

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht ESB-004/2011 HOKI

Untersuchung der Potenziale von innen liegenden Sonnenschutzsystemen in Form von Plissees und Kammerplissees zur Verringerung des Heizwär- mebedarfs

Durchgeführt im Auftrag

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Hunter Douglas Components
Spohrstraße 9
34117 Kassel

Institutsleitung



Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Gerd Hauser

Abteilungsleiter



Tekn. Dr.
Dietrich Schmidt

Bearbeiter



Dipl.-Ing.
Ingo Heusler

Dipl.-Ing.
Matthias Kersken



Dipl.-Ing.
Herbert Sinnesbichler



Dipl.-Ing.
Andreas Nimtsch

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht ESB-004/2011 HOKI

Untersuchung der Potenziale von innen liegenden Sonnenschutzsystemen in Form von Plissees und Kammerplissees zur Verringerung des Heizwärmebedarfs

Durchgeführt im Auftrag

Hunter Douglas Components
Spohrstraße 9
34117 Kassel

Der Bericht umfasst
55 Seiten Text
19 Tabellen
36 Abbildungen

Dipl.-Ing. Ingo Heusler
Dipl.-Ing. Matthias Kersken
Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler
Dipl.-Ing. Andreas Nimtsch

Holzkirchen, 5. Juli 2011

Inhalt

1	Aufgabenstellung	4
2	Durchführung der Untersuchung	5
3	Darstellung der Ergebnisse	5
3.1	Messtechnische Untersuchung des Einflusses von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen auf die Transmissionswärmeverluste über die Fassade	5
3.2	Messkonzept	9
3.3	Untersuchungen im Versuchsraum OG1-S3M3 (Szenario Wohnungsbau)	10
3.3.1	Nullmessung	10
3.3.2	Fotografische Dokumentation der untersuchten Systeme	10
3.3.3	Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand durch die Systeme	19
3.4	Untersuchungen im Versuchsraum OG2-S1M1 (Szenario Verwaltungsbau)	23
3.4.1	Nullmessung	23
3.4.2	Fotografische Dokumentation der untersuchten Systeme	23
3.4.3	Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand durch die Systeme	27
4	Rechnerische Bewertung des Einflusses von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf mit dynamischen Simulationsrechnungen	30
4.1	Software zur dynamischen Gebäudesimulation	30
4.2	Klimadaten	30
4.3	Bewertung des Nutzwärmeeinsparpotentials durch das nächtliche Schließen von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen an einem beispielhaften Wohngebäude	33
4.3.1	Simulationsmodell des Wohngebäudes	33
4.3.2	Nutzungsrandbedingungen des Wohngebäudes	37
4.3.3	Variantenmatrix Wohngebäude	38

4.3.4	Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen für das Wohngebäude	41
4.4	Bewertung des Nutzwärmeinsparpotentials auf Grund von höheren solaren Gewinnen durch innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme im Vergleich zu außen liegenden Systemen am Beispiel eines typischen Büroraumes	43
4.4.1	Simulationsmodell Büroraum	43
4.4.2	Nutzungsrandbedingungen Büroraum	45
4.4.3	Variantenmatrix Büroraum	47
4.4.4	Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen für den Büroraum	49
5	Zusammenfassung und Ausblick	52

1 Aufgabenstellung

In Anlehnung an die vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik durchgeführten Untersuchungen für den Verband innen liegender Sicht- und Sonnenschutz [1] möchte Hunter Douglas Components die Potentiale eigener Produkte für den innen liegender Sicht- und Sonnenschutz im Hinblick auf eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden während der Wintermonate analysieren. Hierbei sollen zwei Aspekte betrachtet werden:

- Verringerung der Transmissionswärmeverluste über die Fassade während der Nachtstunden bei geschlossenen Systemen
- Erhöhung der solaren Wärmegewinne während der Heizperiode im Vergleich zu außen liegenden Sonnenschutzsystemen tagsüber

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) führt hierzu am Standort Holzkirchen messtechnische Untersuchungen am Versuchsgebäude VERU (Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen, siehe Bild 1) sowie dynamische Simulationsrechnungen mit der Software TRNSYS [2] durch.



Bild 1:
Außenansicht VERU.

2 Durchführung der Untersuchung

Durch messtechnische Untersuchungen am VERU wird der Einfluss der innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme auf die Transmissionswärmeverluste über die Fassade bestimmt. Die messtechnischen Ergebnisse finden anschließend Eingang in die rechnerische Bewertung der Potentiale zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs bei Gebäuden. Zum einen soll hierbei aufgezeigt werden wie während der Nachtstunden geschlossene, innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme am Beispiel eines Einfamilienhauses einen Beitrag zur Heizwärmeeinsparung liefern können. Zum anderen sind durch höhere solare Wärmegewinne während der Wintermonate bei der Verwendung von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme im Vergleich zu außen liegenden Systemen am Beispiel eines typischen Büroraums ebenfalls Einsparungen beim Heizwärmebedarf zu erwarten. Die Größenordnungen dieser Einsparpotenziale werden mit Hilfe dynamischer Simulationsrechnungen aufgezeigt.

3 Darstellung der Ergebnisse

3.1 Messtechnische Untersuchung des Einflusses von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen auf die Transmissionswärmeverluste über die Fassade

Auf dem Freigelände des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik Holzkirchen befindet sich die Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen (VERU). Dieses Gebäude ist konzipiert, um Untersuchungen an Fassadensystemen und deren Auswirkung auf die dahinterliegenden Räume durchführen zu können. Hierbei steht insbesondere die integrale Auswirkung von Energieaus- und -einträgen durch Fassaden, Energieverbrauch durch Heizung, Kühlung und Beleuchtung, Behaglichkeit sowie die Wechselwirkungen der technischen Fassaden- und Anlagenkomponenten im Vordergrund.

Im Rahmen der messtechnischen Untersuchungen wird der Einfluss von innen liegenden Plissees und Kammerplissees auf die Transmissionswärmeverluste über die transparenten Flächen an 29 Systemen ermittelt. Hierbei werden zwei unterschiedliche Fassadenkonzepte ausgewählt. Beispielhaft für den Wohnungsbau ist ein etwa 29 m² großer Versuchsraum mit Lochfassade auf der Ostseite des Gebäudes (Bild 2). Der Raum besitzt 4 thermisch gleichwertige Fenster. Während der Untersuchungen werden an zwei Fenstern jeweils die innen liegenden Sonnenschutzsysteme montiert. Die zwei verbleibenden Fenster dienen als Referenz. Die Kunststofffenster besitzen eine Wärmeschutzverglasung mit einem U_g -Wert von 1,2 W/m²K. Die Außenwand besteht aus Ziegelmauerwerk mit einem U-Wert von 1,4 W/m²K (ungedämmte, südliche Hälfte) bzw. 0,21 W/m²K (gedämmte, nördliche Hälfte).

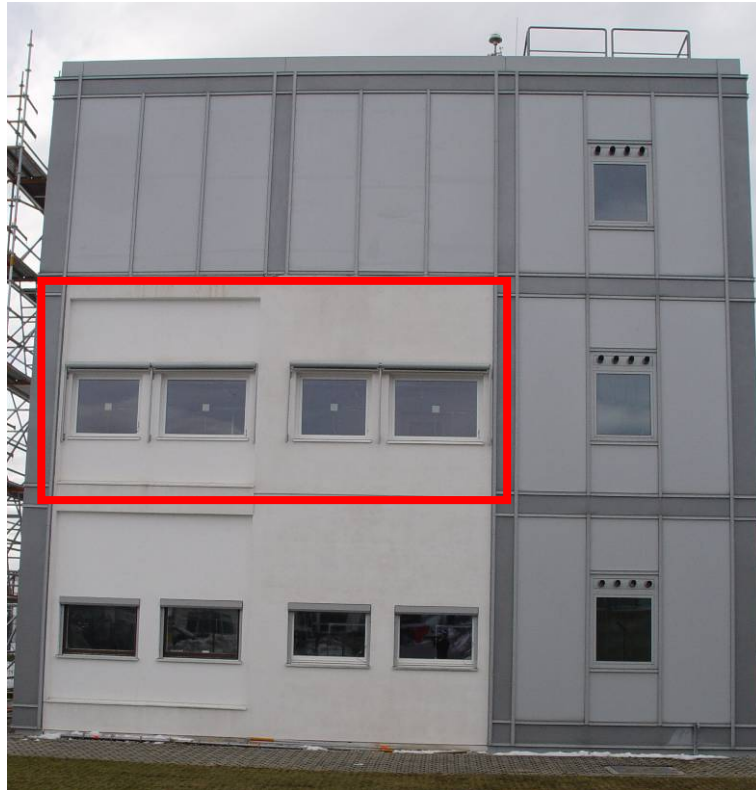


Bild 2:
Außen- und Innenaufnahme des Versuchsraums an der Ostseite des VERU-Gebäudes (Szenario Wohnungsbau).

Hier werden folgende Produkte und Montagesituationen untersucht:

Versuch-Nummer	System	Stoff	Montagesituation
1	Duette 25	Duoton	in der Glasleiste
2			in der Glasleiste mit Seitenführung
3			vor der Fensternische
4		Blackout	in der Glasleiste
5			in der Glasleiste mit Seitenführung
6			vor der Fensternische
7	Duette 32	Duoton	in der Glasleiste
8			vor der Fensternische
9		Blackout	in der Glasleiste
10			vor der Fensternische
11		Roma	in der Glasleiste
12			vor der Fensternische
13	Duette 64	Duoton	vor der Fensternische
14		Blackout	
15		Architella Semi- Opaque	
16		Architella Blackout	
17		Whisper	
18	Plissee 20	Crush Topar	in der Glasleiste
19			in der Glasleiste mit Seitenführung
20			vor der Fensternische
21		Lumina Sheer	in der Glasleiste
22			vor der Fensternische

Als Anwendungsbeispiel für den Verwaltungsbau wird ein Versuchsraum auf der Westseite im 2. Obergeschoss des VERU-Gebäudes ausgewählt (Bild 3). Die Fassade besteht aus einer geschosshohen Verglasung aus Sonnenschutzglas mit einem U_g -Wert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Der g_{\perp} -Wert der Verglasung beträgt $0,26$. Die Gesamtfassade besteht aus zwei Fassadenabschnitten (jeweils drei Achsraster), von denen die südliche Hälfte mit dem innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystem versehen wird. Die andere Fassadenhälfte dient als Referenz.



Bild 3:
Außen- und Innenaufnahme des Versuchsraums an der Westseite des VERU-
Gebäudes (Szenario Verwaltungsbau).

Hier werden folgende Produkte und Montagesituationen untersucht:

Versuch-Nummer	System	Stoff	Montagesituation	
23	Kammerplisse	Duette 64	vor den Fassadenpfosten	
24				Duoton
25				Blackout
26				Architella Semi- Opaque
27				Architella Blackout
28		Whisper		
29		Duette Fixé 25		Blackout
		Duoton		

Während der Messungen werden beide Versuchsräume mit elektrisch betriebenen Konvektoren auf eine konstante Raumlufttemperatur von etwa 22 °C beheizt.

3.2 Messkonzept

Zur Erfassung der Transmissionswärmeverluste über die Fenster werden an den Innenseiten der Verglasungen Wärmeflussmessscheiben angebracht. Zur Bestimmung der Temperaturgradienten werden die Innen- und Außenoberflächentemperaturen der Verglasungen, die Innenoberflächentemperaturen am Behang und die Raumlufttemperatur gemessen. Diese Messachsen werden jeweils an dem Fassadenabschnitt mit Sicht- und Sonnenschutz sowie an der Referenzverglasung angebracht. Darüber hinaus werden die klimatischen Randbedingungen durch die zentrale Wetterstation am Standort - sowie zusätzlich die Lufttemperatur unmittelbar am Prüfstand - messtechnisch erfasst.

Aus dem direkten Vergleich der Messergebnisse zwischen den Fassadenbereichen mit und ohne Sicht- und Sonnenschutzsystem lassen sich Rückschlüsse auf den zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des geschlossenen innen liegenden Behangs ableiten. Zur Vermeidung von Beeinflussungen aufgrund von solarer Einstrahlung werden ausschließlich Messwerte während der Nachstunden zwischen 1:00 Uhr und 5:00 Uhr (Mitteleuropäische Zeit, MEZ) analysiert. Der Zeitraum der zweiten Nachthälfte wird gewählt, um möglichst stabile Temperaturverhältnisse zu erhalten.

Die Messdaten werden mit dem am Institut entwickelten Messdatenerfassungssystem IMEDAS™ im Zeitintervall von 15 Sekunden erfasst und als Minutenmittelwert in der zentralen Datenbank abgespeichert.

3.3 Untersuchungen im Versuchsraum OG1-S3M3 (Szenario Wohnungsbau)

3.3.1 Nullmessung

Um zu belegen, dass die Versuchsfenster gleiche thermische Eigenschaften aufweisen, werden zunächst Nullmessungen durchgeführt. Dabei werden die vier Fenster ohne Behang vermessen und der Wärmedurchlasswiderstand der Verglasung bestimmt. Die Messungen erfolgen in Anlehnung an ISO 9869 [3] bzw. E DIN EN 12494 [4]. Die Ergebnisse der Nullmessung vom 4.-6.3.2011 sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:
Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse der Nullmessung.

Nullmessung (alle Fenster ohne Behang)	Wärmedurchlasswiderstand [m^2K/W]			
	Messzeitraum (jeweils 1:00-5:00 Uhr)			Mittelwert
	4.3.2011	5.3.2011	6.3.2011	
Raum M3				
Fenster Nord	0,67	0,69	0,67	0,68
Fenster Süd	0,67	0,70	0,68	0,68
Raum S3				
Fenster Nord	0,66	0,68	0,66	0,67
Fenster Süd	0,67	0,70	0,67	0,68

Bis auf das nördliche Fenster im Raum S3 ergibt sich für alle Verglasungen ein mittlerer Wärmedurchlasswiderstand von 0,68 m^2K/W . Beim Fenster Nord im Raum S3 beträgt der mittlere Wärmedurchlasswiderstand während der Nullmessung 0,67 m^2K/W . Diese Abweichung gegenüber den anderen Fenstern von 0,01 m^2K/W liegt im Rahmen der Messgenauigkeit und wird bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

3.3.2 Fotografische Dokumentation der untersuchten Systeme

In Bild 4 bis Bild 25 sind die untersuchten Systeme im Versuchsraum OG1-S3M3 fotografisch festgehalten. Je Seite sind die gleichen Typen (gleiches System und Stoff) in den untersuchten Montagesituationen dargestellt. Im Vorgriff auf Kapitel 3.3.3 ist jeweils der messtechnisch ermittelte, zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR angegeben, um die Ergebnisse in bildlichen Bezug zum System bringen zu können.

Kammerplissee Duette 25 Duoton



Bild 4:
In der Glasleiste (Versuch 1) $\Delta R = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 5:
In der Glasleiste mit Seitenführung (Versuch 2) $\Delta R = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 6:
Vor der Fensternische (Versuch 3) $\Delta R = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 25 Blackout



Bild 7:
In der Glasleiste (Versuch 4) $\Delta R = 0,30 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 8:
In der Glasleiste mit Seitenführung (Versuch 5) $\Delta R = 0,26 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 9:
Vor der Fensternische (Versuch 6) $\Delta R = 0,38 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 32 Duoton



Bild 10:
In der Glasleiste (Versuch 7) $\Delta R = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 11:
Vor der Fensternische (Versuch 8) $\Delta R = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 32 Blackout



Bild 12:
In der Glasleiste (Versuch 9) $\Delta R = 0,44 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 13:
Vor der Fensternische (Versuch 10) $\Delta R = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 32 Roma



Bild 14:
In der Glasleiste (Versuch 11) $\Delta R = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 15:
Vor der Fensternische (Versuch 12) $\Delta R = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 64 Duoton



Bild 16:
Vor der Fensternische (Versuch 13) $\Delta R = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 64 Blackout



Bild 17:
Vor der Fensternische (Versuch 14) $\Delta R = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 64 Architella Semi-Opaque



Bild 18:
Vor der Fensternische (Versuch 15) $\Delta R = 0,12 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 64 Architella Blackout



Bild 19:
Vor der Fensternische (Versuch 16) $\Delta R = 0,11 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Kammerplissee Duette 64 Whisper



Bild 20:
Vor der Fensternische (Versuch 17) $\Delta R = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Plissee 20 Crush Topar



Bild 21:
In der Glasleiste (Versuch 18) $\Delta R = 0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 22:
In der Glasleiste mit Seitenführung (Versuch 19) $\Delta R = 0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 23:
Vor der Fensterbank (Versuch 20) $\Delta R = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Plissee 20 Lumina Sheer



Bild 24:
In der Glasleiste (Versuch 21) $\Delta R = 0,09 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 25:
Vor der Fensterbank (Versuch 22) $\Delta R = 0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$.

3.3.3 Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand durch die Systeme

Bei der systematischen Auswertung der Messergebnisse in Anlehnung an ISO 9869 ergeben sich für die untersuchten innen liegenden Sonnenschutz-Systeme inklusive der sich dadurch ausbildenden, annähernd ruhenden Luftschicht die zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstände gemäß Tabelle 2. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand wird für das Fenster mit Behang bestimmt, indem der innere Wärmeübergangswiderstand einschließlich Luftschicht und Behang vom inneren Wärmeübergangswiderstand am Referenzfenster abgezogen wird. In die Berechnungen fließen die Mittelwerte von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Nächten ein, bei denen die Abweichung des Wärmedurchlasswiderstands der Verglasung weniger als 5 % beträgt. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR , der sich durch die, während der Nachtstunden geschlossenen, innen liegenden Sonnen- und Blendschutzsysteme inklusive der sich dadurch ausbildenden annähernd ruhenden Luftschicht messtechnisch ergibt, beträgt minimal 0,05 m²K/W beim Kammerplissee Duette 64 Whisper vor der Fensternische (Versuch 17) und maximal 0,44 m²K/W beim Kammerplissee Duette 32 Blackout in der Glasleiste (Versuch 9).

Des Weiteren können folgende Erkenntnisse aus den Messergebnissen gezogen werden:

- der Behangstoff und dessen Eigenschaften (Dichte, Farbe, Oberflächeneigenschaften) beeinflussen die thermischen Eigenschaften maßgeblich; dichtere Stoffe (z. B. Blackout) führen i.d.R. zu höheren ΔR -Werten
- trotz des vermeintlich dichteren Seitenabschlusses bringt die Montage in der Glasleiste mit Seitenführung keine wärmetechnische Verbesserung gegenüber einer Montage ohne Seitenführung; es ergeben sich gleiche ΔR -Werte (Versuche 1/2 und 18/19); der etwas verringerte ΔR -Wert in Versuch 5 (gegenüber Versuch 4) kann darauf zurückgeführt werden, dass der Behang zu straff bzw. knapp hergestellt war und dadurch ein Spalt an der oberen und unteren Glasleiste unvermeidbar war (vgl. Bild 8)
- bei gleichem Stoff liefert die Montage in der Glasleiste i.d.R. gegenüber den anderen Montagearten die höchsten ΔR -Werte; lediglich beim Duette 25 Blackout ergibt sich vor der Fensternische ein höherer ΔR -Wert als in der Glasleiste (0,38 m²K/W gegenüber 0,30 m²K/W); die Ursache könnte ein gegenüber anderen getesteten Systemen vor der Fensternische dichter Abschluss an den Rändern sein – systembedingt oder speziell aufgrund der Form des Behangs im heruntergefahrenen Zustand.

Tabelle 2:
Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand ΔR der untersuchten innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme für das Szenario Wohnungsbau.

Versuchs- Nummer	System	Stoff	Montagesituation	ΔR [m ² K/W]	
1	Kammerplissee	Duoton	in der Glasleiste	0,23	
2			in der Glasleiste mit Seitenführung	0,23	
3			vor der Fensternische	0,13	
4			Blackout	in der Glasleiste	0,30
5				in der Glasleiste mit Seitenführung	0,26
6				vor der Fensternische	0,38
7		Duette 32	Duoton	in der Glasleiste	0,23
8				vor der Fensternische	0,11
9			Blackout	in der Glasleiste	0,44
10				vor der Fensternische	0,17
11			Roma	in der Glasleiste	0,11
12				vor der Fensternische	0,08
13	Duette 64	Duoton	vor der Fensternische	0,10	
14		Blackout		0,11	
15		Architella Semi- Opaque		0,12	
16		Architella Blackout		0,11	
17		Whisper		0,05	
18	Plissee	Crush Topar	in der Glasleiste	0,14	
19			in der Glasleiste mit Seitenführung	0,14	
20			vor der Fensternische	0,10	
21		Lumina Sheer	in der Glasleiste	0,09	
22			vor der Fensternische	0,06	

Den wesentlichen Beitrag am zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand des innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystems liefert die durch den Behang gebildete, weitgehend ruhende Luftschicht zwischen Behang und Verglasung. Der Wärmedurchlasswiderstand R des Behangmaterials selber ist i.d.R. vernachlässigbar [1].

Nach DIN EN ISO 6946, Tabelle 2 [14] steigt der Wärmedurchlasswiderstand in Abhängigkeit der Dicke der Luftschicht (Oberflächen mit hohem Emissionsgrad) von 0 bis 25 mm, zwischen 25 und 300 mm Luftschichtdicke bleibt der Wärmedurchlasswiderstand bei horizontalem Wärmestrom konstant bei einem Wert von 0,18 m²K/W. Die Montage des Behangs vor der Fensternische und damit die deutliche Erhöhung der Luftschichtdicke bringt also keine wesentlichen thermischen Vorteile. Entscheidend sind die Emissionsgrade der Oberfläche (langwelliger Strahlungsaustausch) und die Konvektionsverluste. Eine Luftschicht gilt als ruhend, wenn der Luftraum von der Umgebung abgeschlossen ist. Es wirkt sich demnach günstig aus, wenn die Behangsysteme und deren Montagesituation den Luftaustausch mit der Außenumgebung reduzieren.

Analoges gilt für die Luftschichten, die bei den Kammerplissees durch die Wabenstruktur gebildet werden. Die Wabe sollte demnach eine mindestens 25 mm dicke Luftschicht aufspannen, die Emissionsgrade der Oberflächen sollten möglichst kein sein und der Luftaustausch mit der Umgebung sollte möglichst gering sein.

In Tabelle 3 wird aufgezeigt, welche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) während der Nachtstunden durch die untersuchten innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme bei verschiedenen Verglasungstypen minimal bzw. maximal in Ansatz gebracht werden kann. Bei der Berechnung des U-Werts werden für den äußeren Wärmeübergangswiderstand $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und für den inneren Wärmeübergangswiderstand $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ gemäß [14] berücksichtigt. Es ist zu erkennen, dass bei der wärmetechnisch ungünstigeren Isolierverglasung größere Verbesserungen erreicht werden können als bei der Wärmeschutzverglasung. Bei der Isolierverglasung sind maximale Verbesserungen (durch Kammerplissee Duette 32 Blackout in der Glasleiste) des U-Wertes von 55 % möglich, während bei der Wärmeschutzverglasung eine Verbesserung von maximal 34 % erzielt wird.

Tabelle 3:
 Minimale und maximale Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) durch die innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme bei unterschiedlichen Verglasungstypen (Szenario Wohnungsbau).

Behang	Verglasungstyp		U-Wert Verglasung mit Luftschicht und Behang [W/m ² K]	Prozentuale Verbesserung bezogen auf U _g
Duette 64 Whisper vor der Fensternische (mit minimaler Verbesserung: ΔR = 0,05 m ² K/W)	Neubau	Wärmeschutzverglasung R _g = 0,68 m ² K/W U _g = 1,18 W/m ² K (Verglasung wie Versuch)	1,11	6 %
	Altbau	Isolierverglasung R _g = 0,19 m ² K/W U _g = 2,78 W/m ² K	2,44	12 %
Duette 32 Blackout in der Glasleiste (mit maximaler Verbesserung: ΔR = 0,44 m ² K/W)	Neubau	Wärmeschutzverglasung R _g = 0,68 m ² K/W U _g = 1,18 W/m ² K (Verglasung wie Versuch)	0,78	34 %
	Altbau	Isolierverglasung R _g = 0,19 m ² K/W U _g = 2,78 W/m ² K	1,25	55 %

3.4 Untersuchungen im Versuchsraum OG2-S1M1 (Szenario Verwaltungsbau)

3.4.1 Nullmessung

Um sicherzustellen, dass die Versuchsverglasungen gleiche thermische Eigenschaften aufweisen, werden zunächst Nullmessungen durchgeführt. Dabei werden beide Fassadenabschnitte ohne Behang vermessen und der Wärmedurchlasswiderstand der Verglasung bestimmt. Die Ergebnisse der Nullmessung vom 25. - 27.3.2011 sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4:
Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse der Nullmessung.

Nullmessung (beide Fassadenabschnitte ohne Behang)	Wärmedurchlasswiderstand [$\text{m}^2\text{K/W}$]			
	Messzeitraum (jeweils 1:00-5:00 Uhr)			Mittelwert
	25.3.2011	26.3.2011	27.3.2011	
Fassade M1				
Messachse in Höhe 1	0,82	0,84	0,83	0,83
Messachse in Höhe 2	0,82	0,84	0,84	
Fassade S1				
Messachse in Höhe 1	0,81	0,85	0,85	0,84
Messachse in Höhe 2	0,82	0,86	0,85	

Bei der Verglasung des Fassadenbereichs in der Raumzelle M1 ergibt sich ein mittlerer Wärmedurchlasswiderstand von $0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$ während in der Raumzelle S1 $0,84 \text{ m}^2\text{K/W}$ gemessen werden. Diese Abweichung von $0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$ liegt im Rahmen der Messgenauigkeit und wird bei den weiteren Betrachtungen vernachlässigt.

3.4.2 Fotografische Dokumentation der untersuchten Systeme

In Bild 26 bis Bild 32 sind die untersuchten Kammerplissees im Versuchsraum OG2-S1M1 fotografisch festgehalten. Die Systeme sind jeweils in der gleichen Montageposition vor den Fassadenpfosten befestigt. Im Vorgriff auf Kapitel 0 ist jeweils der messtechnisch ermittelte, zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR angegeben, um die Ergebnisse in bildlichen Bezug zum System bringen zu können.

Duette 64



Bild 26:
Duette 64 Duoton (Versuch 23) $\Delta R = 0,19 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 27:
Duette 64 Blackout (Versuch 24) $\Delta R = 0,34 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 28:
Duette 64 Architella Semi-Opaque (Versuch 25) $\Delta R = 0,32 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 29:
Duette 64 Architella Blackout (Versuch 26) $\Delta R = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 30:
Duette 64 Whisper (Versuch 27) $\Delta R = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Duette Fixé 25



Bild 31:
Duette Fixé 25 Blackout (Versuch 28) $\Delta R = 0,32 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Bild 32:
Duette Fixé 25 Duoton (Versuch 29) $\Delta R = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$.

3.4.3 Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand durch die Systeme

Bei der systematischen Auswertung der Messergebnisse in Anlehnung an ISO 9869 ergeben sich für die untersuchten innen liegenden Sonnenschutzsysteme inklusive der sich dadurch ausbildenden, annähernd ruhenden Luftschicht die zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstände gemäß Tabelle 5. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand wird für das Fenster mit Behang bestimmt, indem der innere Wärmeübergangswiderstand einschließlich Luftschicht und Behang vom inneren Wärmeübergangswiderstand am Referenzfenster abgezogen wird. In die Berechnungen fließen die Mittelwerte von mindestens 3 aufeinanderfolgenden Nächten ein, bei denen die Abweichung des Wärmedurchlasswiderstands der Verglasung weniger als 5 % beträgt. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR , der sich durch die, während der Nachtstunden geschlossenen, innen liegenden Sonnen- und Blendschutzsysteme inklusive der sich dadurch ausbildenden annähernd ruhenden Luftschicht messtechnisch ergibt, beträgt minimal 0,04 m²K/W beim Kammerplissee Duette 64 Whisper (Versuch 27) und maximal 0,35 m²K/W beim Kammerplissee Duette 64 Architella Blackout (Versuch 26).

Des Weiteren können folgende Erkenntnisse aus den Messergebnissen gezogen werden:

- der Behangstoff und dessen Eigenschaften (Dichte, Farbe, Oberflächeneigenschaften) beeinflussen die thermischen Eigenschaften maßgeblich; dichtere Stoffe (z. B. Blackout, Architella Blackout) führen i.d.R zu höheren ΔR -Werten
- die Wabendicke hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf das Messergebnis; der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand liegt für beide Wabendicken bei gleichem Stoff in gleicher Größenordnung (z. B. Duette 64 Blackout $\Delta R = 0,34$ m²K/W und Duette Fixé 25 Blackout $\Delta R = 0,32$ m²K/W)

Tabelle 5:
Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand ΔR der untersuchten innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme für das Szenario Verwaltungsbau.

Versuchs-Nummer	System	Stoff	Montagesituation	ΔR [m ² K/W]
23	Kammerplissee Duette 64	Duoton	vor den Fassadenpfosten	0,19
24		Blackout		0,34
25		Architella Semi- Opaque		0,32
26		Architella Blackout		0,35
27		Whisper		0,04
28		Duette Fixé 25		Blackout
29	Duoton		0,17	

Die Erläuterung zu den thermischen Eigenschaften der Luftschicht gemäß Kapitel 3.3.3 gelten sinngemäß.

In Tabelle 6 wird aufgezeigt, welche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) während der Nachtstunden durch die untersuchten innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme bei verschiedenen Verglasungstypen minimal bzw. maximal in Ansatz gebracht werden kann. Bei der Berechnung des U-Wertes werden für den äußeren Wärmeübergangswiderstand $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ und für den inneren Wärmeübergangswiderstand $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ gemäß [14] berücksichtigt. Es ist zu erkennen, dass bei der wärmetechnisch ungünstigeren Isolierverglasung größere Verbesserungen erreicht werden können als bei der Wärmeschutzverglasung. Bei der Isolierverglasung sind maximale Verbesserungen (durch Kammerplissee Duette 64 Architella Blackout vor den Fassadenpfosten) des U-Wertes von 49 % möglich, während bei der Wärmeschutzverglasung eine Verbesserung von maximal 26 % erzielt wird.

Tabelle 6:
 Minimale und maximale Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) durch die innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme bei unterschiedlichen Verglasungstypen (Szenario Verwaltungsbau).

Behang	Verglasungstyp		U-Wert Verglasung mit Luftschicht und Behang [W/m ² K]	Prozentuale Verbesserung bezogen auf U _g
Duette 64 Whisper vor den Fassadenpfosten (mit minimaler Verbesserung: ΔR = 0,04 m ² K/W)	Neubau	Wärmeschutzverglasung R _g = 0,83 m ² K/W U _g = 1,00 W/m ² K (Verglasung wie Versuch)	0,96	4 %
	Altbau	Isolierverglasung R _g = 0,19 m ² K/W U _g = 2,78 W/m ² K	2,50	10 %
Duette 64 Architella Blackout vor den Fassadenpfosten (mit maximaler Verbesserung: ΔR = 0,35 m ² K/W)	Neubau	Wärmeschutzverglasung R _g = 0,83 m ² K/W U _g = 1,00 W/m ² K (Verglasung wie Versuch)	0,74	26 %
	Altbau	Isolierverglasung R _g = 0,19 m ² K/W U _g = 2,78 W/m ² K	1,41	49 %

4 Rechnerische Bewertung des Einflusses von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf mit dynamischen Simulationsrechnungen

Aufbauend auf den in Kapitel 3.1 durchgeführten messtechnischen Untersuchungen werden im Folgenden die Potentiale von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen im Hinblick auf eine Reduzierung des Nutzwärmebedarfs während der Wintermonate am Beispiel eines typischen Wohngebäudes beziehungsweise eines beispielhaft ausgewählten Büroraumes analysiert. Hierbei werden zwei Aspekte betrachtet:

- Verringerung der Transmissionswärmeverluste über die transparenten Teile einer Fassade während der Nachtstunden bei geschlossenen Systemen am Beispiel des Wohngebäudes.
- Erhöhung der solaren Wärmegewinne im Vergleich zu außen liegenden Sonnen- und Blendschutzsystemen tagsüber bei einem Büroraum.

4.1 Software zur dynamischen Gebäudesimulation

Für die dynamischen Simulationsrechnungen wird das Programm TRNSYS (Transient System Simulation Program) [2] in der Version 17 gewählt. TRNSYS ist ein Werkzeug zur Simulation von Gebäuden und Systemen der technischen Gebäudeausrüstung. Die Software wurde 1975 an der Universität in Wisconsin (USA) zur Simulation von Solaranlagen entwickelt. Als Entwicklungsumgebung dient die Programmiersprache Fortran. Der modulare Aufbau der Anwendung ermöglicht die Lösung einer Vielzahl von Fragestellungen. Ein Hauptanwendungsgebiet ist die thermisch-energetische Gebäudesimulation.

Die für die Rechnungen verwendeten TRNSYS-Modelle für das Wohngebäude, den Büroraum und die Sicht- und Sonnenschutzsysteme wurden nach ihrer Erstellung an Hand von Messdaten validiert, um eine korrekte Abbildung der physikalischen Vorgänge sicherzustellen [1].

4.2 Klimadaten

Als Grundlage für diese Untersuchung dient die im Februar 2007 veröffentlichte Normenreihe DIN V 18599 mit ihren Teilen eins bis zehn. Im zehnten Teil [10] werden monatliche Mittelwerte des zu Grunde liegenden Außenklimas angegeben. Um eine instationäre Gebäudesimulation durchführen zu können sind jedoch mindestens Stundenmittelwerte erforderlich. Um einen entsprechenden Wetterdatensatz für die Simulationsrechnung zu erhalten, sind zwei Wege denkbar. Zum einen verfügt die verwendete Simulationssoftware TRNSYS über die Möglichkeit an Hand eines statistischen Verfahrens aus Monatsmittelwerten, Stundenmittelwerte zu generieren. Zum anderen wird vom Deutschen Wetterdienst mit den Testreferenzjahren [7] für Deutschland eine Reihe von Standardwetterdatensätzen bereitgestellt. Ein Testreferenzjahr (TRY) beinhaltet,

basierend auf einer Analyse von Großwetterlagen, den charakteristischen Witterungsverlauf für eine Klimaregion mit Werten der direkten und diffusen Strahlung, der atmosphärischen Gegenstrahlung, der relativen Luftfeuchte, der Windgeschwindigkeit und der Außenlufttemperatur. Die Bundesrepublik Deutschland ist in 15 solche Klimaregionen unterteilt, deren geografische Verteilung Bild 33 entnommen werden kann. Für jede Region sind eigene Datensätze vorhanden, die etwa den Mittelwert der letzten 30 Jahre widerspiegeln und Stundenmittelwerte enthalten. Um auch Aussagen über extreme Witterungssituationen zu ermöglichen, werden zusätzliche Datensätze mit derselben Struktur für einen sehr kalten Winter (w-TRY) (Dezember 1984 bis Februar 1985) und einen extrem warmen Sommer (s-TRY) (Juni bis August 1983) bereitgestellt [7]. Zusätzlich zu den oben beschriebenen, im Jahr 2004 veröffentlichten Testreferenzjahren existiert eine ältere Version der Testreferenzjahre ohne die Extremwertdatensätze (a-TRY). Da einerseits die wissenschaftlichen Theorien, die hinter dem TRNSYS-Wetter-Generator stehen, wenig bekannt sind und die Anwendung von Testreferenzjahren andererseits eine anerkannt Methode darstellt, wird letzterer Weg gewählt.

Im simulationstechnischen Teil dieser Untersuchung sollen die angesetzten Randbedingungen nach Möglichkeit in Übereinstimmung mit der Normenreihe DIN V 18599 festgesetzt werden. Um das Testreferenzjahr zu ermitteln, das den klimatischen Randbedingungen der Norm am ähnlichsten ist, werden zunächst die Monatsmittelwerte der Außenlufttemperatur für alle Testreferenzjahre ermittelt. Je geringer die Unterschiede zwischen den jeweiligen mittleren Monatsaußentemperaturen des Testreferenzjahres und der Norm sind, desto eher entspricht das betreffende Testreferenzjahr den klimatischen Randbedingungen der Norm. Betrachtet man das alte Testreferenzjahr für Würzburg, so ist festzustellen, dass hier keine Unterschiede auftreten. Für diese Untersuchung wird daher dieser Wetterdatensatz verwendet.

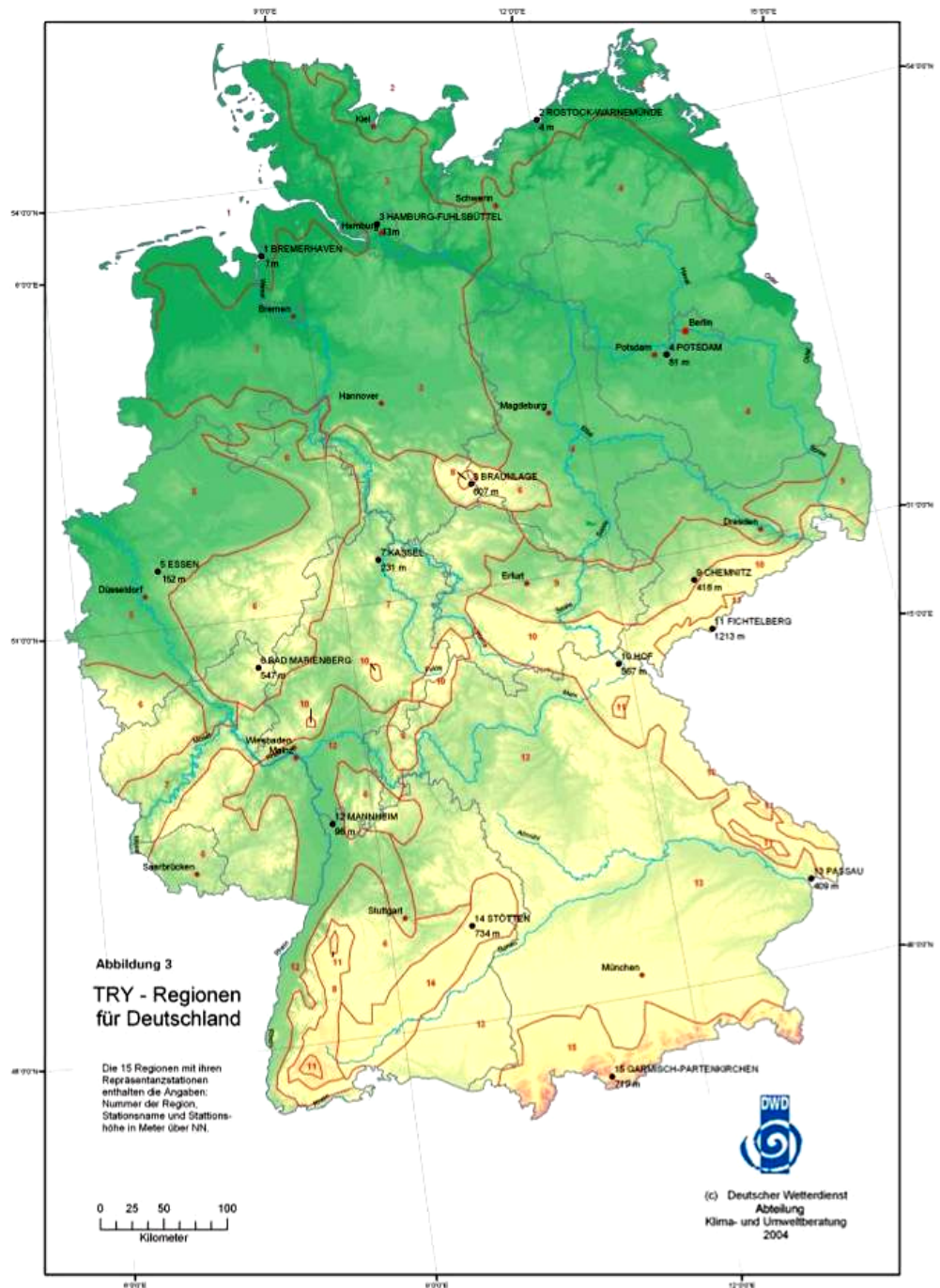


Bild 33:
Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klimaregionen nach den neuen Testreferenzjahren [7].

4.3 Bewertung des Nutzwärmeeinsparpotentials durch das nächtliche Schließen von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen an einem beispielhaften Wohngebäude

4.3.1 Simulationsmodell des Wohngebäudes

Die rechnerische Untersuchung des Wohnfalls soll an einem freistehenden Einfamilienhaus durchgeführt werden. Am Freilandversuchsgelände in Holzkirchen stehen für vergleichende Untersuchungen zwei identische Experimentierhäuser, die als Einfamilienhäuser ausgeführt sind. An Hand von Messdaten über den Nutzwärmeverbrauch, kann in TRNSYS ein validiertes Neun-Zonen-Modell des vollständigen Wohnhauses inklusive Dach- und Kellergeschoss geschaffen werden. Im Erdgeschoss verfügt das Gebäude über Wohnzimmer, Flur, Windfang, Bad, Küche und zwei Schlafzimmer. Die Aufteilung kann dem Grundriss in Bild 34 entnommen werden.

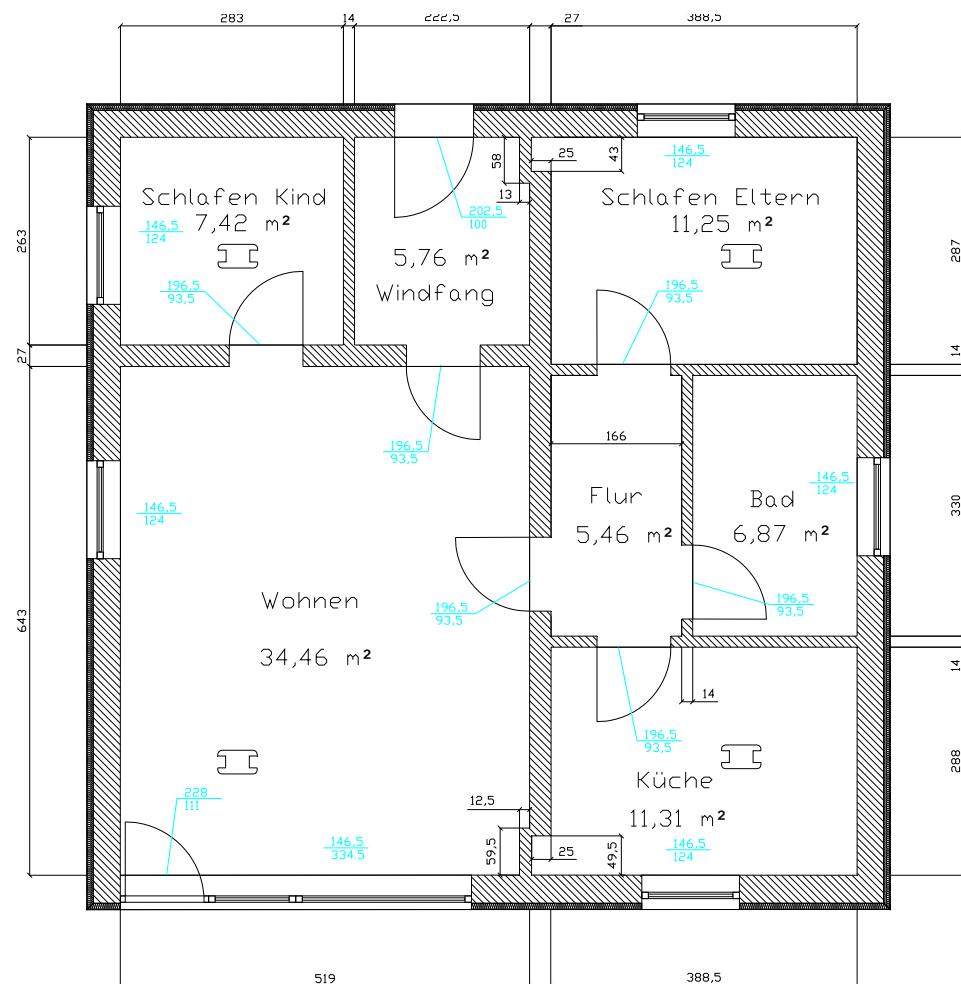


Bild 34:
Grundriss des Experimentierhauses.

Abweichend von diesen Grundrissen wird die Größe der Fenster dahingehen angepasst, dass die Summe der Rohbaufensterflächen einen Wert über 12,5 % der Netto-Grundfläche des Gebäudes erreicht [6]. Diese Anforderung an die Fenstergrößen zur Sicherstellung einer Mindesttageslichtversorgung bezieht sich streng genommen auf jeden einzelnen Raum. Da aber in diesem Untersuchungsteil weder ein Kunstlichtbedarf ermittelt noch der Nutzwärmebedarf der einzelnen Räume bewertet wird, kann die Fensterflächensumme des gesamten Gebäudes verwendet werden. Das im Rahmen der Simulationsuntersuchung beispielhaft ausgewählte Wohngebäude verfügt nach der Änderung der Fensterflächen über eine Gesamtfensterfläche von 30,4 m² und über eine Netto-Grundfläche von 163 m². Hieraus ergibt sich ein grundflächenbezogener Verglasungsanteil von 18,6 %. Dach- und Kellergeschoss sind nicht durch Innenwände unterteilt. Dieses Neun-Zonen-Modell wird für die Untersuchung verwendet, da es ein typisches Einfamilienwohnhaus in Deutschland repräsentiert. Der Aufbau der einzelnen Bauteile kann Tabelle 7 entnommen werden.

Das Gebäude verfügt über eine Nord-Süd-Ausrichtung der beiden Dachflächen und über ein großes Südfenster im Wohnzimmer, das in Bild 35 erkennbar ist. Diese Ausrichtung wird für die Untersuchung beibehalten. Das Erdgeschoss dieses Gebäudes verfügt insgesamt über eine Fensterfläche von 22 m².



Bild 35:
Experimentierhaus im Winter.

Für die Untersuchung wird ein Alt- und ein Neubaufall generiert. Der Neubaufall wird mit einer Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ($U_g = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g_{\perp} = 0,61$) in allen Fensterflächen betrachtet. Für den Altbau-

fall wird eine Isolierverglasung ($U_g = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g_{\perp} = 0,76$) angesetzt. Zur Herstellung der Altbautituation werden die Regeln zur Datenaufnahme im Gebäudebestand [20] herangezogen, die pauschale U-Werte für die diversen Bauteile in Abhängigkeit vom Baujahr vorschlagen. Geht man von einem Gebäude der 1970'er Jahre aus, kann man dieser Literaturquelle entsprechende U-Werte entnehmen, die in Tabelle 7 dargestellt sind. Für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Wände und des Daches für den Neubaufall werden die Werte des Referenzwohngebäudes der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009) [21] herangezogen. Die Außenwände des untersuchten Altbauzustandes bestehen aus 30 cm Leichtziegel. Um die Nebausituation zu generieren wird außenseitig ein zusätzliches, 10 cm starkes Wärmedämmverbundsystem angenommen. Das Sparrendach des Altbaufalles ist im Gefach mit 2 cm, im Neubaufall mit 16 cm Mineralwolle gedämmt.

Tabelle 7:
Bauteilaufbauten des Experimentierhauses. Der Aufbau der Außenwände und des Daches der Altbau-situation sind grau hinterlegt. Bemessungskennwerte nach [22].

Bauteil	Aufbau	Dicke [m]	Rohdichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Spezifische Wärme-kapazität [kJ/kgK]
Außenwand Altbau $U_{AW}=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
	Leichtziegel	0,3	800	0,33	1
	Außenputz	0,03	2000	1,40	1
Außenwand Neubau $U_{AW}=0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
	Leichtziegel	0,3	800	0,33	1
	Dämmung	0,1	80	0,04	1,03
	Außenputz	0,03	2000	1,40	1
Geschossdecke EG $U_{EG-DG}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	Dämmung (Polystyrol)	0,06	25	0,04	1,25
	Estrich	0,04	2000	1,40	1,03
	Trittschalldämmung	0,03	50	0,06	0,84
	Beton	0,22	2400	2,10	1
	Dämmung (Polystyrol)	0,1	25	0,04	1,25
Geschossdecke KG $U_{KG-EG}=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	Estrich	0,075	2000	1,40	1,03
	Trittschalldämmung	0,07	50	0,06	1
	Beton	0,22	2400	2,10	1
Dach Altbau $U_{Gefach}=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gipskartonplatte	0,0125	900	0,25	1
	Luftschicht	0,05	-	-	-
	$R=0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,05	-	-	-
	Dämpfbremse	0,001	1390	0,17	0,9
	Mineralwolle /	0,02	28	0,04	0,84
	Konstruktionsholz	0,2	600	0,13	1
	Unterspannbahn	0,001	1390	0,17	0,9
Dachziegel	0,02	2000	0,96	1	
Dach Neubau $U_{Gefach}=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gipskartonplatte	0,0125	900	0,25	1
	Luftschicht	0,05	-	-	-
	$R=0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$	0,05	-	-	-
	Dämpfbremse	0,001	1390	0,17	0,9
	Mineralwolle /	0,16	28	0,04	0,84
	Konstruktionsholz	0,2	600	0,13	1
	Unterspannbahn	0,001	1390	0,17	0,9
	Dachziegel	0,02	2000	0,96	1
Innenwand 1 $U_{IW,1}=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
	Leichtziegel	0,25	800	0,33	1
	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
Innenwand 2 $U_{IW,2}=1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
	Leichtziegel	0,12	800	0,33	1
	Innenputz	0,01	1200	0,35	1
Kellerwand $U_{KW}=0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	Beton	0,3	2400	2,10	1
	Dämmung Polystyrol	0,05	50	0,04	1,45
Kellerboden $U_{KB}=0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	Estrich	0,05	2000	1,40	1,03
	Dämmung	0,08	80	0,04	0,84
	Beton	0,15	2400	2,10	1

4.3.2 Nutzungsrandbedingungen des Wohngebäudes

Wohngebäude in Deutschland sind bislang überwiegend nicht mit raumlufttechnischen Anlagen ausgestattet, aus diesem Grund wird auch für das hier untersuchte Wohnhaus von einer freien Belüftung ausgegangen. DIN V 4108-6 [13] setzt in der Heizperiode für luftdichtheitsgeprüfte Gebäude einen pauschalen Luftwechsel von $0,6 \text{ h}^{-1}$ und für nicht geprüfte einen Luftwechsel von $0,7 \text{ h}^{-1}$ an. Nach DIN V 18599-2 [11] setzt sich der Luftwechsel in einem frei belüfteten Gebäude aus der Infiltration und dem nutzungsbedingten Frischluftbedarf zusammen. Die Infiltration ist abhängig von der Windexponiertheit und der Luftdichtheitskategorie des Gebäudes. Die Windexponiertheit des Gebäudes drückt sich durch dessen Windschutzkoeffizienten e_{Wind} aus, der im Normalfall mit $0,07$ angenommen wird. Die Luftdichtheit wird durch den Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (n_{50}) definiert. Für den Neubaufall wird die Kategorie I a) gewählt, was einem luftdichtheitsgeprüften Gebäude ohne raumlufttechnische Anlagen entspricht ($n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$). Für den Altbau wird die Kategorie III für sonstige Gebäude angewendet ($n_{50} = 6 \text{ h}^{-1}$). Zusammen mit dem Luftwechsel auf Grund des Frischluftbedarfs errechnet sich somit für das Neugebäude eine Infiltration von $n_{\text{inf}} = 0,14 \text{ h}^{-1}$ und ein konstanter Gesamtluftwechsel $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Für das Altbaugebäude ergeben sich Luftwechselraten von $n_{\text{inf}} = 0,42 \text{ h}^{-1}$ beziehungsweise $n = 0,8 \text{ h}^{-1}$.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einem Wohngebäude das Sicht- und Sonnenschutzsystem nicht auf Grund von solarer Einstrahlung aktiviert wird, sondern ausschließlich Nachts geschlossen wird, also sich das Sicht- und Sonnenschutzsystem lediglich in der Nacht vor der Verglasung befindet.

Die Anzahl der Nutzungsstunden pro Tag variiert bei einem Wohngebäude sehr stark mit den Nutzern und dem betrachteten Raum. DIN V 18599-10 [10] setzt vereinfachend eine 24-stündige Nutzungszeit ohne tageszeitabhängiges Profil an. In einer thermischen Gebäudesimulation ist dies nicht immer zweckdienlich und auch nicht in allen Fällen möglich, da unter anderem für die Steuerung des temporären Wärmeschutzes eine Annahme erforderlich ist, wann die Nacht zu definieren ist. In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass der Sicht- und Sonnenschutz mit Einbruch der Dunkelheit geschlossen und wieder geöffnet wird, wenn es hell wird. Zu diesem Zweck wird die Summe der Globalstrahlung auf die Horizontale für die letzten beiden Stunden gebildet. Der Sicht- und Sonnenschutz bleibt geschlossen, so lange diese Summe geringer als 15 W/m^2 ist.

DIN V 18599-10 [10] sieht für Wohngebäude eine Innenraumsolltemperatur von 20 °C über die komplette 24-stündige Nutzungszeit vor. Diese Temperatur wird in der Untersuchung für das Erd- und das Dachgeschoss angesetzt. Die Temperatur im Keller wird als frei schwingend angesetzt (keine Wohnnutzung). Entsprechend findet der Kellerraum keinen Eingang in die Bewertung des energetischen Verhaltens der Gebäudes.

Wärmeeinträge kommen nicht nur von außen in ein Gebäude, sondern werden auch innerhalb der thermischen Hüllfläche erzeugt, hauptsächlich von den Nutzern, deren Arbeitshilfen und der Beleuchtung. Die Höhe der internen Wärmequellen für eine Wohnnutzung wird in DIN V 18599-10 [10] mit $50 \text{ Wh/m}^2\text{d}$ angesetzt, woraus ein stündlicher Wert von $2,1 \text{ W/m}^2$ resultiert. Dies entspricht somit weniger als der halben Leistung, die nach DIN V 4108-2 [12] anzusetzen wäre. Da sich diese Untersuchung am Regelwerk der DIN V 18599 orientiert, wird der Wert von $2,1 \text{ W/m}^2$ verwendet und während der 24-stündigen Nutzungszeit als konstant angesetzt.

4.3.3 Variantenmatrix Wohngebäude

Um einen repräsentativen Querschnitt der untersuchten Produktvarianten des Wohnungsbaus zu betrachten werden 4 Systeme gewählt, deren zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand den Minimal- und Maximalwert der untersuchten Systeme sowie dazwischen liegende Werte annimmt. Als Referenzfall dient ein Wohngebäude ohne Sicht- und Sonnenschutzsystem. Es werden die Systeme der Versuche 1, 9, 17 und 19 betrachtet:

- Kammerplissee Duette 25 Duoton in der Glasleiste
- Kammerplissee Duette 32 Blackout in der Glasleiste
- Kammerplissee Duette 64 Whisper vor der Fensternische
- Plissee 20 Crush Topar in der Glasleiste mit Seitenführung

Da in dieser Untersuchung eines Wohngebäudes die Systeme ausschließlich nachts genutzt werden hat bezüglich der Eigenschaften der Sicht- und Sonnenschutzsysteme ausschließlich der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand der Systeme einen Einfluss auf das Ergebnis. Die strahlungsphysikalischen Kennwerte der Systeme im solaren Bereich spielen hier keine Rolle, werden jedoch der Vollständigkeit halber mit angegeben.

In dem verwendeten Simulationsprogramm TRNSYS sind zur Definition eines innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzes die folgenden fünf Parameter erforderlich. Die solaren, gesamtenergetischen Oberflächenreflexionsgrade der fenster- und der raumseitigen Oberflächen des Materials, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Ebenso die durch das Sicht- und Sonnenschutzsystem verursachte Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstands des entsprechenden transparenten Teiles der Fassadenfläche. Der Verschattungsfaktor beschreibt den Anteil der Solarstrahlung, der aufgrund des Sicht- und Sonnenschutzsystems nicht direkt in den Raum eindringen kann. In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass der Sonnen- und Blendschutz die transparente Fläche der Fassade vollständig abdeckt. Daraus folgt, dass der anzusetzende Verschattungsfaktor dem Komplement des Gesamtenergietransmissionsgrades τ entspricht ($1-\tau$). Der Gesamtenergietransmissionsgrad wurde eben-

falls vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Ein weiterer von TRNSYS benötigter Wert ist der sogenannte CCI-Shade, der den energetischen Anteil der Solarstrahlung angibt, der vom Sicht- und Sonnenschutzsystem absorbiert und über Konvektion direkt an die Raumluft abgegeben wird. Der CCI-Shade kann Werte zwischen Null (System direkt am Fenster) und Eins (System mitten im Raum) annehmen. Eine Zusammenfassung der Kenngrößen der verwendeten Sicht- und Sonnenschutzsysteme kann Tabelle 8 entnommen werden.

Diese vier gewählten Behangvarianten werden mit jeder der beiden Gebäudebeziehungsweise Fenstervarianten anhand der gewählten Klimarandbedingungen (siehe Kapitel 4.2) betrachtet. Daraus folgen 8 Kombinationen, wie aus der Variantenmatrix in Tabelle 9 ersichtlich ist.

Tabelle 8:
 Physikalische Kenngrößen aller Sonnen- und Blendschutzsysteme. (Die gerechneten Systeme sind grau hinterlegt. Die verwendeten Abkürzungen bedeuten: GL – in der Glasleiste, GL+SF – in der Glasleiste mit Seitenführung, vFN – vor der Fensternische).

Nr.	System	Montage	Gesamtenergiereflektionsgrad (280-2500 nm) [-]		Wärmedurchlasswiderstand [m ² K/W]	Verschattungsfaktor [-]	CCI-Shade [-]	Tageslichttransmissionsgrad (380-780 nm) [-]	
			raumseitig	fensterseitig					
1	Duette 25	GL	0,35		0,23	0,80	0,15	0,16	
2		Duoton			GL+SF				0,23
3		vFN			0,13				
4		Blackout	GL	0,72		0,30		1,00	0,00
5			GL+SF			0,26			
6			vFN			0,38			
7	Duoton	GL	0,44		0,23	0,57	0,39		
8		vFN			0,11				
9	Duette 32	GL	0,76		0,44	1,00	0,00		
10		Blackout			vFN			0,17	
11	Roma	GL	keine Angabe		0,11	keine Angabe	keine Angabe		
12		vFN			0,08				
13	Duette 64	Duoton	vFN		0,37	0,89	0,08		
14		Blackout			0,73	1,00	0,00		
15		Architella Semi-Opaque			0,43	0,99	0,01		
16		Architella Black-out			0,51	1,00	0,00		
17		Whisper			0,10	0,43	0,54		
18	Plissee 20	GL	0,51		0,14	0,62	0,34		
19		Crush Topar			GL+SF			0,14	
20		vFN			0,10				
21	Lumina Sheer	GL	0,42		0,09	0,50	0,55		
22		vFN			0,06				

Tabelle 9:
Variantenmatrix der Wohnfalluntersuchung.

Energetische Qualität Gebäudehülle	Sicht- und Sonnenschutzsystem				
	Ohne (Basis)	Duette 25 Duoton Glasleiste	Duette 32 Blackout Glasleiste	Duette 64 Whisper vor Fenster-nische	Plissee 20 Crush Topar Glasleiste +Seitenführung
2-Scheiben WSV Neubau	BASIS_NEU	D25_DUO_GL_NEU	D32_BLA_GL_NEU	D64_WHL_vFN_NEU	P20_CRT_GL+SF_NEU
Isolierglasfenster Altbau	BASIS_ALT	D25_DUO_GL_ALT	D32_BLA_GL_ALT	D64_WHL_vFN_ALT	P20_CRT_GL+SF_NEU

4.3.4 Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen für das Wohngebäude

In Tabelle 10 ist der errechnete Nutzwärmebedarf aller Varianten der Wohnfalluntersuchung aufgeführt. In Tabelle 11 sind die absoluten Nutzwärmeeinsparungen gegenüber der entsprechenden Variante ohne Sicht- und Sonnenschutzsystem dargestellt und in Tabelle 12 als prozentuale Einsparungen. Man kann erkennen, dass bei der Nebausituation mit der Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung Nutzwärmeeinsparungen von etwa 2 % mit dem Kammerplissee Duette 64 Whisper vor der Fensternische und bis 11 % mit dem Kammerplissee Duette 32 Blackout in der Glasleiste zu erwarten sind. Ähnliche Effekte kann man bei der Altbausituation beobachten, bei der Einsparungen von etwa 3 % beim Kammerplissee Duette 64 Whisper vor der Fensternische und 12 % mit dem Kammerplissee Duette 32 Blackout in der Glasleiste erreichbar sind.

Erwartungsgemäß ist der nutzwärmebedarfssenkende Effekt des temporären, nächtlichen Wärmeschutzes umso ausgeprägter je deutlicher die Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes der verglasten Fläche durch das geschlossene Sicht- und Sonnenschutzsystem ausfällt.

Tabelle 10:
Nutzwärmebedarfswerte aller Varianten der Wohnfalluntersuchung.

Energetische Qualität Gebäudehülle	Sicht- und Sonnenschutzsystem Nutzwärmebedarf [kWh/m²a]				
	Ohne (Basisfall)	Duette 25 Duoton Glasleiste	Duette 32 Blackout Glasleiste	Duette 64 Whisper vor Fenster-nische	Plissee 20 Crush Topar Glasleiste +Seitenführung
2-Scheiben WSV Neubau	81,9	75,2	72,7	80,3	77,4
Isolierglasfenster Altbau	175,1	158,2	154,4	170,0	162,6

Tabelle 11:
Ergebnismatrix der absoluten Nutzwärmeeinsparpotentiale bezogen auf den Nutzwärmebedarf der jeweiligen Basisvariante ohne Sicht- und Sonnenschutzsystem.

Energetische Qualität Gebäudehülle	Sicht- und Sonnenschutzsystem				
	Ohne (Basisfall)	Nutzwärmeeinsparpotential [kWh/m ² a]			
		Duette 25 Duoton Glasleiste	Duette 32 Blackout Glasleiste	Duette 64 Whisper vor Fenster-nische	Plissee 20 Crush Topar Glasleiste +Seitenführung
2-Scheiben WSV Neubau	81,9	6,7	9,2	1,5	4,4
Isolierglasfenster Altbau	175,1	16,9	20,7	5,1	12,5

Tabelle 12:
Ergebnismatrix des prozentualen Nutzwärmeeinsparpotentials bezogen auf den Nutzwärmebedarf der jeweiligen Basisvariante ohne Sicht- und Sonnenschutzsystem.

Energetische Qualität Gebäudehülle	Sicht- und Sonnenschutzsystem				
	Ohne (Basisfall)	Nutzwärmeeinsparpotential [%]			
		Duette 25 Duoton Glasleiste	Duette 32 Blackout Glasleiste	Duette 64 Whisper vor Fenster-nische	Plissee 20 Crush Topar Glasleiste +Seitenführung
2-Scheiben WSV Neubau	81,9	8,2%	11,2%	1,9%	5,4%
Isolierglasfenster Altbau	175,1	9,6%	11,8%	2,9%	7,1%

4.4 Bewertung des Nutzwärmeeinsparpotentials auf Grund von höheren solaren Gewinnen durch innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme im Vergleich zu außen liegenden Systemen am Beispiel eines typischen Büroraumes

4.4.1 Simulationsmodell Büroraum

Es ist möglich das Verhalten eines großen Gebäudes durch die Behandlung eines einzelnen, repräsentativen Raumes abzuschätzen [15]. Die Raumgröße für ein durchschnittliches Zwei-Personen-Büro wird mit einer Fassadenbreite von 3,6 m, einer Tiefe von 5,5 m und einer Raumhöhe von 2,8 m angenommen [9]. Aus dieser Geometrie ergibt sich eine Grundfläche von 19,8 m² und ein Nettovolumen von 55,4 m³.

Aus früheren Untersuchungen [16] ist bekannt, dass der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile für den Nutzwärmebedarf vernachlässigbar ist; selbst dann, wenn eine Nachtabenkung angesetzt wird. Dies gilt nur unter der Voraussetzung, dass alle schweren und leichten Konstruktionen den selben Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aufweisen. Auch im Fall mit Nachtabenkung ist die Änderung des Nutzwärmebedarfs bei unterschiedlichen thermischen Speichermassen nicht größer als 3,3 % [16]. Aus diesem Grund erscheint es nicht erforderlich, Varianten mit unterschiedlichen wirksamen Wärmespeicherkapazitäten zu überprüfen. Aus Gründen der Flexibilität und der einfacheren Installationsführung trifft man in Büroräumen häufig auf leichte Bauweisen mit Trockenbauwänden und abgehängten Decken. Für diese Untersuchung wird ein in [18] definierter, leichter Raum verwendet, der bei der gewählten Geometrie eine Wärmespeicherfähigkeit von 42 Wh/m²K aufweist. Der Aufbau der einzelnen Bauteile kann Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 13:
Bauteilaufbauten des Büroraumes. Bemessungskennwerte nach [22].

Bauteil	Schicht	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
Außenwand $U_{AW}=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$	Aluminium	0,002	2600	200	0,278
	Dämmstoff 1	0,13	30	0,04	0,278
	Aluminium	0,002	2600	200	0,278
Geschossdecke $U_{Decke}=1,04 \text{ W/m}^2\text{K}$	Zementestrich	0,05	2000	1,4	0,278
	Dämmstoff 2	0,02	20	0,04	0,417
	Stahlbeton	0,16	2400	2,1	0,278
	Luftschicht: 0,17 m ² K/W	-	-	-	-
	Akustikelement	0,015	40	93	0,278
Innenwand $U_{IW}=0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$	Gipskartonplatte	0,025	900	0,25	0,278
	Dämmstoff 2	0,06	20	0,04	0,278
	Gipskartonplatte	0,025	900	0,25	0,278

Die Höhe der solaren Gewinne innerhalb eines Raumes hängt maßgeblich von der Größe der verglasten Fläche beziehungsweise vom Verglasungsanteil der Fassade ab. Im Verwaltungsbau kommen Verglasungsanteile zwischen 30 % und 100 % vor, für den hier betrachteten Raum werden 50 % angenommen. Im Bürobau häufig anzutreffende Verglasungstypen sind Zwei-Scheiben Wärme- und Sonnenschutzverglasungen. Die Betrachtung einer Drei-Scheiben Wärmeschutzverglasung wird im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt. Da Verwaltungsbauten auf Grund der hohen internen Wärmequellen zum Überhitzen neigen beziehungsweise einen hohen Nutzkältebedarf aufweisen, werden sie häufig mit Sonnenschutzverglasungen ausgeführt, um die zusätzlichen solaren Wärmeeinträge zu verringern. Eine Zwei-Scheiben-Sonnenschutzverglasung wird aus diesem Grund zusätzlich betrachtet. Die technischen Kennwerte der verwendeten Verglasungstypen können aus Tabelle 14 entnommen werden.

Tabelle 14:
Kennwerte der für die Büroraumuntersuchen verwendeten Verglasungen.

Verglasung	U_g -Wert [W/m ² K]	g_{\perp} -Wert [-]	τ_{VIS} [-]
Saint Gobain Climaplust Futura AR	1,4	0,61	0,78
Generisches Sonnenschutzglas	1,3	0,30	0,38

4.4.2 Nutzungsrandbedingungen Büroraum

Zur Berücksichtigung der Wochenendtage wird bei der Büroraumuntersuchung die Nutzung alle fünf Tage für zwei Tage ausgesetzt. Die tägliche Nutzungsdauer wird in Übereinstimmung mit DIN V 18599-10 [10] auf elf Stunden pro Tag festgesetzt.

Der Büroraum wird der Gebäudedichtheitskategorie II nach DIN V 18599-2 [11] zugeordnet. Auch hier wird keine raumluftechnische Anlage angesetzt. Nach DIN V 18599-10 [10] beträgt der minimale Außenluftvolumenstrom während der Nutzungsstunden für Gruppenbüros $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Allerdings unterstellt DIN V 18599-2 [11] auch außerhalb der Nutzungszeiten einen Fensterluftwechsel von $0,1 \text{ h}^{-1}$, der keine Infiltration darstellt und somit zu dieser hinzuaddiert werden muss. Im Folgenden werden die Luftwechselraten nach DIN V 18599-2 [11] ermittelt. Der Infiltrationsluftwechsel errechnet sich zu $0,28 \text{ h}^{-1}$ (exklusive der o.g. $0,1 \text{ h}^{-1}$), der Luftwechsel während der Nutzungszeit zu $1,15 \text{ h}^{-1}$ und der Luftwechsel außerhalb der Nutzungszeiten entsprechend zu $0,1 \text{ h}^{-1}$. Der Tagesgang des Gesamtluftwechsels für den Büroraum ist in Bild 36 dargestellt.

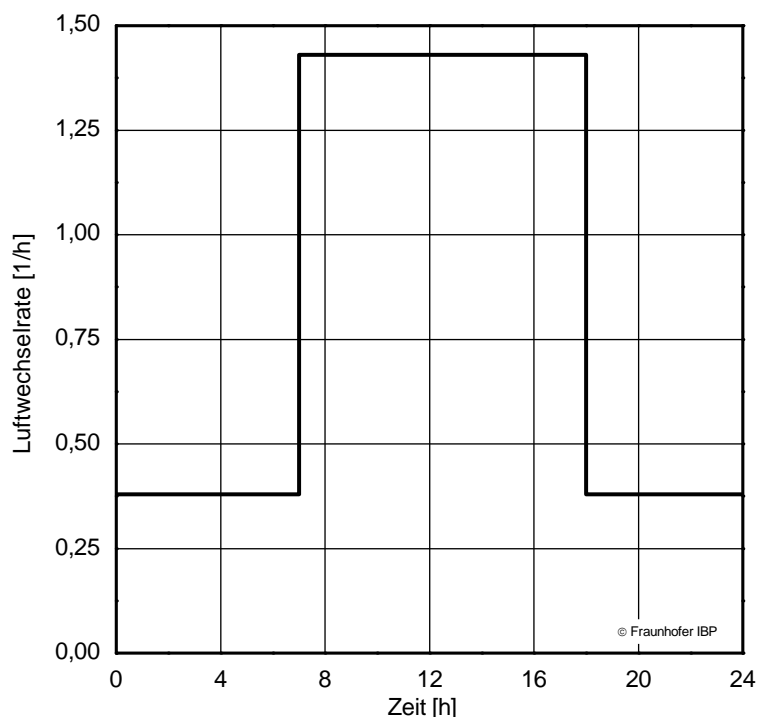


Bild 36:
Tagesgang der Gesamtluftwechselrate für den Büroraum während eines Arbeitstages.

Während der Nutzungsstunden wird für den Büroraum in Übereinstimmung mit DIN V 18599-10 [10] eine Raumlufthtemperatur von $21 \text{ }^\circ\text{C}$ festgesetzt, die außerhalb der Nutzungszeiten auf $17 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesenkt wird.

Wärmeeinträge kommen nicht nur von außen in ein Gebäude, sondern werden zum Teil auch innerhalb der thermischen Hüllfläche erzeugt; hauptsächlich von den Nutzern, deren Arbeitshilfen und der Beleuchtung. Die Höhe der internen Wärmequellen für Personen und Arbeitshilfen nach DIN V 18599-10 [10] hängt von der Belegungsdichte des Raumes ab. Im angenommenen Fall wird für zwei Personen eine Fläche von 19,8 m² angesetzt, was einer Belegungsdichte von 10 m²/Person entspricht. Demzufolge werden für Personen und Arbeitshilfen 132 Wh/m²d angenommen. Unter Berücksichtigung des elfstündigen Nutzungstages entspricht dieser Wert einer Leistung der internen Wärmequellen von 12 W/m² während der Nutzungsstunden. Außerhalb dieser Nutzungszeit werden keine internen Wärmequellen angesetzt.

Beleuchtung im Büro

Die benötigte Beleuchtungsenergie beziehungsweise die durch die Beleuchtung verursachten internen Wärmequellen werden in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt. Hierfür wären umfangreiche Annahmen über ein Nutzerverhalten erforderlich, die das Ergebnis der rechnerischen Untersuchung stark beeinflussen. Diese können der Normenreihe DIN V 18599 nicht entnommen werden.

Steuerung des Sicht- und Sonnenschutzes

In der Heizperiode wird der Sicht- und Sonnenschutz nicht zur Reduzierung der Raumlufttemperaturen, sondern ausschließlich zur Vermeidung von Blendung geschlossen. Es wird davon ausgegangen, dass die auf die verglaste Fläche treffende Direktstrahlung für die Blendung verantwortlich ist. Zur Begrenzung der frei in den Raum eindringenden Direktstrahlung wird als Schaltgrenze der Sicht- und Sonnenschutzaktivierung eine Direktstrahlung auf die Fassade von 50 W/m² angesetzt [8].

Zusätzlich zum Schließen des Sonnen- und Blendschutzes zur Vermeidung von Blendung wird in einer Variante der Sonnen- und Blendschutz wie in der Wohnhausuntersuchung (Kapitel 4.3) auch bei Dunkelheit geschlossen, um das zusätzliche Nutzwärmeeinsparpotential als nächtlicher, temporärer Wärmeschutz zu untersuchen. In diesem Fall wird die Summe der Globalstrahlung auf die Horizontale für die letzten beiden Stunden gebildet. Der Sicht- und Sonnenschutz bleibt geschlossen, so lang diese Strahlungssumme unterhalb eines Grenzwertes von 15 W/m² bleibt.

4.4.3 Variantenmatrix Büroraum

Bei den Berechnungen werden alle sieben Systeme aus der Betrachtung des Verwaltungsbaus herangezogen. In der Büroraumuntersuchung wird keine Variante ohne Sonnen- oder Blendschutz betrachtet, da dies auf Grund der Anforderungen an die Blendfreiheit unrealistisch erscheint. Als Referenzfall dient hier stattdessen eine Fassade mit einem außen liegenden Raffstore.

In dem verwendeten Simulationsprogramm TRNSYS sind zur Definition eines innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzes die folgenden fünf Parameter erforderlich. Die solaren, gesamtenergetischen Oberflächenreflexionsgrade der fenster- und der raumseitigen Oberflächen des Materials, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Ebenso die durch das Sicht- und Sonnenschutzsystem verursachte Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstands des entsprechenden transparenten Teiles der Fassadenfläche. Der Verschattungsfaktor beschreibt den Anteil der Solarstrahlung, der aufgrund des Sicht- und Sonnenschutzsystems nicht direkt in den Raum eindringen kann. In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass der Sicht- und Sonnenschutz die transparente Fläche der Fassade vollständig abdeckt. Daraus folgt, dass der anzusetzende Verschattungsfaktor dem Komplement des Gesamtenergietransmissionsgrades τ entspricht ($1-\tau$). Der Gesamtenergietransmissionsgrad wurde ebenfalls vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Ein weiterer von TRNSYS benötigter Wert ist der sogenannte CCI-Shade, der den energetischen Anteil der Solarstrahlung angibt, der vom Sicht- und Sonnenschutzsystem absorbiert und über Konvektion direkt an die Raumluft abgegeben wird. Der CCI-Shade kann Werte zwischen Null (System direkt am Fenster) und Eins (System mitten im Raum) annehmen. Eine Zusammenfassung der Kenngrößen der verwendeten Sicht- und Sonnenschutzsysteme kann Tabelle 15 entnommen werden. Den Überblick über die berechneten Varianten gibt Tabelle 16.

Tabelle 15:
Physikalische Kenngrößen aller Sonnen- und Blendschutzsysteme (Szenario Verwaltungsbau).

Nr.	System		Montage	Gesamtenergie-reflexionsgrad (280-2500 nm) [-]		Wärme-durchlass-widerstand [m²K/W]	Ver-schattungs-faktor [-]	CCI-Shade [-]	Tages-lichttrans-missionsgrad (380-780 nm) [-]
				raum-seitig	fenster-seitig				
23	Duette 64	Duoton	vor den Fassa-den-pfosten	0,37	0,19	0,89	0,15	0,08	
24		Blackout		0,73	0,34	1,00		0,00	
25		Architella Semi-Opaque		0,43	0,32	0,99		0,01	
26		Architella Blackout		0,51	0,35	1,00		0,00	
27		Whisper		0,10	0,04	0,43		0,54	
28		Duette Fixé 25		Blackout	0,72	0,32		1,00	0,00
29		Duoton		0,35	0,17	0,80	0,16		
Referenz	Raffstore		außen	-	0,03 [17]	0,85 ¹	-		

Tabelle 16:
Variantenmatrix der Bürofalluntersuchung.

Ausrichtung	Nächtliches Schließen	Verglasung	Sicht- und Sonnenschutzsystem							
			Raffstore außen (Basisfall)	Duette 64 (innen)					Duette Fixé 25 (innen)	
				Duoton	Black-out	Architella Semi-Opaque	Architella Black-out	Whisper	Black-out	Duoton
Süd	Nein	2-S-WSV	Ra_WSV_S_n	D64-DUO_W SV_S_n	D64-BL_WSV _S_n	D64-ASO_WSV _S_n	D64-ABL_WS V_S_n	D64-WHI_WSV_ S_n	DF25-BL_WSV _S_n	DF25-DUO_W SV_S_n
Ost	Nein	2-S-WSV	Ra_WSV_O_n	D64-DUO_W SV_O_n	D64-BL_WSV _O_n	D64-ASO_WSV _O_n	D64-ABL_WS V_O_n	D64-WHI_WSV_ O_n	DF25-BL_WSV _O_n	DF25-DUO_W SV_O_n
West	Nein	2-S-WSV	Ra_WSV_W_n	D64-DUO_W SV_W_n	D64-BL_WSV _W_n	D64-ASO_WSV _W_n	D64-ABL_WS V_W_n	D64-WHI_WSV_ W_n	DF25-BL_WSV _W_n	DF25-DUO_W SV_W_n
Süd	Nein	2-S-SSV	Ra_SSV_S_n	D64-DUO_SS V_S_n	D64-BL_SSV_ S_n	D64-ASO_SSV_ S_n	D64-ABL_SS V_S_n	D64-WHI_SSV_ S_n	DF25-BL_SSV_ S_n	DF25-DUO_SS V_S_n
Süd	Ja	2-S-WSV	Ra_WSV_S_j	D64-DUO_W SV_S_j	D64-BL_WSV _S_j	D64-ASO_WSV _S_j	D64-ABL_WS V_S_j	D64-WHI_WSV_ S_j	DF25-BL_WSV _S_j	DF25-DUO_W SV_S_j

¹ DIN V 18599-2 [11], Tabelle 5.

4.4.4 Ergebnisse der dynamischen Simulationsrechnungen für den Büroraum

In Tabelle 17 ist der errechnete Nutzwärmebedarf aller Varianten dargestellt. In

Tabelle 18 ist die absolute Nutzwärmeeinsparung in kWh/m²a, in Tabelle 19 die prozentuale Nutzwärmeeinsparung in Prozent dargestellt. Der Bezugfall ist die jeweilige Basisvariante mit außenliegendem Raffstore. Im Vergleich zu den Ergebnissen der Wohnfalluntersuchung fällt auf, dass im Bürofall nicht das System mit dem höchsten zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand den niedrigsten Nutzwärmebedarf erzielt. Bei ausschließlicher Nutzung tagsüber erzielt das System „Duette 64 Architella Blackout“ ($\Delta R = 0,35 \text{ m}^2\text{K/W}$) maximale Einsparungen von etwa 21 %, während das System „Duette 64 Whisper“ mit dem niedrigsten zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstand von $\Delta R = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ etwa 32 % erreicht. Dies ist darin begründet, dass der hohe zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand des vom Stoff her dichteren Kammerplissees im geschlossenen Zustand die solare Energie daran hindert in den Raum einzudringen.

Bezüglich der untersuchten Orientierungen der Außenfassade zeigt sich, dass die Westfassade das geringste Nutzwärmeeinsparpotential hat. Dies liegt daran, dass der Zeitraum der direkten Sonneneinstrahlung mit dem Ende der Nutzungszeit und somit auch mit dem Beginn der Nachtabsenkung zusammenfällt, in dem kaum Nutzwärme benötigt wird. Dies zeigt sich auch daran, dass die Basisvariante mit Westausrichtung „Ra_WSV_W_n“ einen höheren Nutzwärmebedarf als die südorientierte Basisvariante „Ra_WSV_S_n“ aufweist. Die ostorientierte Basisvariante „Ra_WSV_O_n“ weist den niedrigsten Nutzwärmebedarf aller Orientierungen auf, da hier der Zeitraum der solaren Einstrahlung mit dem Beginn der Nutzungszeit und somit mit der Aufheizung aus der Nachtabsenkung zusammenfällt. Die prozentualen Nutzwärmeeinsparpotentiale sind jedoch bei der Südorientierung am größten, da hier die Gesamtdauer der solaren Tagesbestrahlung am längsten ist.

Wird eine Sonnenschutzverglasung verwendet, steigt der Nutzwärmebedarf, da der solare Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung geringer ist. Da weniger Solarstrahlung in den Raum eindringen kann, sind auch die Nutzwärmeeinsparpotentiale durch die innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme entsprechend geringer. Das System „Duette 64 Whisper“ kann hier nur 19,2 % Einsparung erreichen im Vergleich zu 32,0 % bei Einsatz einer Zwei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.

Wird zusätzlich zum Einsatz des Sicht- und Sonnenschutzes während der Tagestunden ein Einsatz als nächtlicher, temporärer Wärmeschutz angenommen, erhöhen sich die erzielbaren Nutzwärmeeinsparpotentiale im Vergleich zu der jeweiligen Variante ohne nächtliche Nutzung (Xx_SSV_S_n). Die Nutzwärmeeinsparung steigt bei dem System „Duette 64 Whisper“ lediglich um 1,1 % auf 33,1 % während das nächtliche Schließen bei dem System „Duette 64 Architella Semi-Opaque“ zusätzliche 11,4 % einbringt und somit ein Nutzwärmeein-

sparpotential von 34,7 % erreicht wird. Bei dem System „Duette 64 Architella Semi-Opaque“ überlagern sich in der Variante „D64- ASO_WSV_S_j“ die bedarfssteigernde Wirkung des hohen zusätzlichen Wärmedurchlasswiderstands tagsüber und die bedarfssenkende Wirkung nachts so, dass im Vergleich zu den anderen Systemen ein maximales Nutzwärmeeinsparpotential von 34,7 % erzielt wird.

Tabelle 17:
Nutzwärmebedarfswerte aller Varianten der Bürofalluntersuchung.

Ausrichtung	Nächtliches Schließen	Verglasung	Sicht- und Sonnenschutzsystem							
			Nutzwärmebedarf [kWh/m²a]							
			Raffstore außen (Basisfall)	Duette 64 Duoton	Duette 64 Blackout	Duette 64 Architella Semi-Opaque	Duette 64 Architella Blackout	Duette 64 Whisper	Duette Fixé 25 Blackout	Duette Fixé 25 Duoton
Süd	Nein	2-S-WSV	82,6	61,6	71,3	63,3	65,2	56,2	70,9	61,0
Ost	Nein	2-S-WSV	81,0	68,0	73,9	69,0	70,1	64,9	73,7	67,7
West	Nein	2-S-WSV	83,7	76,8	79,9	77,3	78,0	74,9	79,8	76,5
Süd	Nein	2-S-SSV	91,1	77,6	83,3	78,9	80,0	73,7	83,0	77,1
Süd	Ja	2-S-WSV	81,8	54,1	60,8	53,4	54,9	54,7	60,6	54,3

Tabelle 18:
Absolute Nutzwärmeeinsparung der Bürofallvarianten zu der entsprechenden Basisvariante mit außen liegendem Raffstore.

Ausrichtung	Nächtliches Schließen	Verglasung	Sicht- und Sonnenschutzsystem							
			Raffstore außen (Basisfall)	Nutzwärmeeinsparpotential [kWh/m²a]						
				Duette 64 Duoton	Duette 64 Blackout	Duette 64 Architella Semi-Opaque	Duette 64 Architella Blackout	Duette 64 Whisper	Duette Fixé 25 Blackout	Duette Fixé 25 Duoton
Süd	Nein	2-S-WSV	82,6	21,0	11,3	19,3	17,4	26,4	11,7	21,6
Ost	Nein	2-S-WSV	81,0	13,0	7,1	12,0	10,9	16,1	7,3	13,4
West	Nein	2-S-WSV	83,7	6,9	3,8	6,3	5,7	8,8	3,9	7,1
Süd	Nein	2-S-SSV	91,1	13,6	7,9	12,2	11,1	17,5	8,1	14,0
Süd	Ja	2-S-WSV	81,8	27,7	21,1	28,4	26,9	27,1	21,2	27,6

Tabelle 19:
 Prozentuale Nutzwärmeeinsparung der Bürofalluntersuchung zu der entsprechenden Basisvariante mit außen liegendem Raffstore.

Ausrichtung	Nächtliches Schließen	Verglasung	Sicht- und Sonnenschutzsystem								
			Raffstore (außen) (Basisfall)	Nutzwärmeeinsparpotential [%]						Duette Fixé 25 Blackout	Duette Fixé 25 Duoton
				Duette 64 Duoton	Duette 64 Blackout	Duette 64 Architella Semi-Opaque	Duette 64 Architella Blackout	Duette 64 Whisper			
Süd	Nein	2-S-WSV	82,6	25,4	13,7	23,3	21,0	32,0	14,2	26,1	
Ost	Nein	2-S-WSV	81,0	16,0	8,7	14,8	13,4	19,9	9,0	16,5	
West	Nein	2-S-WSV	83,7	8,3	4,5	7,6	6,8	10,6	4,7	8,5	
Süd	Nein	2-S-SSV	91,1	14,9	8,6	13,4	12,2	19,2	8,9	15,4	
Süd	Ja	2-S-WSV	81,8	33,9	25,7	34,7	32,9	33,1	25,9	33,7	

5 Zusammenfassung und Ausblick

Sicht- und Sonnenschutzsysteme dienen dem Sichtschutz, der Regulierung der solaren Wärmeeinträge über transparente Bauteile in Gebäude, sie bieten dem Gebäudenutzer die Möglichkeit den Tageslichteinfall zu beeinflussen sowie Blendungen zu vermeiden und können als temporärer, zusätzlicher Wärmeschutz dienen. In vorliegender Untersuchung werden innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme betrachtet und das energetische Einsparpotential ausgewählter Systeme bei Nutzung als temporärer, zusätzlicher Wärmeschutz während der Nachtstunden beziehungsweise als Blendschutz während der Tagesstunden im Winter aufgezeigt. Betrachtet werden Kammerplissees und Plissees mit unterschiedlichen textilen Eigenschaften und für unterschiedliche Montage-situationen.

Die strahlungsphysikalischen Kennwerte der Behänge, die Eingang in die dynamischen Simulationsrechnungen finden, werden durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. In den Wintermonaten Dezember 2010 bis März 2011 werden Freilanduntersuchungen am Standort Holzkirchen des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik durchgeführt. Als Versuchsgebäude dient die Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen (VERU). Zur Messdatenanalyse werden statistische Auswertungen der Behangsysteme im Vergleich zu einem Referenzfenster ohne Behang durchgeführt. Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand ΔR der Fassade bei geschlossenem Behang während der Nacht wird messtechnisch für alle Behänge ermittelt. Je nach Behang ergeben sich für ΔR Werte zwischen 0,04 und 0,44 m²K/W. Mit Hilfe der innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsysteme sind dadurch Verbesserungen des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) typischer Alt- bzw. Neubauverglasungen um bis zu 55 % bzw. 34 % bezogen auf den U-Wert der Verglasung möglich. Beim Beispiel einer Isolierverglasung mit einem U_g -Wert von 2,78 W/m²K verringert sich durch das System „Duette 32 Blackout in der Glasleiste“ der U-Wert auf 1,25 W/m²K, bei einer Wärmeschutzverglasung mit $U_g = 1,18$ W/m²K kann eine Verringerung des U-Wertes auf 0,78 W/m²K erreicht werden.

Auf Grundlage der messtechnisch gewonnenen Ergebnisse werden dynamische Simulationsrechnungen durchgeführt. Dabei wird am Beispiel eines Einfamilienhauses berechnet, welchen Beitrag zur Reduzierung des Nutzwärmebedarfs während der Nachtstunden geschlossene, innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme liefern können.

Die instationären Berechnungen zeigen, dass bei dem im Rahmen dieser Untersuchung beispielhaft ausgewählten Einfamilienhaus durch die messtechnisch belegten Erhöhungen des Wärmedurchlasswiderstands beim Jahres-Nutzwärmebedarf je nach Ausgangslage und gewählten Randbedingungen (Verglasung, Klima und Gebäudezustand) eine Verringerung um bis zu 12 % möglich ist. Diese Effekte sind umso deutlicher, je niedriger das zugrunde gelegte Wärmeschutzniveau der Verglasung ist.

Wird in einem Bürofall ein innen liegendes Sicht- und Sonnenschutzsystem anstelle eines außen liegenden Systems verwendet, können die am innen liegenden Behang entstehenden solaren Wärmeeinträge genutzt werden, um einen Teil des Nutzwärmebedarfs zu supplementieren. Je nach den angesetzten Randbedingungen sind Nutzwärmeeinsparungen zwischen 4,5 % und 32 % erzielbar. Ein hoher zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand des innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystems ist hier nicht förderlich, da verstärkt verhindert wird, dass die Energie der absorbierten Solarstrahlung in den Raum gelangt. Eine zusätzliche Verwendung des Sicht- und Sonnenschutzes als nächtlicher, temporärer Wärmeschutz, kann bei dem im Rahmen dieser Untersuchung ausgewählten Kammerplissees weitere Nutzwärmeeinsparungen von bis zu 12 % (System Duette 64 Blackout) ermöglichen.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich mit innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen auf einfache Weise Energieeinsparpotentiale erschließen lassen. Innen liegende Sicht- und Sonnenschutzsysteme sollten neben der Hauptaufgabe des Blendschutzes und der Vermeidung sommerlicher Überhitzungen auch im Winter genutzt werden, um Gebäude energieeffizienter zu betreiben.

Weitere Potentiale könnten sich durch infrarotreflektierende Beschichtungen im Zusammenhang mit Sonnenschutz- oder Rollladensystemen erschließen.

6 Literatur

- [1] Heusler, I.; Kersken, M.; Sinnesbichler, H.: Untersuchung der Potenziale von innen liegenden Sicht- und Sonnenschutzsystemen zur Verringerung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden, IBP-Bericht ESB-007/2009 HOKI.
- [2] TRNSYS Version 17 Documentation, University of Wisconsin, USA (2009-2010).
- [3] ISO 9869:1994-08-01, Thermal insulation – Building elements – In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- [4] E DIN EN 12494:1996-11, Bauteile und Bauelemente, Vor-Ort-Messung des Wärmedurchlaßwiderstandes von Oberfläche zu Oberfläche.
- [5] International glazing data base (IGDB) Version 13.9.
- [6] Bayerische Bauordnung 2009 (BayBo2009).
- [7] Christoffer. J.. Deutschländer. T.. Webs. M.: "Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY". Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes (2004).
- [8] David. R.. de Boer. J.. Erhorn. H.. Reiß. J.. Rouvel. L.. Schiller. H.. Weiß. N.. Wenning. M: Heizen. Kühlen. Belüften & Beleuchten - Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599. Fraunhofer IRB-Verlag (2006).
- [9] DIN EN ISO 13791:2005-02: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Temperaturen in Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren.
- [10] DIN V 18599-10:2007-2: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-. End- und Primärenergiebedarfs für Heizung. Kühlung. Lüftung. Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen. Klimadaten.
- [11] DIN V 18599-2:2007-2: 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.
- [12] DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [13] DIN V 4108-6:2003-06: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [14] DIN 6946:2008-4: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren.

- [15] Hauser, G.: „Vereinfachte Behandlung der Wärmeverhaltens großer Gebäude durch thermische Systeme“. Beton + Fertigteiltechnik (1978).
- [16] Hauser, G., Otto, F.: "Wärmespeicherfähigkeit und Jahresheizwärmebedarf". mikado (1997).
- [17] Hauser, G.: "Sonnenenergienutzung - Temporärer Wärmeschutz - Sommerlicher Wärmeschutz". Glaswelt (1984).
- [18] Hauser, G. und Otto, F.: Planungsinstrumente für das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden. Bau- und Wohnforschung, Fraunhofer IRB Verlag (1997).
- [19] <http://www.vis-online.org>
- [20] Ornth, W.: "Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenanwendung im Wohngebäudebestand". Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007).
- [21] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung - Nichtamtliche Lesefassung (April 2009).
- [22] DIN EN 12524:2000-07, Baustoffe und -produkte, Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften, Tabellierte Bemessungswerte.