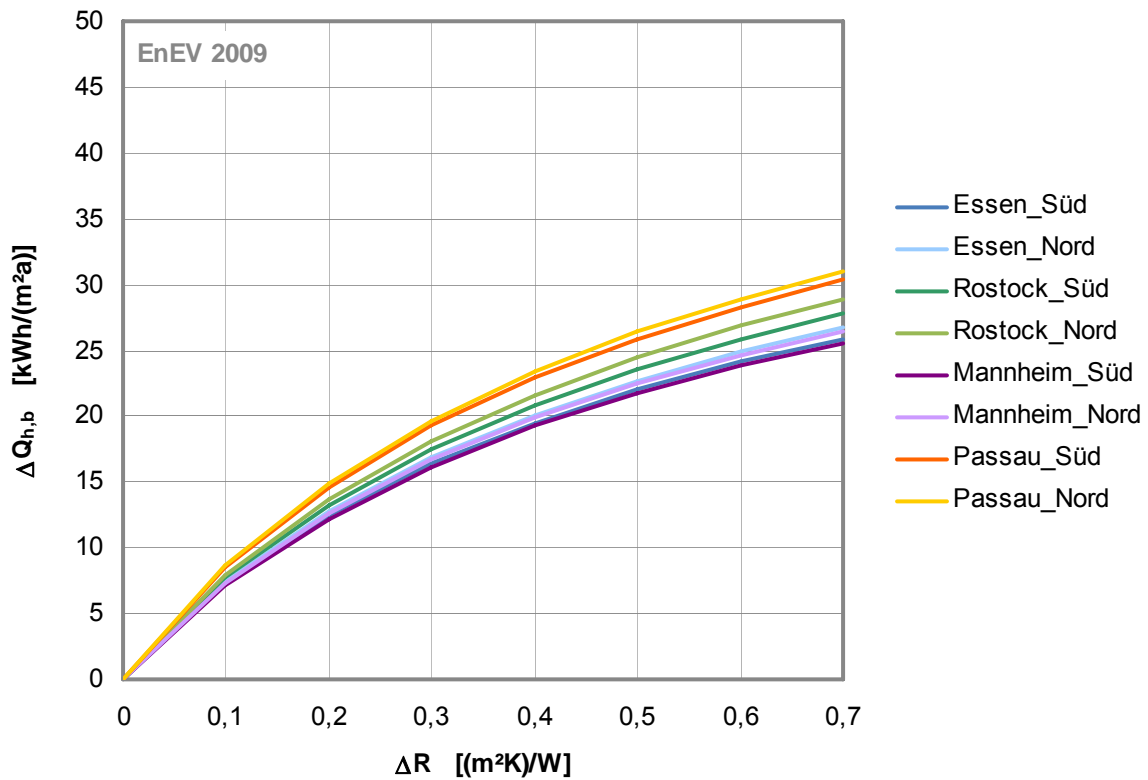


Bild 2.5: wie Bild 2.4, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009

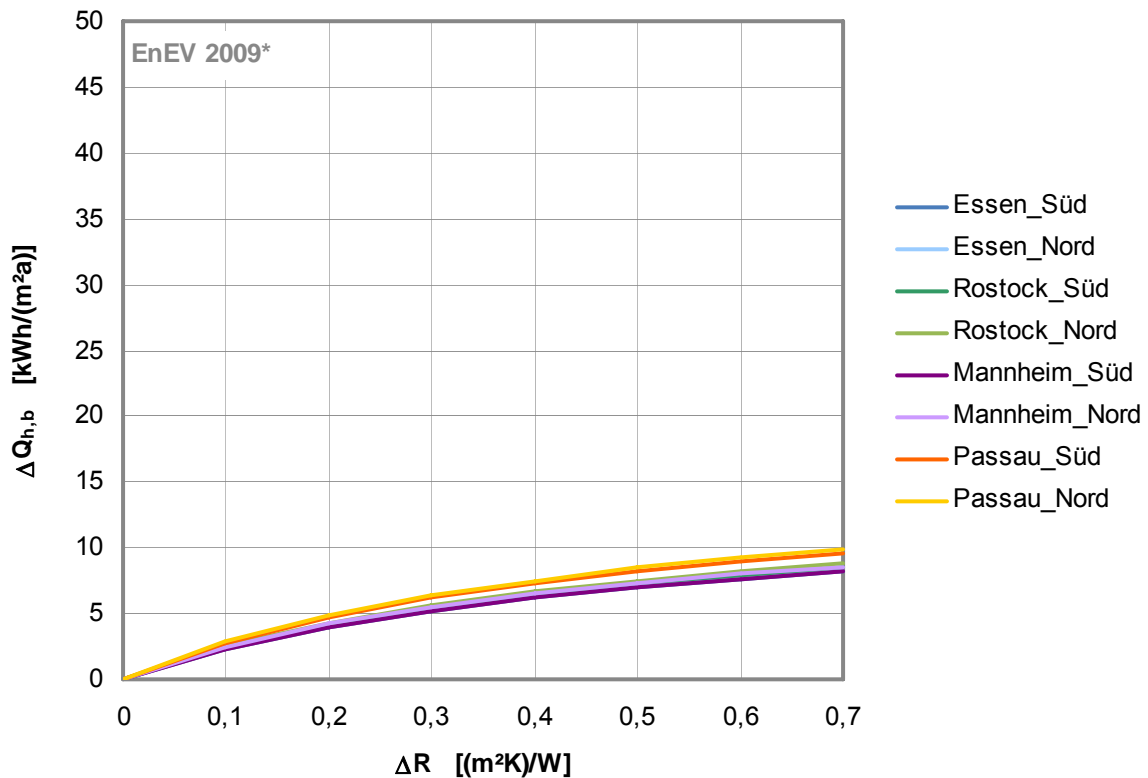


Bild 2.6: wie Bild 2.4, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009*

2.3.3 Nutzungsprofil und Steuerung des temporären Wärmeschutzes

Bei der Variation der Nutzungsprofile für Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH) und Einzelbüro (Büro) nach DIN V 18599 [1] ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen nutzungsbedingt anzusetzenden internen Wärmequellen Einflüsse auf den Jahres-Nutzwärmebedarf (vgl. Bilder 2.7 - 2.9). Dieser Einfluss wird aber bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfes nach DIN 18599-2 [16] ohnehin durch den Ansatz der unterschiedlichen Nutzungsprofile nach DIN V 18599-10 [17] bzw. -100 [18] berücksichtigt und ist daher bei der Definition des Berechnungsalgorithmus zur Quantifizierung der Einsparpotenziale infolge des temporären Wärmeschutzes irrelevant.

Für die Bewertung des Einflusses der Steuerung des temporären Wärmeschutzes werden, wie bereits in Kapitel 2.1.1 beschrieben, 3 Varianten untersucht. Aus den Bildern 2.7 bis 2.9 geht hervor, dass die zu erzielende Einsparung des Jahres-Nutzwärmebedarfs bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche ($\Delta Q_{h,b}$) in Abhängigkeit vom zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des temporären Wärmeschutzes (ΔR) in den Varianten von 22 bis 6 Uhr und von 19 bis 7 Uhr geringer ausfällt als bei der tageslichtabhängigen Steuerung. Dies ist auf die höheren Transmissionswärmeverluste über die Fenster während der Stunden zwischen Sonnenuntergang und dem Schließen des temporären Wärmeschutzes sowie dem Öffnen und Sonnenaufgang zurückzuführen. Die Ergebnisse für die Steuerung nach Sonnenstand (tageslichtabhängige Steuerung) verdeutlichen die zu erzielenden Einsparungen durch Maßnahmen zum temporären Wärmeschutz im Sinne eines Optimums.

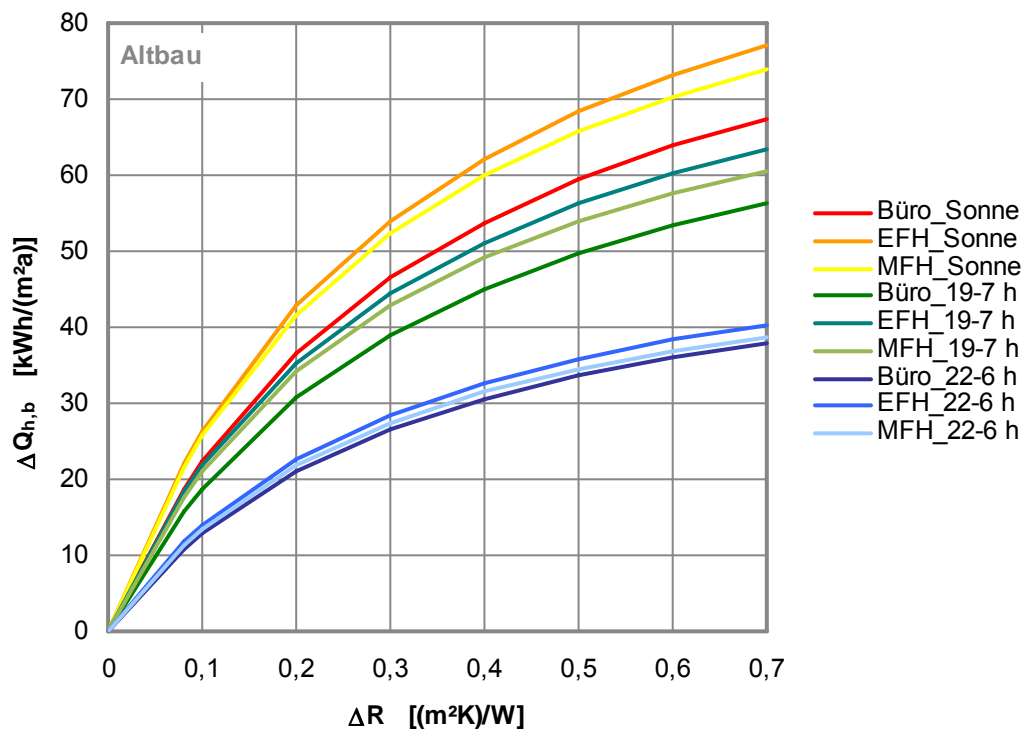


Bild 2.7: Einfluss des zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands eines außenliegenden temporären Wärmeschutzes (ΔR) auf den Jahres-Nutzwärmebedarf pro Quadratmeter Fensterfläche in Abhängigkeit von der Nutzung (EFH, MFH, Büro) und Steuerung des temporären Wärmeschutzes (von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang, von 19 – 7 Uhr oder von 22 - 6 Uhr)
Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, fassadenbezogener Fensterflächenanteil (f_w): 50 %, Wärmeschutzniveau: Altbau

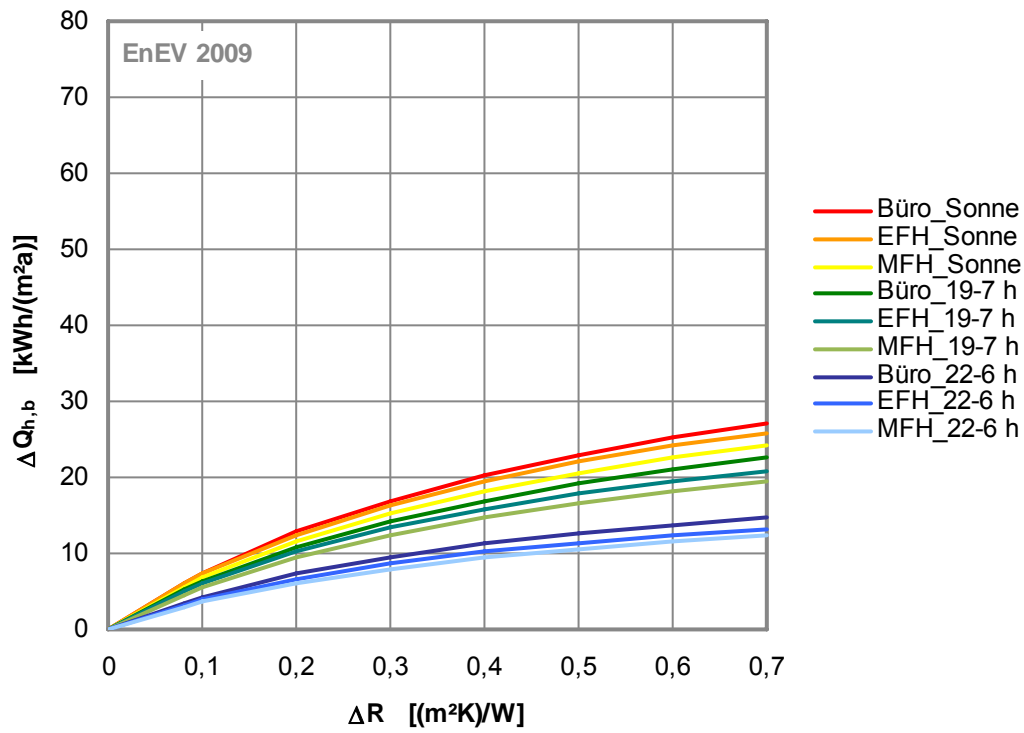


Bild 2.8: wie Bild 2.7, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009

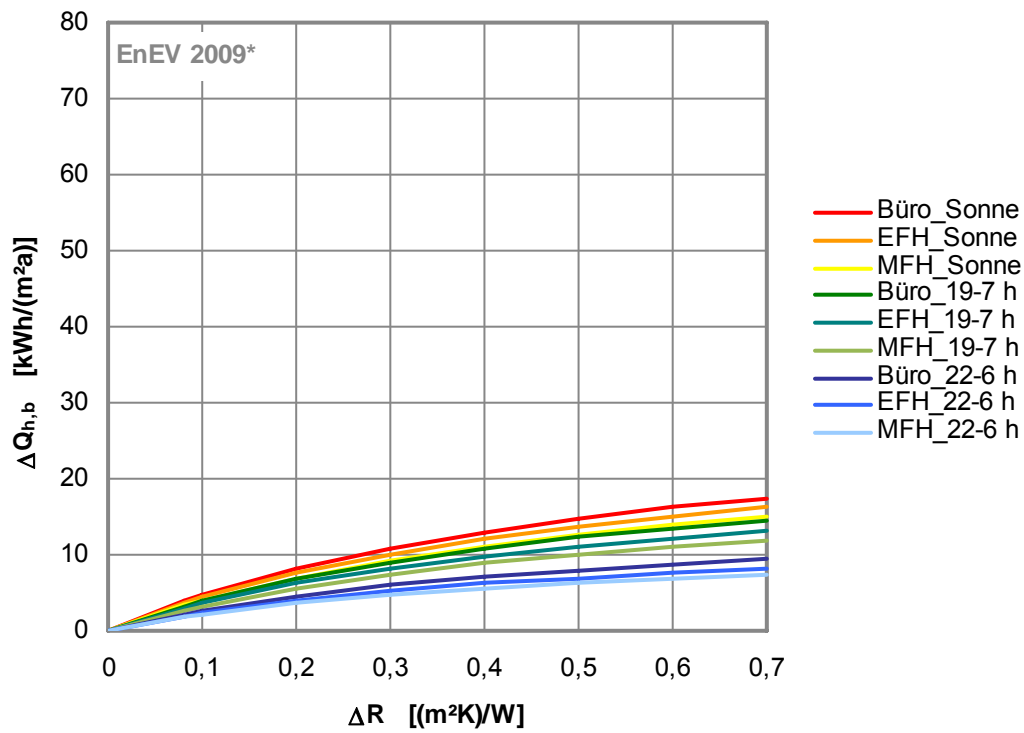


Bild 2.9: wie Bild 2.7, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009*

2.3.4 Fensterflächenanteil

Der Einfluss des fassadenbezogenen Fensterflächenanteils auf den Nutzwärmebedarf ist absolut gesehen nur beim Altbau signifikant (Bild 2.10), wohingegen bei den Neubaustandards EnEV 2009 (Bild 2.11) und EnEV 2009* (Bild 2.12) nur mehr geringe bis keine Effekte mehr erkennbar sind.

Wird jedoch die Einsparung infolge temporären Wärmeschutzes (bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche betrachtet), zeigt sich naturgemäß die Abhängigkeit vom jeweiligen Fensterflächenanteil (Bild 2.13- 2.15). Darüber hinaus geht aus dem Vergleich der Wärmeschutzniveaus hervor, dass der Einfluss des Fensterflächenanteils auf die Einsparungen bei den verschiedenen Wärmeschutzniveaus prozentual gesehen nahezu gleich bleibt (siehe 2.5). Die mögliche, durch den temporären Wärmeschutz zu erzielende Energieeinsparung pro Quadratmeter Fensterfläche ist somit primär vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil abhängig.

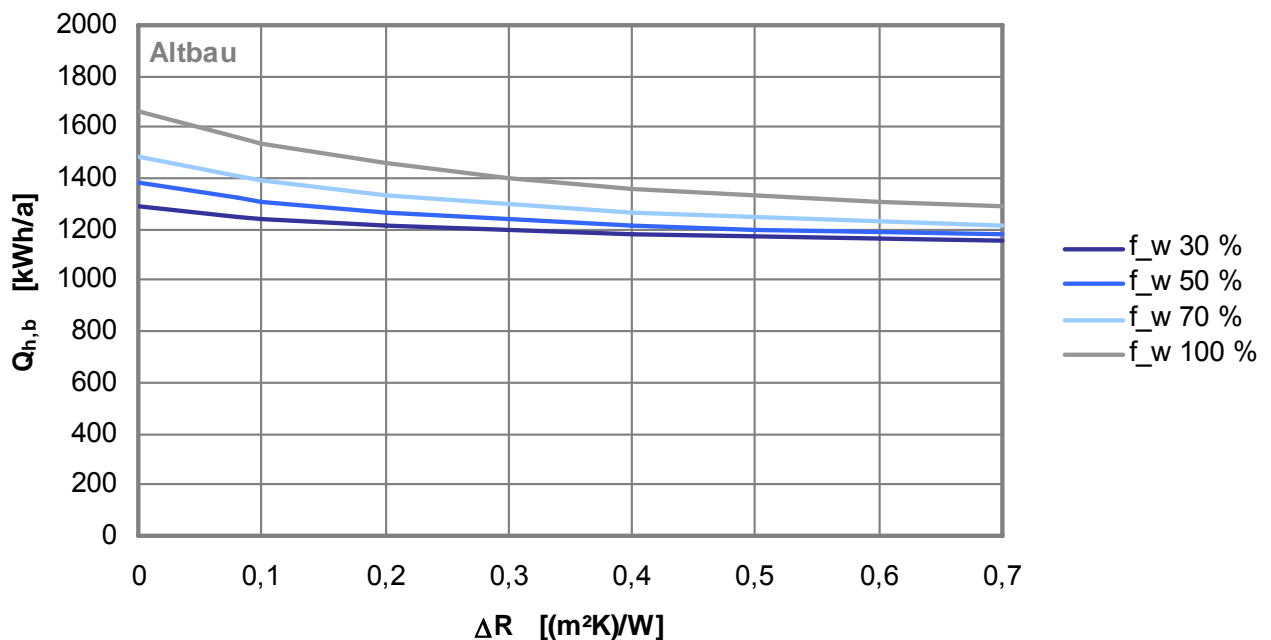


Bild 2.10: Einfluss des zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands eines außenliegenden temporären Wärmeschutzes (ΔR) auf den Jahres-Nutzwärmebedarf in Abhängigkeit vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (f_w)
Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, Nutzung: EFH, Steuerung: 22-6 Uhr, Wärmeschutzniveau: Altbau

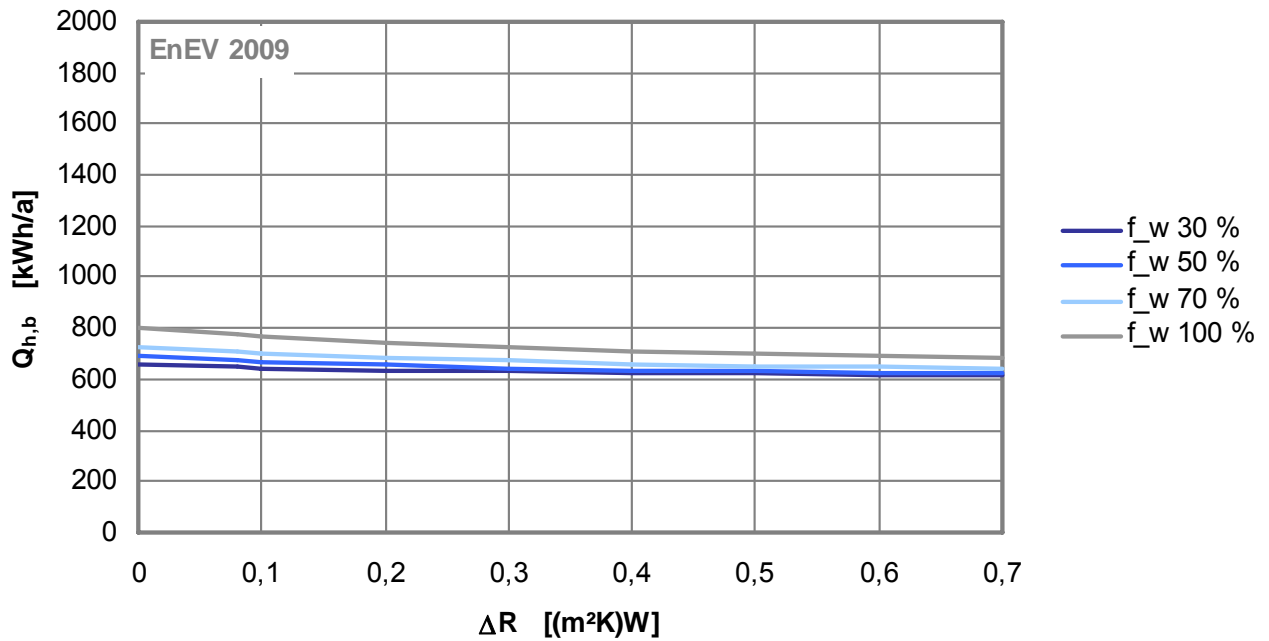


Bild 2.11: wie Bild 2.10, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009

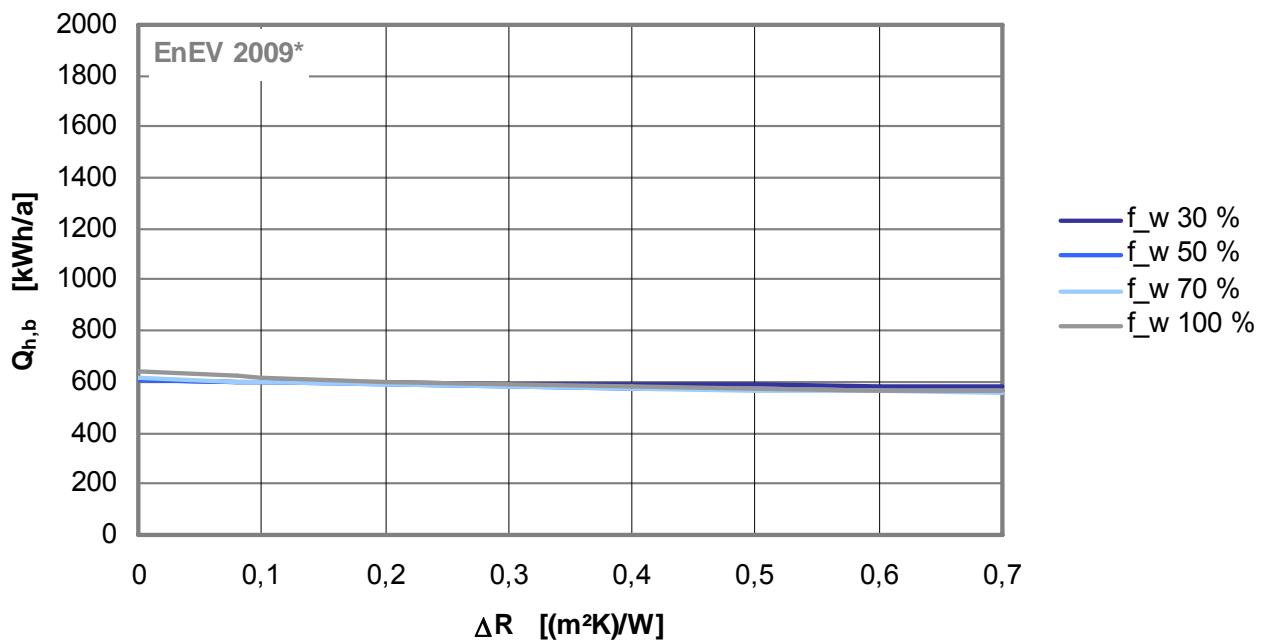


Bild 2.12: wie Bild 2.10, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009*

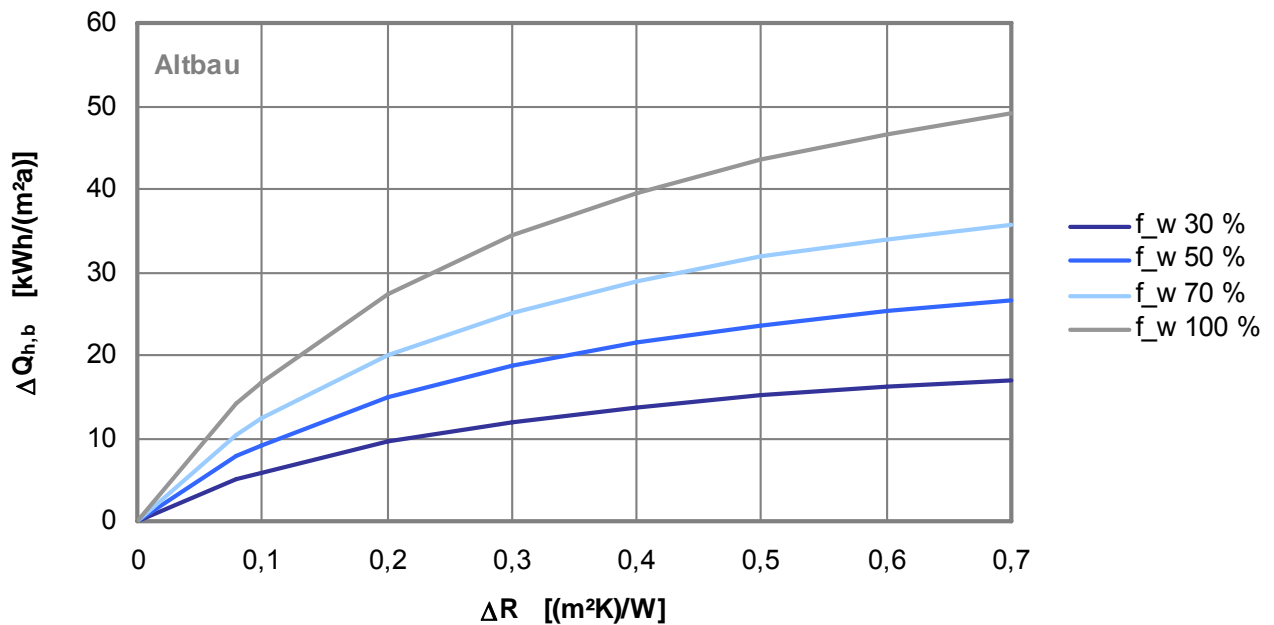


Bild 2.13: Einfluss des zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands eines außenliegenden temporären Wärmeschutzes (ΔR) auf den Jahres-Nutzwärmebedarf bezogen auf den Quadratmeter Fensterfläche in Abhängigkeit vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil (f_w)
Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, Nutzung: EFH, Steuerung: 22-6 Uhr
Wärmeschutzniveau: Altbau

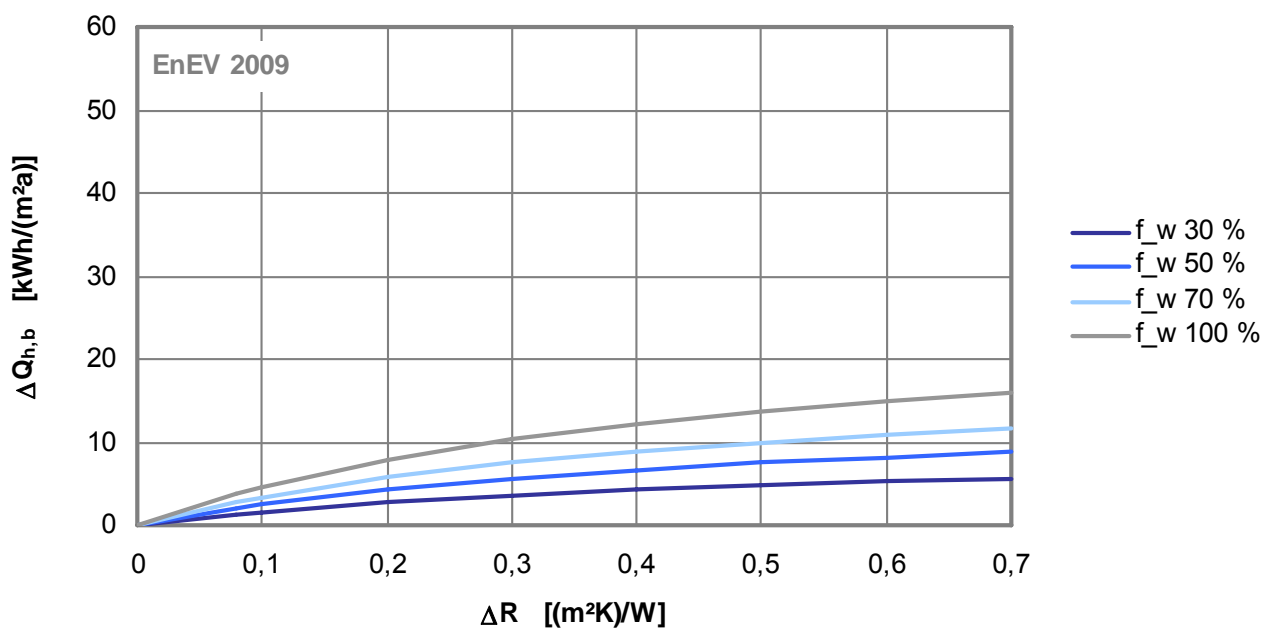


Bild 2.14: wie Bild 2.13, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009

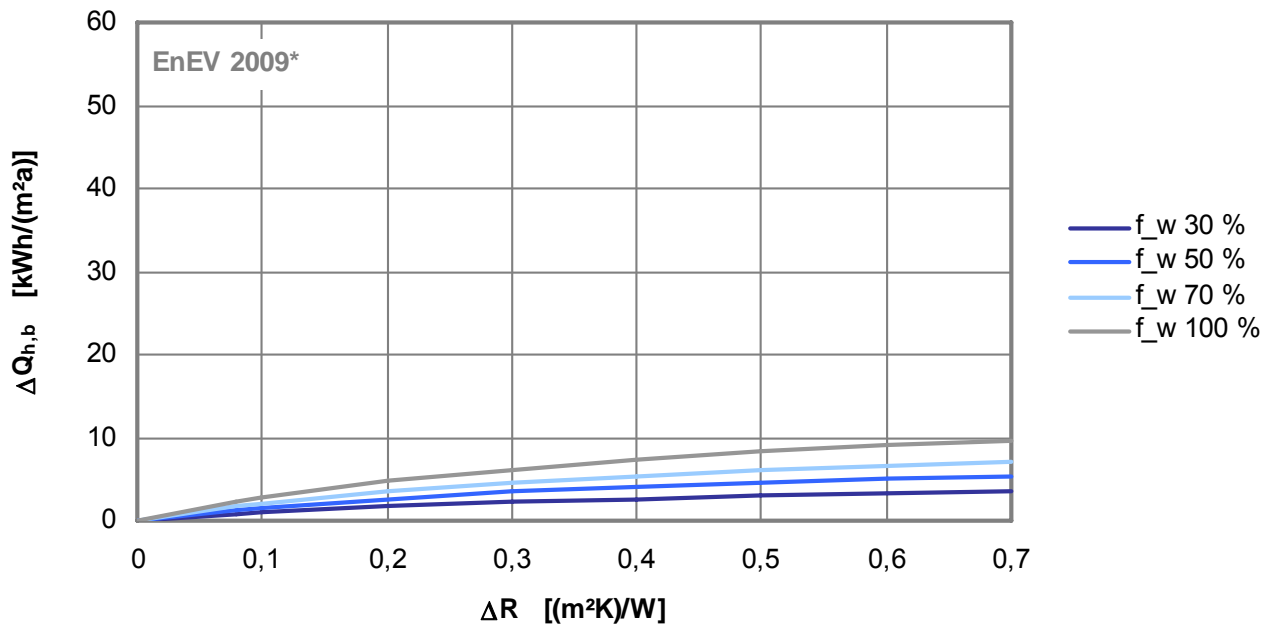


Bild 2.15: wie Bild 2.13, Wärmeschutzniveau: EnEV 2009*

2.4 Vorgeschlagener Näherungsalgorithmus

Aus den Ergebnissen in 2.3 geht hervor, dass neben dem Einfluss des Fensterflächenanteils auch das jeweilige Wärmeschutzniveau der Gebäudehülle einen maßgeblichen Einfluss auf die durch temporäre Wärmeschutzsysteme zu erzielenden Einsparungen beim Jahres-Nutzwärmebedarf hat. Ein Vergleich der Bilder 2.13 bis 2.15, lässt den Schluss zu, dass die Einsparungen bei den verschiedenen Wärmeschutzniveaus in Abhängigkeit vom ΔR des temporären Wärmeschutzes prozentual gesehen nahezu gleich bleiben. Dies deutet auf einen annähernd linearen Zusammenhang zwischen Einsparpotenzial ($\Delta Q_{h,b}$) und der Verbesserung des U-Wertes durch den temporären Wärmeschutz gegenüber dem U-Wert des Fensters ohne temporären Wärmeschutz hin. Einen ähnlichen linearen Zusammenhang hat bereits Hauser in [3] zwischen dem „Deckelfaktor“ D und dem Verhältnis U_{ws}/U_w (früher k_{F+tw}/k_F) aufgezeigt.

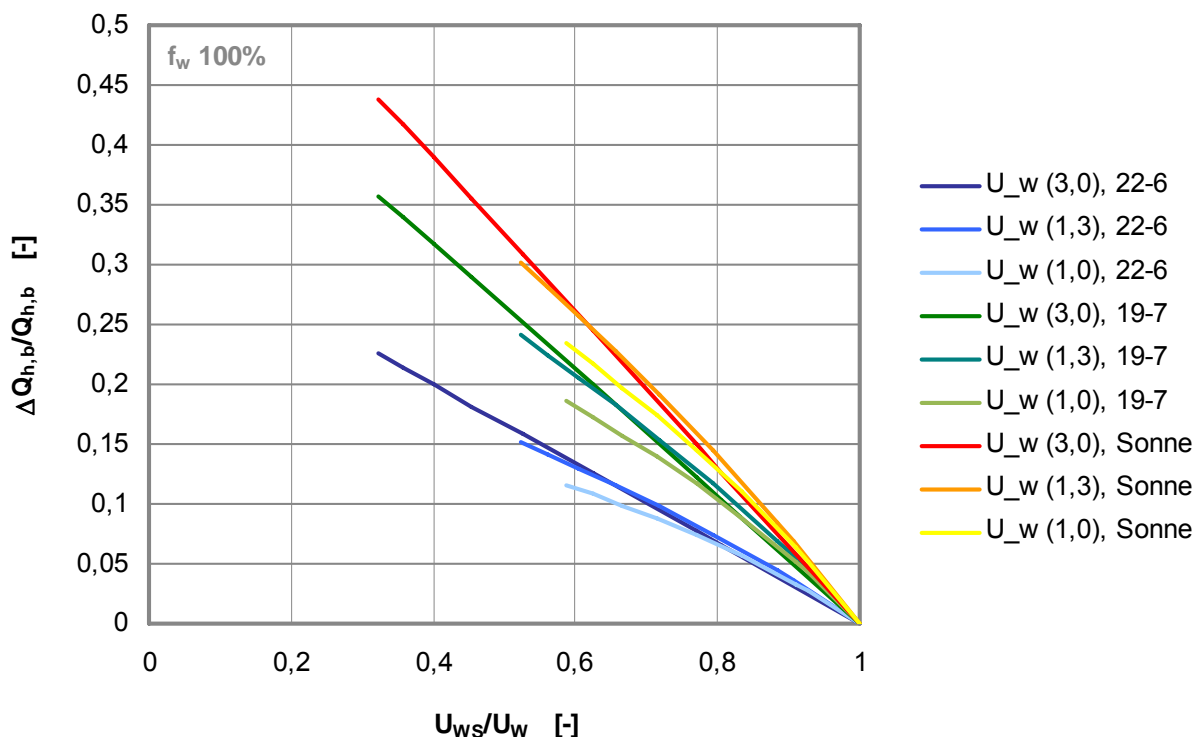


Bild 2.16: Einsparung des Jahres-Nutzwärmebedarfs infolge temporärem Wärmeschutz im Verhältnis zum Jahres-Nutzwärmebedarf ohne temporären Wärmeschutz in Abhängigkeit vom Verhältnis U_{ws}/U_w
Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, Nutzung: EFH, fassadenbezogener Fensterflächenanteil (f_w): 100 %, Wärmeschutzniveau: Altbau

Die Abhängigkeit ist in Bild 2.16 aufgetragen. Der nahezu lineare Zusammenhang zwischen Verbesserung des U-Wertes und der Energieeinsparung durch den temporären Wärmeschutz gegenüber dem Nutzwärmebedarf ohne temporären Wärmeschutz ist deutlich erkennbar. Die zugrunde liegenden Quotienten U_{ws}/U_w können mit Hilfe der Tabelle 2.6 berechnet werden.

Tabelle 2.6: U_{ws} für die in Bild 2.16 dargestellten Abhängigkeiten

U_w [W/(m ² K)]	ΔR [(m ² K)/W]							
	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
3,0	2,4	2,3	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,97
1,3	1,2	1,2	1,0	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68
1,0	0,93	0,91	0,83	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59

Die in Bild 2.16 dargestellten Abhängigkeiten von U_{WS}/U_W und $\Delta Q_{h,b}/Q_{h,b}$ sind für die fassadenbezogenen Fensterflächenanteile 30 %, 50 %, 70 % und 100 % für außen- und innenliegende temporäre Wärmeschutzsysteme in den Bildern 2.17 und 2.18 für die Steuerung des temporären Wärmeschutzes von 22 - 6 Uhr aufgetragen. Die Gleichungen der linearen Funktionen, über die sich aus dem bekannten Verhältnis U_{WS}/U_W und dem Nutzwärmebedarf ($Q_{h,b}$) ohne temporären Wärmeschutz die Einsparung durch den temporären Wärmeschutz ($\Delta Q_{h,b}$) näherungsweise rechnerisch bestimmen lassen, sind jeweils im Bild angegeben.

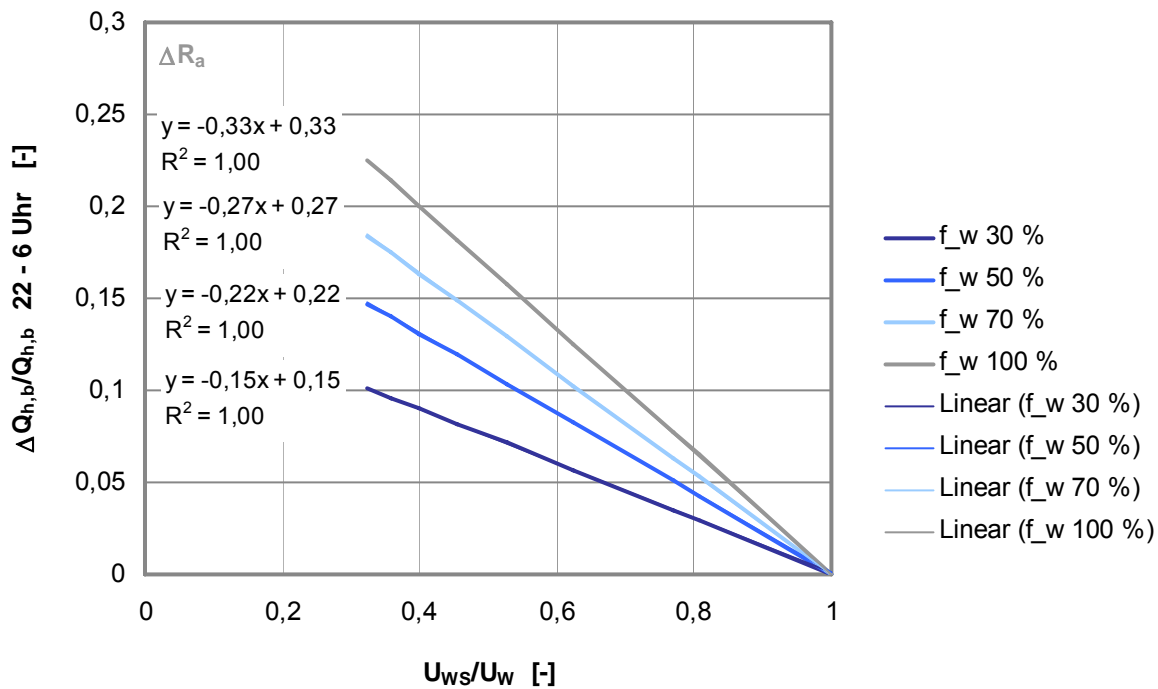


Bild 2.17: Verhältnis $\Delta Q_{h,b}/Q_{h,b}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis U_{ws}/U_w für außenliegende temporäre Wärmeschutzsysteme
 Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, Nutzung: EFH, Steuerung: 22-6 Uhr
 Wärmeschutzniveau: Altbau

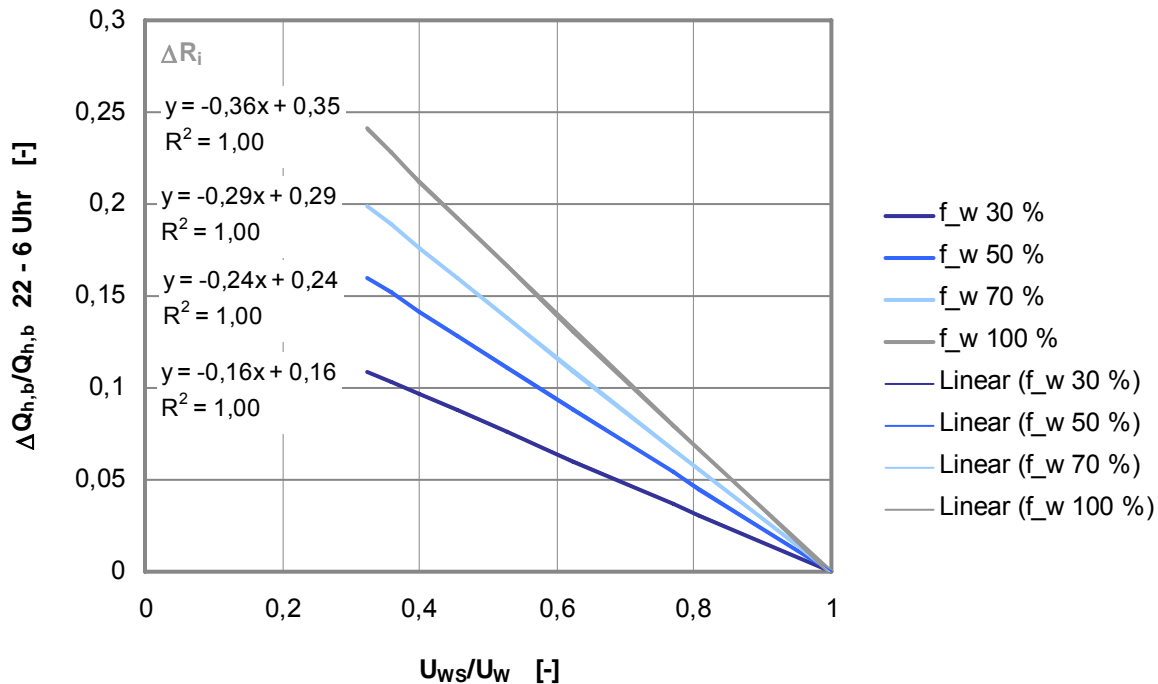


Bild 2.18: Verhältnis $\Delta Q_{h,b}/Q_{h,b}$ in Abhängigkeit vom Verhältnis U_{ws}/U_w für innenliegende temporäre Wärmeschutzsysteme
Position: Zentralraum, Standort: Essen, Orientierung: Süd, Nutzung: EFH, Steuerung: 22-6 Uhr
Wärmeschutzniveau: Altbau

Für die rechnerische Berücksichtigung der Energieeinsparung durch temporäre Wärmeschutzsysteme wird daher vorgeschlagen, ein $\Delta Q_{h,b}$ in Abhängigkeit des Verhältnisses U_{ws}/U_w auszuweisen, das vom errechneten Nutzwärmebedarf $Q_{h,b}$ abgezogen werden kann. Die Berechnung der Einsparung $\Delta Q_{h,b}$ erfolgt auf Grundlage der nachfolgenden Gleichung. Die Abhängigkeit vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil und der Steuerung des temporären Wärmeschutzes lassen sich, analog zu den Ergebnissen von Hauser in [3], durch einen Faktor D_S ausdrücken.

$$\Delta Q_{h,b} = Q_{h,b} \cdot D_S \cdot \left(1 - \frac{U_{ws}}{U_w}\right) \quad [\text{kWh/a}] \text{ oder } [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$$

mit

- $Q_{h,b}$ Nutzwärmebedarf
- D_S „Deckelfaktor“ des temporären Wärmeschutzes
- U_w Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters
- U_{ws} Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters mit temporärem Wärmeschutz

Die entsprechenden Werte für den „Deckelfaktor“ D_S können Tabelle 2.7 entnommen werden. Durch eine Regressionsanalyse wurde gezeigt, dass Zwischenwerte bei Abweichung des fassadenbezogenen Fensterflächenanteils mit sehr guter Näherung linear interpolieren werden können.

Tabelle 2.7: „Deckelfaktor“ D_S für außen- und innenliegende temporäre Wärmeschutzsysteme in Abhängigkeit von der zeitlichen Steuerung und vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil f_w

Steuerung	f_w [%]	D_S	
		außenliegende Systeme	innenliegende Systeme
22 – 6 Uhr	30	0,15	0,16
	50	0,22	0,24
	70	0,27	0,29
	100	0,33	0,36
19– 7 Uhr	30	0,23	0,25
	50	0,34	0,37
	70	0,43	0,46
	100	0,53	0,56
Sonunter- bis Sonnenaufgang	30	0,28	0,30
	50	0,42	0,45
	70	0,52	0,56
	100	0,65	0,69

2.5 Berechnungsbeispiel

Beträgt der Nutzwärmebedarf beim Wärmeschutzniveau Altbau und einem fassadenbezogenen Fensterflächenanteil von 70 % ohne Berücksichtigung des temporären Wärmeschutz beispielsweise 1500 kWh (s. Bild 2.10), ergibt sich bei einer Nettogrundfläche des Raumes von 19,8 m² ein spezifischer Nutzwärmebedarf von 75,8 kWh/(m²a).

Als temporärer Wärmeschutz wird ein Kunststoffrollladen in federgeführten Laufschienen angenommen. Bei vollständig geschlossenen Lichtschlitzen ist dieser der Luftdichtheitsklasse 4 nach DIN EN 13251 zuzuordnen. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand des Rollladenpanzers (R_{sh}) kann mit 0,1 (m²K)/W angenommen werden. Daraus ergibt sich nach Tabelle 2.3 ein zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand für Rollladen und Luftschicht $\Delta R = 0,22$ (m²K)/W.

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters (U_w) ist mit 3,0 W/(m²K) gegeben. Somit lässt sich der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters mit temporärem Wärmeschutz wie folgt berechnen

$$U_{WS} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} = \frac{1}{\frac{1}{3,0} + 0,22} = 1,8 \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

$$\frac{U_{WS}}{U_w} = 0,6 \quad [-]$$

Bei einer Nutzungszeit des temporären Wärmeschutzes zwischen 22 und 6 Uhr kann $\Delta Q_{h,b}$ nach o.g. Gleichung und D_S nach Tabelle 2.6 bestimmt werden.

$$\Delta Q_{h,b} = Q_{h,b} \cdot D_S \cdot \left(1 - \frac{U_{WS}}{U_w}\right) = 1500 \cdot 0,27 \cdot (1 - 0,6) = 162 \text{ kWh/a}$$

Dies entspricht in diesem Beispiel einer Reduktion des Nutzwärmebedarfs durch den temporären Wärmeschutz von rund 11 %. Der spezifische Nutzwärmebedarf $Q_{h,b,WS}$ ergibt sich durch die Einsparung von 8,2 kWh/(m²a) analog mit 67,6 kWh/(m²a).

In Tabelle 2.8 sind mögliche Einsparungen für den Beispielraum je nach Wärmeschutzniveau bzw. gewählter Steuerung des temporären Wärmeschutzes dargestellt. Die prozentualen Angaben stellen jeweils von / bis- Angaben dar, die die Einsparung abhängig vom Fensterflächenanteil von 30 % bis 100% angeben.

Tabelle 2.8: Einsparpotentiale beim Nutzwärmebedarf für den Beispielraum in Abhängigkeit von der zeitlichen Steuerung sowie vom Wärmeschutzniveau der Außenbauteile

U_w [W/(m ² K)]	ΔR [(m ² K)/W]	Einsparung beim Nutzwärmebedarf [%]		
		22 – 6 Uhr	19 – 7 Uhr	Sonnenunter- bis Sonnenaufgang
3,0	0,08	3 – 7 %	5 – 11 %	6 – 14 %
	0,7	10 – 22 %	16 – 36 %	19 – 44 %
1,3	0,08	1 – 3 %	2 – 4 %	2 – 5 %
	0,7	7 – 16 %	11 – 25 %	13 – 31 %
1,0	0,08	1 – 2,5 %	2 – 4 %	2 – 5 %
	0,7	6 – 14 %	9 – 22 %	12 – 27 %

Bei durchschnittlichen Isolierverglasungen ($U_w = 3,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) und sehr gutem temporären Wärmeschutz ($\Delta R = 0,7 \text{ (m}^2\text{K)/W}$) lassen sich abhängig vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil und der zeitlichen Steuerung zwischen 10 % und 44 % Energie im Hinblick auf den Nutzwärmebedarf einsparen. Hingegen lassen sich bei Dreifach- Wärmeschutzverglasungen ($U_w = 1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) und Systemen mit einem niedrigen $\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ nur etwa 1 - 5 % einsparen.

3 Darstellung des Einflusses typischer Sonnenschutzvorrichtungen auf den Jahres-Nutzkältebedarf von Gebäuden

3.1 Grundlagen der Berechnung

Die Mindestanforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz legt die DIN 4108-2 [2] fest. Effektivere Sonnenschutzsysteme als die nach dem Verfahren nach DIN 4108-2 geforderten, können allerdings eine Reduzierung des Nutzkältebedarfs bewirken. Im Rahmen dieser Arbeit werden anhand eines Beispielraumes die möglichen Energieeinsparungen durch verbesserte Sonnenschutzvorrichtungen mit Hilfe thermischer Simulationen quantifiziert und dargestellt.

3.1.1 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Der vereinfachte Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2:2003-07 [2] basiert auf der Ermittlung eines maximal zulässigen Sonneneintragskennwertes (S_{zul}) für einen kritischen Raum (Raumbereich), der die Anforderungsgröße darstellt. Der tatsächlich vorhandene Sonneneintragskennwert (S) für den betrachteten Raum darf diesen Anforderungswert nicht überschreiten, wie die folgende Ungleichung zeigt.

$$S \leq S_{zul}$$

Der Sonneneintragskennwert abhängig von den folgenden Einflussparametern:

- Raumgeometrie: Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil, Orientierung und Neigung der Fensterflächen
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung und Wirksamkeit des Sonnenschutzes (F_C)
- Bauart: wirksame Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Flächen
- Klimaregion: zulässige Grenzwerte der Raumtemperatur sind abhängig vom Außenklima (sommerkühl, gemäßigt, sommerheiß)
- Lüftungskonzept: evtl. vorhandene Nachtlüftung, besonders während der zweiten Nachthälfte
- Internen Wärmequellen

Um den zulässigen Sonneneintragskennwert zu ermitteln, werden die oben genannten Einflüsse mit in DIN 4108-2 definierten Zuschlagswerten S_x berücksichtigt. Aus der Summe der S_x -Werte ergibt sich S_{zul} .

Der Sonneneintragskennwert S für den zu untersuchenden Raum (oder Raumbereich) ist nach folgender Gleichung zu ermitteln.

$$S = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_g}$$

Dabei ist

A_w Fensterfläche in m^2

g_{total} Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz

A_G Nettogrundfläche des Raumes (Raumbereiches)

Vereinfacht kann der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung einschließlich Sonnenschutz im Rahmen des vereinfachten Nachweises wie folgt berechnet werden:

$$g_{total} = g \cdot F_C$$

Dabei ist

g Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

F_C Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen

3.1.2 Berechnungsmodell

Als Grundlage für die Berechnung dient das in 2.1.1 beschriebene Raummodell mit den gleichen Randbedingungen herangezogen.

Für den Ansatz der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit wird eine mittelschwere Bauart gewählt. Zudem wurde eine erhöhte Nachtlüftung während der zweiten Nachthälfte angesetzt, um die Speichermassen während der Nachstunden auskühlen zu können.

Um den Einfluss des Klimas abzubilden, werden bei der Büronutzung im Rahmen der Simulation die Standorte variiert. Aus den gemäß DIN 4108-2:2003-07 definierten Klimaregionen A, B und C wurden die nachfolgend aufgeführten Standorte gewählt. Bei der Wohnnutzung wurden die Simulationsrechnungen lediglich für den Standort Essen durchgeführt.

Rostock: Region A (sommerkühl)
 Essen: Region B (gemäßigt)
 Mannheim: Region C (sommerheiß)

3.1.3 Kennwerte der Verglasungen und Sonnenschutzsysteme

Die Berücksichtigung der Wirkung von Sonnenschutzvorrichtungen erfolgt bei der Bewertung der solaren Wärmeeinträge nach DIN V 18599-2:2007-02, wie auch beim vereinfachten Nachweis nach DIN 4108-2 bereits dargestellt, über den Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz (g_{total}).

Dabei werden entweder die in der Norm enthaltenen Standardwerte (Tab. 5, DIN V 18599-100:2009-10 [18]) in Ansatz gebracht oder Werte, die durch Berechnung nach DIN EN 13363-1 [19] oder DIN EN 13363-2 [20], bei Folien ggf. nach DIN EN 410 [21], ermittelt wurden. Zudem können auch Werte aus objektbezogenen Nachweisen von Herstellern herangezogen werden.

Für die Bestimmung der bei der Simulation angesetzten Gesamtenergiedurchlassgrade g_{total} wurde für alle Varianten der in Tabelle 3.1 dargestellten Verglasungen jeweils mit außen- und innenliegendem Sonnenschutz das vereinfachte Verfahren nach DIN EN 13363-1 angewendet.

Tabelle 3.1: Kennwerte der in der Simulation angesetzten Verglasungen

Verglasung	U_g [W/(m ² K)]	g [-]
2-Scheiben-Isolierverglasung, unbeschichtet	2,8	0,75
2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	1,1	0,60
3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung	0,7	0,50
2-Scheiben-Sonnenschutzverglasung	1,1	0,25

Für die Verwendung des vereinfachten Verfahrens muss die Voraussetzung gegeben sein, dass die Werte für Transmission ($\tau_{e,B}$) und Reflexion ($\rho_{e,B}$) des Sonnenschutzes in folgenden Bereichen liegen:

$$0 \leq \tau_{e,B} \leq 0,5$$

$$0,1 \leq \rho_{e,B} \leq 0,8$$

In DIN EN 13363-1 sind Richtwerte für typische Kenngrößen von Sonnenschutzvorrichtungen angegeben, die Transmissionsgrad und Reflexionsgrad in Abhängigkeit von Lichtdurchlässigkeit und Farbe des Systems darstellen (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Typische Kenngrößen für Sonnenschutzvorrichtungen aus DIN EN 13363-1 [19]

Transmissionsgrad $\tau_{e,B}$		Reflexionsgrad $\rho_{e,B}$			
		weiß	pastellfarben	dunkel	schwarz
Lichtundurchlässig	0,0	0,7	0,5	0,3	0,1
Mittel lichtdurchlässig	0,2	0,6	0,4	0,2	0,1
Stark lichtdurchlässig	0,4	0,4	0,3	0,2	0,1

Die DIN V 18599-100 gibt ebenfalls Kennwerte der Sonnenschutzvorrichtungen an, die allerdings abhängig von System und Farbe angegeben werden, wie in Tabelle 3.3 dargestellt wird.

Tabelle 3.3: Typische Kenngrößen für Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN V 18599-100 [18]

Sonnenschutzvorrichtung		$\tau_{e,B}$	$\rho_{e,B}$	$\rho_{e,B}$	
außenliegend	Jalousie (10°-Stellung)	weiß	0,0	0,74	0,26
		dunkelgrau	0,0	0,085	0,915
	Jalousie (45°-Stellung)	weiß	0,0	0,74	0,26
		dunkelgrau	0,0	0,085	0,915
Vertikale Markise	weiß	0,22	0,63	0,15	
	grau	0,07	0,14	0,79	
innenliegend	Jalousie (10°-Stellung)	weiß	0,0	0,74	0,26
		hellgrau	0,0	0,52	0,48
	Jalousie (45°-Stellung)	weiß	0,0	0,74	0,26
		hellgrau	0,0	0,52	0,48
	Textil-Rollo	weiß	0,11	0,79	0,10
		grau	0,30	0,37	0,33
Folie	weiß	0,03	0,75	0,22	

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{total} für eine Verglasung mit außenliegender Sonnenschutzvorrichtungen ergibt sich nach DIN EN 13363-1 durch:

$$g_{\text{tot}} = \tau_{e,B} \cdot g + \alpha_{e,B} \cdot \frac{G}{G_2} + \tau_{e,B} \cdot (1-g) \cdot \frac{G}{G_1}$$

Dabei ist

$$\alpha_{e,B} = 1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}$$

Absorptionsgrad des Sonnenschutzes

$$\tau_{e,B}$$

Transmissionsgrad des Sonnenschutzes

$$\rho_{e,B}$$

Reflexionsgrad des Sonnenschutzes

$$G_1 = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$G_2 = 10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{total} für eine Verglasung mit innenliegender Sonnenschutzvorrichtungen ergibt sich nach DIN EN 13363-1 durch:

$$g_{\text{tot}} = g \cdot \left(1 - g \cdot \rho_{e,B} - \alpha_{e,B} \cdot \frac{G}{G_2} \right)$$

Dabei ist

$$\alpha_{e,B} = 1 - \tau_{e,B} - \rho_{e,B}$$

$$G_2 = 30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Aus der Kombination der in Tabelle 2.x aufgeführten Verglasungen mit unterschiedlichen außenliegenden und innenliegenden Sonnenschutzsystemen ergeben sich nach den oben angegebenen Gleichungen die in den Tabellen 3.4 und 3.5 aufgeführten Werte für g_{total} und F_c .

Tabelle 3.4: Bandbreite der Kennwerte von Verglasungen und außenliegender Sonnenschutzvorrichtungen [nach DIN EN 13363-1]

Transmission	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4		
Reflexion	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1	0,6	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1		
Absorption	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	0,2	0,4	0,6	0,7	0,2	0,3	0,4	0,5		
Verglasung	U_g	g	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	
2-fach-ISV	2,8	0,75	0,03	0,05	0,08	0,11	0,14	0,20	0,23	0,26	0,27	0,36	0,38	0,39	0,41
2-fach-WSV	1,1	0,6	0,02	0,02	0,04	0,06	0,07	0,15	0,17	0,18	0,19	0,28	0,29	0,30	0,31
3-fach-WSV	0,7	0,5	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,12	0,13	0,15	0,15	0,23	0,24	0,25	0,25
2-fach-SSV	1,2	0,25	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09	0,11	0,13	0,14	0,17	0,18	0,19	0,20
Verglasung	U_g	g	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c	F_c
2-fach-ISV	2,8	0,75	0,04	0,06	0,10	0,14	0,18	0,26	0,30	0,34	0,36	0,48	0,50	0,52	0,54
2-fach-WSV	1,1	0,6	0,03	0,04	0,07	0,10	0,12	0,25	0,28	0,30	0,32	0,47	0,49	0,50	0,51
3-fach-WSV	0,7	0,5	0,02	0,03	0,06	0,08	0,10	0,25	0,27	0,29	0,30	0,47	0,48	0,49	0,50
2-fach-SSV	1,2	0,25	0,07	0,11	0,18	0,25	0,32	0,38	0,45	0,52	0,55	0,68	0,72	0,75	0,79

Tabelle 3.5: Bandbreite der Kennwerte von Verglasungen und innenliegender Sonnenschutzvorrichtungen [nach DIN EN 13363-1]

Transmission	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4		
Reflexion	0,8	0,7	0,5	0,3	0,1	0,6	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	0,2	0,1		
Absorption	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	0,2	0,4	0,6	0,7	0,2	0,3	0,4	0,5		
Verglasung	U_g	g	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	g_{tot}	
2-fach-ISV	2,8	0,75	0,29	0,34	0,44	0,54	0,64	0,40	0,50	0,60	0,65	0,51	0,56	0,61	0,66
2-fach-WSV	1,1	0,6	0,31	0,34	0,41	0,48	0,54	0,38	0,45	0,52	0,55	0,45	0,49	0,52	0,55
3-fach-WSV	0,7	0,5	0,30	0,32	0,37	0,42	0,46	0,35	0,40	0,44	0,47	0,40	0,42	0,45	0,47
2-fach-SSV	1,2	0,25	0,20	0,20	0,21	0,22	0,24	0,21	0,22	0,23	0,24	0,22	0,23	0,23	0,24
Verglasung	U_g	g	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C	F_C
2-fach-ISV	2,8	0,75	0,38	0,45	0,58	0,72	0,85	0,53	0,67	0,80	0,87	0,68	0,75	0,82	0,88
2-fach-WSV	1,1	0,6	0,51	0,57	0,68	0,80	0,91	0,63	0,75	0,86	0,92	0,75	0,81	0,87	0,92
3-fach-WSV	0,7	0,5	0,60	0,64	0,74	0,83	0,93	0,70	0,79	0,89	0,93	0,80	0,84	0,89	0,94
2-fach-SSV	1,2	0,25	0,79	0,81	0,86	0,90	0,94	0,84	0,88	0,93	0,95	0,89	0,91	0,93	0,96

3.2 Berechnungsfälle

Die unterschiedlichen Parameter, wie Fensterflächenanteil, Orientierung der Fenster, Qualität der Verglasung, Bauart, Nutzung etc., die die Höhe des Nutzkältebedarfes beeinflussen, wurden bereits in 3.1.2 dargestellt. Unter Berücksichtigung dieser Größen lässt sich nach dem vereinfachten Verfahren nach DIN 4108-2 die Qualität eines gegebenenfalls notwendigen Sonnenschutzes (F_C) ermitteln. Somit sollen übermäßige Überhitzungen vermieden werden, um den Energiebedarf für eine eventuell vorhandene Kühlung so gering wie möglich zu halten. Demzufolge variiert der notwendige F_C -Wert, je nach gegebenen Randbedingungen, sehr stark. Um diese Bandbreite bei der Quantifizierung der Einsparpotenziale im Hinblick auf den Jahres-Nutzkältebedarf ($Q_{c,b}$) durch den Einsatz eines Sonnenschutzsystems mit einem geringeren F_C -Wert als dem nach DIN 4108-2 geforderten, abbilden zu können, wurden für die Nutzungen Büro und Wohnen folgende Parameter bei der Simulation variiert:

- Lage des Raumes
- Klimaregion
- Orientierung der Fensterflächen
- Fassadenbezogener Fensterflächenanteil
- Verglasung

Da bei Bürogebäuden häufig Sonnenschutzverglasungen zum Einsatz kommen, werden für das Nutzungsprofil Einzelbüro zusätzlich Simulationsrechnungen mit einer Sonnenschutzverglasung nach Tabelle 3.1 durchgeführt.

Auf dieser Grundlage wurden die entsprechenden F_C -Werte nach dem vereinfachten Verfahren nach DIN 4108-2 für die einzelnen Varianten bestimmt (Tabelle 3.6 und 3.7).

3.3 Ergebnisse

Für die in den Tabellen 3.6 und 3.7 dargestellten Fälle lassen sich aus den Ergebnissen der Simulationen bei Ansatz der jeweils nach DIN 4108-2 erforderlichen F_C -Werte ohne den Einsatz einer Kühlung die entsprechenden Überhitzungseffekte im Raum ablesen. Angegeben wird in den Tabellen jeweils die Anzahl der jährlichen Stunden über 26 °C operativer (gefühlter) Temperatur im Raum (Überschreitungsdauer $T_{26,op}$), die Übertemperaturgradstunden ($Gh_{26,op}$), welche neben der Überschreitungshäufigkeit auch die Höhe der Temperatur über 26 °C berücksichtigt sowie die maximale operative Temperatur ($\theta_{max,op}$).

Im Rahmen der Simulationsrechnungen wurde für jeden der aufgeführten Fälle der spezifische, auf die Nettogrundfläche des Raumes bezogene Jahres-Nutzkältebedarf ($Q_{c,b}$) für den nach DIN 4108-2 erforderlichen F_C -Wert sowie für die F_C -Werte 0 (Maximum, nicht erreichbar) bis 1 (kein Sonnenschutz) mit Zwischenschritten von 0,1. Ist der nach DIN 4108-2 geforderte F_C -Wert kleiner als der in der Simulation angesetzte, ergibt sich eine Energieeinsparung, die jeweils durch ein negatives Vorzeichen vor dem Ergebnis gekennzeichnet sind. Ergebnisse, die einen Mehrbedarf ausweisen, der von einem einen schlechteren Sonnenschutz verursacht wird, sind grau dargestellt. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass diese Fälle die Anforderungswerte der Norm nicht erfüllen und somit nicht zulässig sind.

Raum		Klimaregion			Orientierung			f _w [%]				U _w [W/(m²K)]				F _{C,erf} nach DIN 4108	Gh _{26,op} [Kh/a] (bei F _{C,erf})	T _{26,op} [h] ohne Kühlung	θ _{max,op} [°C]	Q _{c,b} DIN [kWh/(m²a)]	ΔQ _{c,b} pro m² NGF [kWh/(m²a)]										
Eck	Zentr.	A	B	C	S	W	N	30	50	70	100	1	2	3	4					F _c 1,0	F _c 0,9	F _c 0,8	F _c 0,7	F _c 0,6	F _c 0,5	F _c 0,4	F _c 0,3	F _c 0,2	F _c 0,1	F _c 0	
x				x	x						x	x				0,16	2773,0	676,3	39,7	50,77	101,96	88,75	75,72	62,96	50,54	38,40	26,53	15,06	4,13	-5,73	-14,24
x				x	x						x		x			0,20	4096,0	866,6	41,2	52,57	86,40	74,74	63,32	52,12	41,09	30,40	19,97	9,78	0	-9,16	-17,13
x				x	x						x			x		0,24	3931,8	861,9	40,4	46,12	68,65	58,95	49,42	40,08	30,96	22,09	13,39	4,91	-3,21	-10,75	-17,32
x				x	x						x				x	0,61	1680,1	540,4	35,7	27,23	16,13	11,84	7,65	3,55	-0,39	-4,11	-7,55	-10,74	-13,63	-16,18	-18,41
x			x			x		x				x				0,63	243,7	170,8	30,9	10,00	7,61	5,43	3,33	1,33	-0,55	-2,28	-3,84	-5,22	-6,40	-7,28	-7,97
x			x			x		x					x			0,79	297,8	203,3	31,1	10,57	3,66	1,87	0,17	-1,46	-2,96	-4,34	-5,61	-6,71	-7,63	-8,35	-8,89
x			x			x		x						x		0,94	249,5	179,4	30,9	9,44	0,82	-0,54	-1,82	-3,02	-4,12	-5,12	-6,01	-6,78	-7,40	-7,90	-8,28
x			x			x		x							x	1,00	8,3	19,8	27,2	2,35	0	-0,37	-0,71	-1,00	-1,26	-1,49	-1,69	-1,85	-1,98	-2,09	-2,16
x			x			x			x			x				0,40	538,2	290,9	33,0	16,31	23,53	19,22	15,04	11,02	7,17	3,47	0	-3,15	-6,02	-8,46	-10,39
x			x			x			x				x			0,50	735,3	365,7	33,4	17,62	17,36	13,61	10,01	6,52	3,19	0	-3,03	-5,75	-8,25	-10,42	-12,14
x			x			x			x					x		0,60	628,3	331,8	32,9	15,49	11,17	8,20	5,35	2,62	0	-2,49	-4,80	-6,90	-8,79	-10,40	-11,64
x			x			x			x						x	1,00	140,0	112,8	29,9	6,88	0	-1,00	-1,92	-2,78	-3,54	-4,21	-4,80	-5,27	-5,67	-5,97	-6,21
x			x			x				x		x				0,31	955,2	396,3	35,2	23,99	39,93	33,47	27,26	21,23	15,45	9,89	4,55	-0,48	-5,00	-9,08	-12,45
x			x			x				x			x			0,39	1415,3	520,4	36,0	26,66	32,38	26,50	20,88	15,49	10,28	5,25	0,46	-4,08	-8,23	-11,97	-15,14
x			x			x				x				x		0,46	1228,1	487,7	35,4	23,04	23,46	18,73	14,21	9,82	5,60	1,57	-2,28	-5,92	-9,18	-12,12	-14,57
x			x			x				x					x	1,00	449,7	225,8	32,6	13,02	0	-1,73	-3,38	-4,93	-6,36	-7,66	-8,79	-9,75	-10,53	-11,15	-11,61
x			x			x					x	x				0,25	1716,7	519,7	38,9	37,07	64,40	54,59	45,08	36,04	27,47	19,22	11,26	3,64	-3,48	-9,78	-15,32
x			x			x					x		x			0,32	2713,3	699,2	40,5	42,20	55,19	46,19	37,35	28,78	20,61	12,95	5,64	-1,38	-8,10	-14,15	-19,47
x			x			x					x			x		0,38	2509,9	681,2	39,5	37,15	42,11	34,60	27,26	20,20	13,57	7,26	1,19	-4,62	-10,14	-15,06	-19,38
x			x			x					x				x	0,85	882,3	332,6	35,4	19,55	4,14	1,35	-1,32	-3,90	-6,37	-8,67	-10,78	-12,67	-14,28	-15,55	-16,52
x			x				x	x				x				0,56	142,1	113,6	30,2	7,29	2,72	2,08	1,45	0,84	0,24	-0,34	-0,90	-1,44	-1,96	-2,44	-2,90
x			x				x	x					x			0,70	122,0	105,4	29,8	6,54	1,52	0,99	0,49	0	-0,49	-0,96	-1,41	-1,85	-2,27	-2,65	-3,02
x			x				x	x						x		0,84	75,5	76,5	29,2	5,08	0,63	0,24	-0,15	-0,53	-0,88	-1,23	-1,56	-1,87	-2,16	-2,43	-2,68
x			x				x	x							x	1,00	1,0	3,4	26,6	1,22	0	-0,10	-0,20	-0,29	-0,37	-0,45	-0,52	-0,59	-0,65	-0,70	-0,75
x			x					x				x				0,36	560,1	294,0	33,2	16,01	7,48	6,24	5,03	3,85	2,68	1,55	0,43	-0,64	-1,69	-2,71	-3,69
x			x					x					x			0,45	617,0	323,1	33,1	15,14	5,74	4,63	3,54	2,49	1,47	0,48	-0,48	-1,43	-2,36	-3,24	-4,11
x			x					x						x		0,54	425,6	263,7	32,1	11,91	3,83	2,95	2,11	1,28	0,47	-0,31	-1,08	-1,81	-2,53	-3,23	-3,89
x			x					x							x	1,00	41,0	47,9	28,8	3,69	0	-0,29	-0,57	-0,84	-1,09	-1,33	-1,55	-1,75	-1,93	-2,09	-2,23
x			x						x			x				0,28	1170,1	415,5	36,0	26,05	12,16	10,38	8,63	6,89	5,17	3,51	1,88	0,31	-1,22	-2,70	-4,15
x			x							x			x			0,35	1469,0	502,7	36,4	25,65	10,36	8,66	7,02	5,40	3,81	2,25	0,74	-0,73	-2,15	-3,53	-4,87
x			x							x				x		0,42	1137,4	451,7	35,2	20,64	7,62	6,24	4,88	3,55	2,25	0,97	-0,25	-1,43	-2,58	-3,70	-4,79
x			x							x					x	0,97	160,5	113,4	30,9	6,96	0,15	-0,34	-0,82	-1,29	-1,74	-2,18	-2,59	-2,97	-3,34	-3,68	-3,99
x			x								x	x				0,23	2201,4	532,3	39,7	42,37	17,86	15,43	13,03	10,66	8,33	6,03	3,75	1,52	-0,64	-2,73	-4,75
x			x								x		x			0,29	3016,8	685,6	41,2	43,24	16,43	13,97	11,55	9,17	6,85	4,61	2,39	0,21	-1,91	-3,98	-5,98
x			x								x			x		0,34	2579,1	650,0	40,0	35,64	13,12	10,99	8,91	6,88	4,90	2,98	1,11	-0,73	-2,51	-4,23	-5,91
x			x								x				x	0,77	397,1	201,0	33,2	11,52	1,71	0,95	0,22	-0,51	-1,20	-1,89	-2,57	-3,23	-3,88	-4,49	-5,06
	x			x				x				x				0,73	22,9	37,4	27,7	2,92	2,04	1,21	0,46	-0,18	-0,74	-1,23	-1,61	-1,94	-2,23	-2,42	-2,57
	x			x				x					x			0,92	25,6	42,5	27,6	3,14	0,48	-0,12	-0,64	-1,10	-1,51	-1,85	-2,14	-2,39	-2,60	-2,75	-2,85
	x			x				x						x		1,00	13,3	27,8	27,2	2,53	0	-0,40	-0,76	-1,09	-1,36	-1,59	-1,81	-1,99	-2,13	-2,24	-2,32
	x			x				x							x	1,00	0,0	0,0	25,6	0,64	0	-0,11	-0,21	-0,30	-0,37	-0,43	-0,48	-0,53	-0,56	-0,58	-0,60
	x			x					x			x				0,44	51,0	61,8	28,7	3,86	8,92	7,05	5,27	3,60	2,06	0,70	-0,42	-1,33	-2,02	-2,56	-2,93
	x			x						x			x			0,55	54,8	67,1	28,5	4,05	5,88	4,41	3,01	1,71	0,53	-0,49	-1,34	-2,04	-2,57	-2,99	-3,29
	x			x										x		0,66	44,5	61,2	28,2	3,73	3,42	2,31	1,29	0,35	-0,48	-1,19	-1,79	-2,27	-2,65	-2,96	-3,18
	x			x											x	1,00	5,3	15,5	26,7	1,80	0	-0,29	-0,55	-0,78	-0,98	-1,17	-1,33	-1,45	-1,55	-1,62	-1,67
	x			x							x	x				0,35	116,2	97,7	29,9	5,70	16,73	13,70	10,80	8,05	5,46	3,07	0,93	-0,83	-2,21	-3,21	-3,88

Raum		Klimaregion			Orientierung			f _w [%]				U _w [W/(m²K)]				F _{C,erf} nach DIN 4108	Gh _{26,op} [Kh/a] (bei F _{C,erf})	T _{26,op} [h] (ohne Kühlung)	θ _{max,op} [°C]	Q _{c,b} DIN [kWh/(m²a)]	ΔQ _{c,b} pro m² NGF [kWh/(m²a)]										
Eck	Zentr.	A	B	C	S	W	N	30	50	70	100	1	2	3	4					F _c 1,0	F _c 0,9	F _c 0,8	F _c 0,7	F _c 0,6	F _c 0,5	F _c 0,4	F _c 0,3	F _c 0,2	F _c 0,1	F _c 0	
	x		x		x					x			x			0,44	130,2	111,3	29,8	6,06	12,09	9,64	7,30	5,08	2,98	1,06	-0,65	-2,06	-3,17	-3,97	-4,53
	x		x		x					x				x		0,52	103,3	98,3	29,3	5,35	8,10	6,22	4,43	2,74	1,16	-0,27	-1,49	-2,49	-3,26	-3,84	-4,25
	x		x		x					x					x	1,00	44,1	58,5	28,0	3,56	0	-0,61	-1,13	-1,59	-1,99	-2,32	-2,62	-2,87	-3,07	-3,21	-3,31
	x		x		x						x	x				0,28	255,9	161,0	31,6	9,05	29,91	24,96	20,26	15,80	11,54	7,56	3,85	0,59	-2,06	-4,05	-5,38
	x		x		x						x		x			0,34	292,3	195,2	31,6	9,43	23,53	19,37	15,44	11,70	8,14	4,80	1,71	-1,05	-3,32	-5,01	-6,19
	x		x		x						x			x		0,40	231,5	164,7	31,0	8,13	16,93	13,73	10,65	7,72	4,95	2,38	0	-2,06	-3,72	-4,94	-5,80
	x		x		x						x				x	1,00	195,0	139,4	30,0	7,18	0	-1,16	-2,23	-3,20	-4,04	-4,74	-5,33	-5,79	-6,18	-6,48	-6,67
	x		x				x	x				x				1,00	2,7	10,2	26,7	1,38	0	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,06	-0,06	-0,07
	x		x				x	x					x			1,00	0,2	1,6	26,2	1,06	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05
	x		x				x	x						x		1,00	0,0	0,0	25,9	0,77	0	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04
	x		x				x		x			x				0,96	54,5	57,9	28,7	3,66	0,05	0,03	0,02	-0,01	-0,02	-0,04	-0,06	-0,07	-0,09	-0,10	-0,12
	x		x				x		x				x			1,00	31,0	42,1	28,0	2,89	0	-0,01	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12
	x		x				x		x					x		1,00	11,6	25,1	27,3	2,07	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	-0,09
	x		x				x			x		x				0,72	179,9	120,8	30,6	6,92	0,08	0,05	0,02	-0,01	-0,04	-0,06	-0,09	-0,11	-0,14	-0,16	-0,19
	x		x				x			x			x			0,90	130,6	101,4	29,8	5,67	0,02	0	-0,03	-0,05	-0,07	-0,09	-0,11	-0,13	-0,15	-0,18	-0,19
	x		x				x			x				x		1,00	71,2	69,7	28,9	4,08	0	-0,02	-0,04	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,15	-0,16
	x		x				x				x	x				0,53	503,7	251,8	33,2	12,82	0,19	0,15	0,11	0,07	0,03	-0,01	-0,06	-0,10	-0,13	-0,17	-0,21
	x		x				x				x		x			0,67	446,2	255,6	32,6	11,08	0,12	0,08	0,05	0,01	-0,02	-0,06	-0,09	-0,12	-0,16	-0,19	-0,22
	x		x				x				x			x		0,80	272,1	176,7	31,4	8,29	0,06	0,03	0	-0,03	-0,05	-0,08	-0,11	-0,14	-0,16	-0,19	-0,21

Tabelle 3.7: Berechnungsfälle für die Nutzung Wohnen

Raum		Klimaregion			Orientierung			f _w [%]				U _w [W/(m²K)]			F _{c,erf} nach DIN 4108	Gh _{26,op} [Kh/a]	T _{26,op} [h]	θ _{max,op} [°C]	Q _{c,b} DIN [kWh/(m²a)]	ΔQ _{c,b} pro m² NGF [kWh/(m²a)]											
Eck	Zentr.	A	B	C	S	W	N	30	50	70	100	1	2	3					F _c 1,0	F _c 0,9	F _c 0,8	F _c 0,7	F _c 0,6	F _c 0,5	F _c 0,4	F _c 0,3	F _c 0,2	F _c 0,1	F _c 0		
x			x		x			x				x			0,36	203,6	192	29	6,49	13,28	10,77	8,42	6,21	4,15	2,27	0,61	-0,85	-2,08	-3,07	-3,87	
x			x		x			x					x		0,45	177,4	190,8	28,8	6,01	9,41	7,41	5,54	3,78	2,13	0,66	-0,62	-1,73	-2,65	-3,36	-3,93	
x			x		x			x						x	0,54	110,1	151,2	28,3	4,88	5,94	4,46	3,07	1,77	0,63	-0,39	-1,29	-2,05	-2,64	-3,11	-3,51	
x			x		x				x			x			0,23	776,4	457,6	32,4	13,74	33,23	28,11	23,15	18,35	13,80	9,64	5,79	2,24	-0,88	-3,54	-5,86	
x			x		x				x				x		0,29	861	533,6	32,2	13,55	26,42	22,11	17,93	13,89	10,08	6,54	3,28	0,28	-2,36	-4,60	-6,45	
x			x		x				x					x	0,34	597,7	422,9	31,1	10,77	19,46	16,03	12,72	9,59	6,66	3,93	1,41	-0,87	-2,85	-4,48	-5,83	
x			x		x					x		x			0,19	1732,3	728,9	35,5	23,16	54,41	46,53	38,87	31,48	24,41	17,63	11,28	5,59	0,49	-3,99	-7,91	
x			x		x					x			x		0,24	2231,4	935,6	36	23,80	45,09	38,36	31,75	25,36	19,25	13,39	7,84	2,78	-1,74	-5,69	-9,03	
x			x		x					x				x	0,28	1726,6	811,9	34,6	19,34	34,65	29,15	23,81	18,70	13,78	9,06	4,67	0,74	-2,81	-5,89	-8,47	
x			x		x						x	x			0,16	3547,1	1027,9	39,8	39,79	86,48	74,84	63,43	52,21	41,32	30,79	20,88	11,51	3,02	-4,23	-10,44	
x			x		x						x		x		0,2	5076,4	1366,2	41,5	41,59	73,13	63,14	53,26	43,63	34,16	24,92	16,08	7,76	0	-6,76	-12,43	
x			x		x						x			x	0,24	4419,9	1296	40,1	35,16	57,66	49,39	41,28	33,26	25,39	17,82	10,62	3,83	-2,40	-7,82	-12,36	
x			x			x		x				x			0,56	446,6	302,4	30,6	9,59	9,97	7,44	5,07	2,83	0,78	-1,13	-2,88	-4,46	-5,74	-6,77	-7,56	
x			x			x		x					x		0,7	493	338,2	31	9,72	5,70	3,69	1,77	0	-1,65	-3,18	-4,56	-5,77	-6,76	-7,53	-8,13	
x			x			x		x						x	0,84	410,9	297,9	30,7	8,61	2,38	0,85	-0,56	-1,87	-3,08	-4,18	-5,15	-5,98	-6,63	-7,16	-7,57	
x			x			x			x			x			0,36	1121	574,4	33	16,99	28,92	23,87	19,01	14,30	9,76	5,44	1,51	-2,16	-5,46	-8,30	-10,54	
x			x			x			x				x		0,45	1394,2	697,4	33,5	17,76	21,51	17,26	13,15	9,21	5,39	1,73	-1,63	-4,72	-7,54	-10,01	-11,94	
x			x			x			x					x	0,54	1159,1	630,8	33,1	15,30	14,45	11,10	7,87	4,75	1,73	-1,09	-3,64	-6,02	-8,14	-9,93	-11,31	
x			x			x				x		x			0,28	2078,9	816,6	35,9	26,05	49,43	41,80	34,39	27,20	20,23	13,54	7,12	1,12	-4,29	-9,13	-13,11	
x			x			x				x			x		0,35	2841,8	1048,7	36,6	28,04	39,13	32,55	26,21	19,97	13,96	8,19	2,66	-2,57	-7,32	-11,66	-15,35	
x			x			x				x				x	0,42	2443,4	960,1	35,7	24,16	28,49	23,21	18,06	13,04	8,20	3,57	-0,87	-4,98	-8,74	-12,13	-14,96	
x			x			x					x	x			0,23	3926,3	1108,5	40,1	43,01	80,70	68,82	57,34	46,33	35,79	25,56	15,68	6,26	-2,54	-10,44	-17,31	
x			x			x					x		x		0,29	5880,7	1464,1	42	46,81	66,36	56,02	45,89	36,05	26,72	17,76	9,12	0,81	-7,07	-14,23	-20,66	
x			x			x					x			x	0,34	5254	1400,7	40,6	40,27	50,87	42,37	34,14	26,23	18,65	11,24	4,12	-2,67	-9,05	-14,82	-19,98	
x			x				x	x				x			0,49	295,2	229,7	29,5	7,79	4,83	3,83	2,86	1,92	0,99	0,09	-0,77	-1,61	-2,36	-3,06	-3,63	
x			x				x	x					x		0,62	239,9	213,5	29,1	6,90	2,95	2,14	1,36	0,60	-0,15	-0,87	-1,56	-2,20	-2,78	-3,31	-3,73	
x			x				x	x						x	0,75	144,9	154,7	28,4	5,41	1,50	0,89	0,29	-0,29	-0,85	-1,37	-1,85	-2,30	-2,70	-3,02	-3,29	
x			x				x					x			0,32	1213	613,4	33,2	17,92	12,57	10,63	8,70	6,81	4,95	3,12	1,37	-0,34	-2,03	-3,64	-5,14	
x			x				x						x		0,4	1254,1	661,6	33	16,67	9,31	7,68	6,09	4,53	2,99	1,48	0	-1,42	-2,82	-4,18	-5,43	
x			x				x							x	0,48	859,6	523	31,8	13,06	6,44	5,17	3,90	2,66	1,42	0,24	-0,92	-2,06	-3,16	-4,21	-5,17	
x			x				x					x			0,28	2703,5	924,1	36,6	30,54	19,93	17,05	14,17	11,34	8,56	5,84	3,15	0,52	-2,02	-4,48	-6,86	
x			x				x						x		0,32	3128,6	1076,7	37	28,97	16,12	13,65	11,19	8,76	6,39	4,07	1,81	-0,45	-2,64	-4,74	-6,79	
x			x				x							x	0,38	2382,2	943,1	35,5	23,17	11,97	9,94	7,95	6,00	4,08	2,20	0,36	-1,44	-3,19	-4,87	-6,50	
x			x								x	x			0,2	5036,5	1191,7	40,9	50,13	32,43	28,24	24,07	19,93	15,83	11,77	7,76	3,83	0	-3,71	-7,24	
x			x										x		0,25	6682,5	1450,3	42,7	49,49	26,63	22,94	19,28	15,67	12,11	8,60	5,11	1,69	-1,67	-4,93	-8,06	
x			x											x	0,3	5656,9	1364,1	41,1	40,73	20,66	17,59	14,57	11,57	8,62	5,71	2,82	0	-2,74	-5,43	-7,98	
	x		x		x			x				x			0,56	4,9	24,9	26,7	1,74	2,70	1,96	1,28	0,70	0,19	-0,26	-0,64	-0,96	-1,22	-1,38	-1,51	
	x		x		x			x					x		0,7	3	18,7	26,6	1,70	1,42	0,88	0,41	0	-0,35	-0,67	-0,94	-1,17	-1,34	-1,46	-1,54	
	x		x		x			x						x	0,84	1,4	8,5	26,4	1,54	0,55	0,19	-0,12	-0,41	-0,66	-0,89	-1,08	-1,22	-1,32	-1,39	-1,44	
	x		x		x				x			x			0,33	52,2	83,8	27,6	2,80	9,65	7,75	5,96	4,33	2,91	1,67	0,62	-0,24	-0,93	-1,48	-1,90	
	x		x		x								x		0,42	41,7	82,6	27,4	2,71	6,78	5,30	3,91	2,66	1,58	0,64	-0,15	-0,78	-1,30	-1,71	-2,00	
	x		x		x									x	0,5	21,9	63,9	27,1	2,30	4,35	3,27	2,27	1,40	0,65	0	-0,53	-0,97	-1,36	-1,64	-1,84	

Raum		Klimaregion			Orientierung			f _w [%]				U _w [W/(m ² K)]			F _{c,erf} nach DIN 4108	Gh _{26,op} [Kh/a]	T _{26,op} [h]	θ _{max,op} [°C]	Q _{c,b} DIN [kWh/(m ² a)]	ΔQ _{c,b} pro m ² NGF [kWh/(m ² a)]											
Eck	Zentr.	A	B	C	S	W	N	30	50	70	100	1	2	3		(bei F _{c,erf} ohne Kühlung)				F _c 1,0	F _c 0,9	F _c 0,8	F _c 0,7	F _c 0,6	F _c 0,5	F _c 0,4	F _c 0,3	F _c 0,2	F _c 0,1	F _c 0	
	x		x		x					x		x			0,28	192,4	176,1	29,1	4,83	17,79	14,67	11,71	8,93	6,34	3,99	1,98	0,30	-1,04	-2,08	-2,87	
	x		x		x					x			x		0,35	182,1	180,7	28,9	4,71	13,40	10,90	8,52	6,29	4,19	2,30	0,70	-0,63	-1,67	-2,49	-3,09	
	x		x		x					x				x	0,42	130	149,5	28,5	3,97	9,26	7,36	5,55	3,84	2,28	0,92	-0,21	-1,14	-1,86	-2,44	-2,87	
	x		x		x						x	x			0,21	464,6	287,2	31,3	7,98	32,52	27,42	22,48	17,79	13,40	9,29	5,59	2,37	-0,24	-2,25	-3,78	
	x		x		x						x		x		0,27	500,8	329,4	31	8,15	25,68	21,51	17,45	13,58	9,92	6,50	3,39	0,71	-1,49	-3,17	-4,41	
	x		x		x						x			x	0,32	372,4	265,7	30,1	6,71	18,92	15,61	12,43	9,42	6,59	3,96	1,61	-0,37	-1,97	-3,19	-4,09	
	x		x				x	x				x			1	0	0,1	26	1,19	0	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	
	x		x				x	x					x		1	0	0	25,6	0,82	0	-0,01	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,05	-0,05	
	x		x				x	x						x	1	0	0	25,2	0,53	0	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,04	
	x		x				x		x			x			0,85	98,3	110	28,1	3,54	0,03	0,01	-0,01	-0,03	-0,04	-0,06	-0,08	-0,09	-0,11	-0,12	-0,14	
	x		x				x						x		1	43,8	72,1	27,3	2,60	0	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,06	-0,08	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	
	x		x				x							x	1	9,7	38,9	26,6	1,78	0	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,05	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,09	
	x		x				x		x			x			0,65	372,9	253	30,2	7,04	0,10	0,07	0,04	0,02	-0,02	-0,04	-0,08	-0,10	-0,13	-0,15	-0,18	
	x		x				x			x			x		0,9	249,3	208,7	29,3	5,55	0,02	0	-0,03	-0,05	-0,07	-0,10	-0,12	-0,14	-0,16	-0,18	-0,20	
	x		x				x			x				x	0,98	121,2	133	28,3	3,86	0,01	-0,01	-0,03	-0,05	-0,07	-0,08	-0,10	-0,11	-0,13	-0,14	-0,16	
	x		x				x				x	x			0,48	1107,4	533,3	33,4	13,82	0,24	0,19	0,15	0,10	0,06	0,01	-0,04	-0,08	-0,13	-0,17	-0,21	
	x		x				x				x		x		0,6	925,4	510,5	32,5	11,61	0,16	0,12	0,08	0,04	0	-0,04	-0,08	-0,11	-0,15	-0,18	-0,22	
	x		x				x				x			x	0,72	556,1	341,8	31	8,44	0,09	0,06	0,03	-0,01	-0,04	-0,06	-0,09	-0,12	-0,15	-0,18	-0,20	

4 Zusammenfassung und Fazit

Temporäre Wärmeschutzvorrichtungen, wie zum Beispiel Rollläden und Klappläden, haben abhängig von deren Ausführung, der jeweiligen Gestalt und Qualität der Gebäudehülle sowie weiteren Randbedingungen wie die Anzahl der Stunden ohne Sonneneinstrahlung in denen der temporäre Wärmeschutz geschlossen ist, einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Jahres-Nutzwärmebedarf von Gebäuden. Um das Energieeinsparpotential typischer temporärer Wärmeschutzsysteme in Bezug auf den Nutzwärmebedarf von Gebäuden quantifizieren zu können, werden im Rahmen dieses Projekts umfangreiche Simulationsstudien durchgeführt. Auf Basis der erzielten Ergebnisse wird ein Vorschlag für einen Berechnungsalgorithmus abgeleitet, der es ermöglicht, die Energieeinsparung infolge temporärer Wärmeschutzsysteme näherungsweise bei der Berechnung des Jahres-Nutzwärmebedarfs zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die erzielbaren Energieeinsparungen beim Nutzwärmebedarf bei herkömmlichen Rollladensystemen und alten Fenstern mit Isolierverglasung ($U_w = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{a})$), wie sie heute vielfach im Baubestand zu finden sind, erheblich sind. Bei durchschnittlichen Isolierverglasungen ($U_w = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und sehr gutem temporären Wärmeschutz ($\Delta R = 0,7 \text{ (m}^2\text{K)/W}$) lassen sich abhängig vom fassadenbezogenen Fensterflächenanteil und der zeitlichen Steuerung zwischen 10 % und 44 % Energie im Hinblick auf den Nutzwärmebedarf einsparen. Hingegen lassen sich bei Dreifach-Wärmeschutzverglasungen ($U_w = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und Systemen mit einem niedrigen $\Delta R = 0,08 \text{ (m}^2\text{K)/W}$ nur etwa 1 - 5 % einsparen.

Durch den Einsatz von Sonnenschutzvorrichtungen lassen sich übermäßige Überhitzungen von Räumen vermeiden, wodurch oftmals der Einsatz von Kältetechnik unnötig oder zumindest deutlich reduziert wird. Im Rahmen dieser Arbeit werden anhand eines Beispielraumes die Überhitzungen bei nicht vorhandener Kühlung und normgerechtem Sonnenschutz sowie die möglichen Energieeinsparungen durch verbesserte Sonnenschutzvorrichtungen mit Hilfe thermischer Simulationen quantifiziert und dargestellt. Effektivere Sonnenschutzsysteme als die nach dem Verfahren nach DIN 4108-2 geforderten, können allerdings eine weitere signifikante Reduzierung des Nutzkältebedarfs bewirken, wie die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen zeigen. Bei Süd- oder Westorientierung sind bei sehr guten F_C -Werten von 0,1 durchaus Einsparungen im Nutzkältebedarf von rund $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bezogen auf die Nettogrundfläche des Raumes erzielbar.

5 Aktionsplan

Die Ergebnisse des Projekts werden in Publikationen und Fachvorträgen der Fachwelt zur Kenntnis gebracht. Synchron werden die Ergebnisse in allen relevanten Kreisen kommuniziert und insbesondere im Rahmen der nächsten Sitzungen der Normungsausschüsse zur DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ und zur DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden“ vorgestellt und zur Diskussion gestellt. Darüber hinaus wird in persönlichen Einzelgesprächen die Notwendigkeit und Sinnhaftigkeit einer Berücksichtigung der Ergebnisse bei öffentlich rechtlichen Anforderungen und Förderkonzepten dargestellt sowie eine Übernahme, ggf. durch öffentliche Präsentation der Ergebnisse in den entsprechenden Gremien, vorbereitet.

6 Literatur

- [1] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung. Februar 2007
- [2] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Juli 2003
- [3] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen - Eine einfache Methode zur Quantifizierung durch keq-Werte. HLH 34 (1983), H. 3, S. 111-112, H. 4, S. 144-153, H. 5, S. 200-204, H. 6, S. 259-265.
- [4] DIN EN ISO 13791: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Februar 2005
- [5] DIN EN ISO 13790: Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung. September 2008
- [6] DIN EN 15265: Ergonomie der thermischen Umgebung - Strategie zur Risikobeurteilung zur Abwendung von Stress oder Unbehagen unter thermischen Arbeitsbedingungen. November 2004
- [7] Hauser, G.: Rechnerische Vorherbestimmung des Wärmeverhaltens großer Bauten. Dissertation Universität Stuttgart (1977).
- [8] Hauser, G.: Method for calculating of thermal behaviour of buildings. Proceedings ICHMT-Seminar. Hemisphere Publishing Comp., Washington (1978), S. 419-427.
- [9] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, Bonn, 30.04.2009
- [10] Christoffer, J., Deutschländer, T., Webs, M.: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY. Deutscher Wetterdienst DWD, Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach am Main, 2004
- [11] Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.), Berlin, 30. Juli 2009
- [12] DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 3: Wärme- und feuchtetechnische Bemessungswerte. Juni 2007
- [13] EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten - Teil 1: Allgemeines. Mai 2010
- [14] Höttges, K.; Kempkes, C.: Entwicklung einer Bewertungsmethodik für den sommerlichen Wärmeschutz auf der Basis des nach DIN V 18599 rechnerisch ermittelten Nutzkältebedarfs. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abt. Energiesysteme, IBP-Bericht ES-343 01/2009
- [15] DIN EN 13125: Abschlüsse - Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand - Zuordnung einer Luftdichtheitsklasse zu einem Produkt. Oktober 2001
- [16] DIN 18599-2: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen. Februar 2007

- [17] DIN V 18599-10: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten. Februar 2007

- [18] DIN V 18599-100: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 100: Änderungen zu DIN V 18599-1 bis DIN V 18599-10. Oktober 2009

- [19] DIN EN 13363-1: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren. September 2007

- [20] DIN EN 13363-2: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren. Mai 2006

- [21] DIN EN 410: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Juli 2010