

Energieoptimierter Einsatz von Sonnen- und Blendschutz in Bürogebäuden

Schlussbericht vom 14. April 2009



**Baudirektion
Kanton Zürich**

AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft

Impressum

Auftraggeber



Baudirektion Kanton Zürich

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Energie
Stampfenbachstrasse 12, Postfach
8090 Zürich
www.energie.zh.ch
E-Mail energie@bd.zh.ch



Stadt Zürich

Umwelt- und Gesundheitsschutz

UGZ Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
Energietechnik und Bauhygiene (E+B)
Walchestrasse 31, Postfach 3251
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch/ugz-baubewilligungsverfahren
Projektzuständigkeit Hansruedi Hug



Stadt Zürich

Amt für Hochbauten

AHB Amt für Hochbauten Stadt Zürich
Fachstelle Energie + Gebäudetechnik
Lindenhofstrasse 21, Postfach
8021 Zürich
www.stadt-zuerich.ch/hbd
Projektzuständigkeit Werner Kälin

Auftragnehmer und Verfasser



Lemon Consult GmbH
Hofstrasse 1, 8032 Zürich
www.lemonconsult.ch
Email menard@lemonconsult.ch
Projektzuständigkeit Martin Ménard

Bezug des Berichtes

Baudirektion Kanton Zürich
AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
Abteilung Energie
Stampfenbachstrasse 12, Postfach

Preis Fr. 25.–

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Abkürzungsverzeichnis	6
Symbolverzeichnis	6
1. Einleitung	7
2. Methodisches Vorgehen	8
2.1. Überblick	8
2.2. Basismodul	8
2.3. Raummodule	8
2.4. Sonnen- und Blendschutzsysteme	10
2.5. Simulationsprogramm - IDA-ICE	10
2.6. Beurteilungskriterien	10
3. Berechnungsgrundlagen	12
3.1. Basismodul	12
3.2. Raummodule	12
3.3. Fenster- und Sonnenschutzsysteme	17
4. Resultate	22
4.1. Raummodul 1 (RM1)	22
4.1. Raummodul 2 (RM2)	27
4.2. Raummodul 3 (RM3)	29
4.3. Raummodul 4 (RM4)	32

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	34
5.1. Wesentliche Erkenntnisse	34
5.2. Empfehlungen	35
6. Quellenverzeichnis	36

Zusammenfassung

Ausgangslage

In Bürogebäuden wird der aussen liegende Sonnenschutz im Winter oft auch als Blendschutz eingesetzt. Dadurch werden weniger passive Solargewinne erzielt und der Heizwärmebedarf steigt an. Es wird vermutet, dass durch einen internen Blendschutz, der im Winter anstelle des externen Sonnenschutzes eingesetzt wird, der Heizwärmebedarf in relevantem Ausmass gesenkt werden kann.

Zielsetzung

Mittels thermischen Gebäudesimulationen sollen unterschiedliche Sonnen- und Blendschutzsysteme untersucht und bezüglich eines optimalen Verhältnisses zwischen dem jährlichen Energiebedarf für Heizwärme, Beleuchtung und Klimakälte sowie des thermischen Komforts im Sommer beurteilt werden.

Dabei sollen insbesondere Einflussfaktoren wie Fassadenorientierung, Fensteranteil, Wärmedämm-Standard der Fassade (U-Werte von Brüstung, Sturz und Fenster), Konstruktionsweise und Wärmespeicherfähigkeit, Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) von Verglasung und Sonnenschutzsystem sowie die Möglichkeiten der Sonnenschutzsteuerung berücksichtigt werden.

Darauf basierend soll schlüssig entschieden werden können, ob bei allen klimatisierten Gebäuden die Auflage „einen internen Blendschutz installieren zu müssen“ gerechtfertigt ist.

Neben der zentralen Fragestellung nach dem Nutzen eines internen Blendschutzes soll eine Reihe von weiteren Fragen bezüglich der optimalen thermischen, optischen und steuerungstechnischen Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen untersucht werden.

Wesentliche Erkenntnisse

Die Installation eines internen Blendschutzes zusätzlich zum aussen liegenden Sonnenschutz kann in einem typischen Büroraum mit einem Fensteranteil von

> 40%, alten Fenstern und hohen Fassaden U-Werten eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von 6 – 10 kWh/m²a bewirken. Der interne Blendschutz sollte idealerweise von unten nach oben hochgefahren werden können und den oberen Bereich des Fensters zur besseren Solarwärme- und Tageslichtnutzung nicht abdecken.

Voraussetzung für einen effizienten Einsatz sind eine korrekte Abstimmung von Sonnenschutz-, Blendschutz- und Beleuchtungssteuerung. In der Praxis dürfte dieses – automatisch oder manuell geregelte - Zusammenspiel von drei Systemen keine leichte Aufgabe darstellen.

Nur ein beschränktes Einsparpotential besteht in Büros an der Nord-, West- und Ostfassade, an Südfassaden, die durch Nachbargebäude oder Topografie im Winter massgeblich verschattet werden, bei Bürogebäuden, die dank energetischer Erneuerungsmassnahmen bereits einen stark reduzierten Heizwärmebedarf aufweisen sowie bei Neubauten, die bereits einen hohen Wärmedämmstandard erfüllen.

Das Energiesparpotential eines internen Blendschutzes ist kleiner als vermutet, weil in Büroräumen direkte Sonneneinstrahlung auch im Winter rasch zu hohen Raumtemperaturen führen kann. Der externe Sonnenschutz muss daher oft auch an kalten Tagen zur Reduktion der Solargewinne eingesetzt werden. Zusätzliche Solargewinne durch einen internen Blendschutz sind daher selten erwünscht. Der Fokus sollte deshalb auf die Optimierung des externen Sonnenschutzes gerichtet werden.

Ein bezüglich Energieeffizienz und thermischer Behaglichkeit optimales Sonnenschutzsystem hat in jeder Stellung einen möglichst hohen Lichttransmissionsgrad und einen in einem weiten Bereich variablen g-Wert. Direkte Sonneneinstrahlung muss bei jedem Sonnenstand zu 100% vermieden werden können. Diesen Eigenschaften kommen aussen liegende Rafflamellenstoren mit einer hellen Lamellenfarbe und automatischer Nachführung des Lamellenwinkels am nächsten.

Bei einer gesamtenergetischen Beurteilung, gemessen an der gewichteten Summe von Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung, fällt die Beleuchtungsenergie umso stärker ins Gewicht, je besser die Fassade gedämmt ist. Daher kommt im

Büroneubau der Tageslichtnutzung, und damit der Optimierung von Sonnenschutz- und Beleuchtungssteuerung, eine grössere Bedeutung zu, als in der heutigen Planungspraxis üblicherweise berücksichtigt wird. Die bisher verbreitete Fokussierung auf die Reduktion des Heizwärmebedarfs muss daher vermehrt auch auf die Themen Tageslicht und Beleuchtungsenergie ausgedehnt werden.

Empfehlungen

Aus den Ergebnissen der thermischen Simulationen lassen sich die folgenden Empfehlungen ableiten:

1. Eine generelle Vorschrift zur Installation eines internen Blendschutzes zusätzlich zum aussen liegenden Sonnenschutz bei klimatisierten Gebäuden scheint kaum gerechtfertigt. Empfehlenswert ist aber die Installation eines internen Blendschutzes an schlecht gedämmten Südfassaden mit hohen Fensteranteilen und ohne Verschattung durch Nachbargebäude.
2. Es bleibt noch zu prüfen, ob die Zusatzinvestition für einen internen Blendschutz nicht mit anderen, regelungstechnisch weniger aufwendigen Massnahmen, z.B. dem Ersatz bestehender Fenster mit 3-fach statt mit 2-fach Verglasung, zu einem besseren Kosten-Nutzen-Verhältnis führt.
3. Die Simulationen lassen vermuten, dass durch eine Rafflamellenstore mit automatischer Nachführung des Lamellenwinkels ein erhebliches Potential zur Reduktion von Beleuchtungsenergie und Klimakälte erschlossen werden könnte. Allerdings stellt die dazu notwendige genaue Abstimmung von Sonnenschutz- und Beleuchtungssteuerung in der Praxis eine grosse Herausforderung dar. Entsprechende Erfahrungen sollten im Rahmen eines Messprojekts unter realen Betriebsbedingungen gesammelt werden.
4. Das für die thermischen Simulationen verwendete einfache Modell für die Sonnenschutzsteuerung sollte in einer Nachfolgestudie weiter verfeinert werden, z.B. durch eine automatische und in weiten Bereichen stufenlose Anpassung von g-Wert und Solartransmissionsgrad in Funktion von Globalstrahlung und Sonnenwinkel.

5. Dem Thema Tageslichtnutzung und Beleuchtungsenergie sollte bei der Suche nach zukunftsfähigen, den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft angepassten Bürokonzepten vermehrt Beachtung geschenkt werden.

Abkürzungsverzeichnis

2-WSG	2-fach Wärmeschutzverglasung
3-WSG	3-fach Wärmeschutzverglasung
KVS	Konstanter Volumenstrom
RM1, 2, ...	Raummodul 1, Raummodul 2,
TABS	Thermoaktives Bauteilsystem
TSD	Trittschalldämmung
UB	Unterlagsboden
WRG	Wärmerückgewinnung

Symbolverzeichnis

g	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
g_{tot}	Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasung und Sonnenschutz
$\rho_{e,B}$	Solarreflexionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung
ρ_v	Lichtreflexionsgrad der Verglasung
$\rho_{v,B}$	Lichtreflexionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung
$\tau_{e,B}$	Solartransmissionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung
τ_v	Lichttransmissionsgrad der Verglasung
$\tau_{v,B}$	Lichttransmissionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung
U_g	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

1. Einleitung

Ausgangslage

In Bürogebäuden wird der aussen liegende Sonnenschutz im Winter oft auch als Blendschutz eingesetzt. Dadurch werden weniger passive Solargewinne erzielt und der Heizwärmebedarf steigt an.

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht die Frage, ob durch einen internen Blendschutz, der im Winter anstelle des externen Sonnenschutzes eingesetzt wird, der Heizwärmebedarf in relevantem Ausmass gesenkt werden kann.

Die Untersuchung zielt vor allem auf bestehende Bürogebäude mit Baujahr vor 1990 und damit auf Gebäude mit einem verhältnismässig hohen Heizwärmebedarf ab. Zum Vergleich wird als Extremvariante auch ein neues Bürogebäude mit einer dem MINERGIE-P Standard entsprechenden Bauhülle untersucht.

Neben der zentralen Fragestellung nach dem Nutzen eines internen Blendschutzes wird eine Reihe von weiteren Fragen bezüglich der optimalen thermischen, optischen und steuerungstechnischen Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen behandelt.

Zielsetzung

Mittels thermischen Gebäudesimulationen sollen unterschiedliche Sonnen- und Blendschutzsysteme untersucht und bezüglich eines optimalen Verhältnisses zwischen dem jährlichen Energiebedarf für Heizwärme, Beleuchtung und Klimakälte sowie des thermischen Komforts im Sommer beurteilt werden.

Dabei sollen insbesondere Einflussfaktoren wie Fassadenorientierung, Fensteranteil, Wärmedämm-Standard der Fassade (U-Werte von Brüstung, Sturz und Fenster), Konstruktionsweise und Wärmespeicherfähigkeit, Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) von Verglasung und Sonnenschutzsystem sowie die Möglichkeiten der Sonnenschutzsteuerung berücksichtigt werden.

Darauf basierend soll schlüssig entschieden werden können, ob bei allen klimatisierten Gebäuden die Auflage „einen internen Blendschutz installieren zu müssen“ gerechtfertigt ist.

2. Methodisches Vorgehen

2.1. Überblick

Die Parameteruntersuchung wird anhand von thermischen Simulationen eines typischen Büroraums durchgeführt. Die Randbedingungen für die Simulationen werden auf drei Ebenen definiert (siehe Figur 1):

- Basismodul: Parameter, die für alle Varianten gleich sind (siehe Kap, 3.1).
- Raummodule: Angaben zu Baukonstruktion und Haustechnik, die vom Gebäudestandard (z.B. typischer Bürobau mit Baujahr vor 1990 oder MINERGIE-P Bürogebäude) abhängen (siehe Kap, 3.2).
- Sonnen- und Blendschutzsysteme mit ihren thermischen, optischen und regeltechnischen Parametern (siehe Kap.3.3).

2.2. Basismodul

Das Basismodul entspricht einem 2-Personen-Büro mit einer Aussenwand. Eckbüros und Büros mit Dach werden nicht untersucht. Der Grundriss des Basismoduls misst 4.0 x 5.4 m (Raumtiefe). Dies entspricht einem 3 x 4-Achsen-Layout mit dem im Bürobau häufig verwendeten Rastermass von 1.35 m pro Achse. Die lichte Raumhöhe hängt vom Raummodul ab.

Der Fensteranteil der Fassade wird variiert (40%, 60% und 80%), ebenso wie die Fassadenorientierung (Süd, West, Nord, Ost).

2.3. Raummodule

Es werden vier verschiedene Raummodule, die vier unterschiedliche Gebäudestandards darstellen, untersucht:

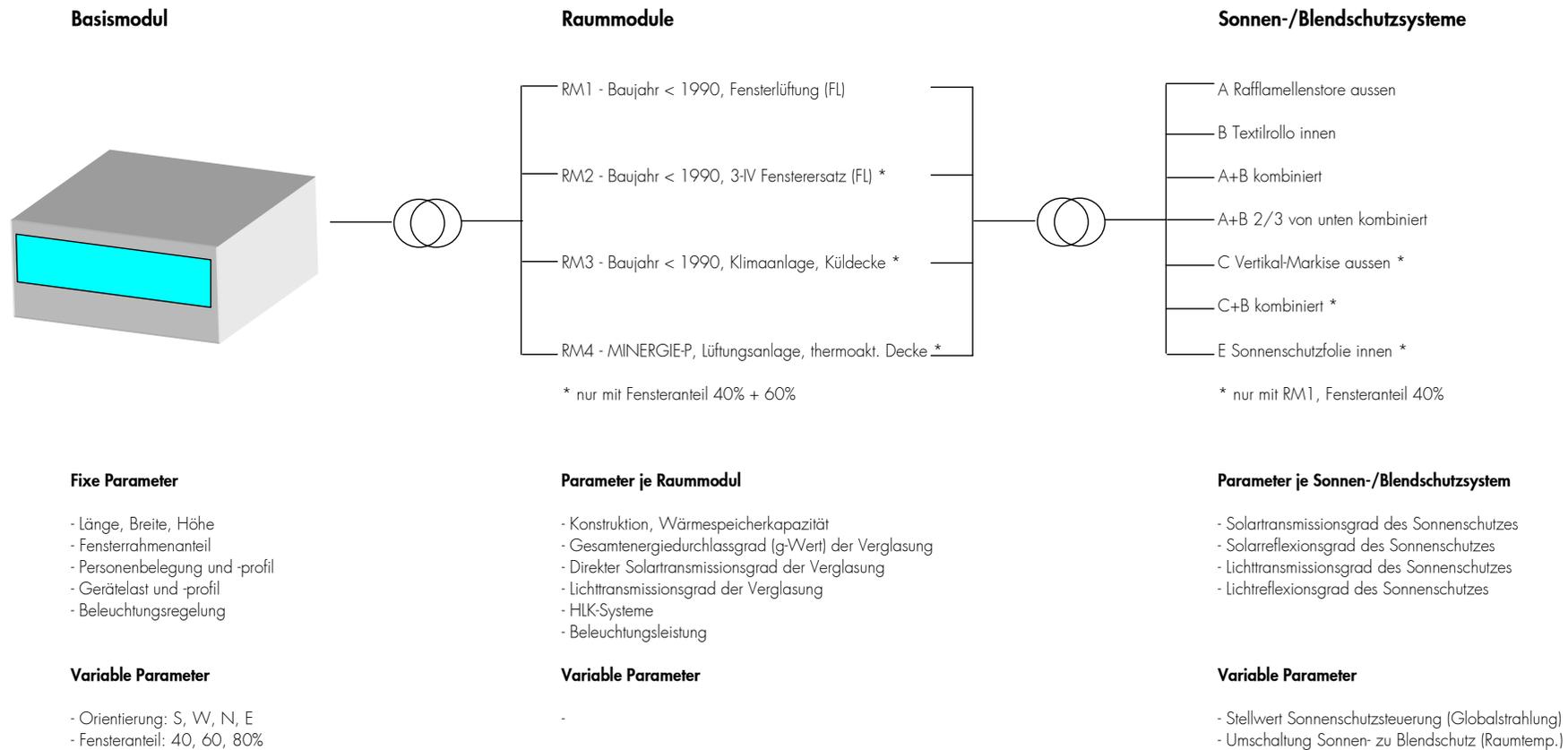
- RM1 Bürogebäude mit Baujahr vor 1990
- RM2 Bürogebäude mit Baujahr vor 1990 nach Fensterersatz mit 3-fach Wärmeschutzverglasung
- RM3 Bürogebäude mit Baujahr vor 1990 mit Klimaanlage und Kühldecke
- RM4 MINERGIE-P-Bürogebäude mit Lüftungsanlage und Bauteilaktivierung

Das erste Raummodul (RM1) mit Baujahr vor 1990 stellt ein typisches nicht-klimatisiertes Bürogebäude der 70er und 80er Jahre dar. Die Fassade ist nur wenig gedämmt. Gelüftet wird über die Fenster, geheizt mit Radiatoren an der Brüstungsfassade. Die Betondecke ist verputzt und steht als Speichermasse voll zur Verfügung.

Das zweite Raummodul (RM2) ist identisch mit dem ersten, mit Ausnahme der Fenster, die durch hochisolierende Fenster in MINERGIE-P Qualität ersetzt werden.

Das dritte Raummodul (RM3) stellt ein typisches klimatisiertes Bürogebäude der 70er und 80er Jahre dar. Die Qualität der Fassade entspricht derjenigen von RM1, aber anstelle der Fensterlüftung wird der Raum mechanisch belüftet und zusätzlich über eine Kühldecke gekühlt.

Das vierte Raummodul (RM4) entspricht den Anforderungen an ein MINERGIE-P-Gebäude. Der Raum wird mechanisch belüftet und über die thermoaktive Decke gekühlt.



Figur 1. Übersicht der untersuchten Varianten.

2.4. Sonnen- und Blendschutzsysteme

Untersucht werden die folgenden Sonnen- und Blendschutzsysteme:

- A Rafflamellenstore aussen mit 45° Lamellenstellung
- B Textilrollo innen, helles, dichtes Gewebe
- B 2/3 Textilrollo, der nur die unteren zwei Drittel des Fensters abdeckt
- A + B Kombination von externer Rafflamellenstore (A) mit internem Textilrollo (B)
- A + B2/3 Kombination von externer Rafflamellenstore (A) mit internem Textilrollo, der nur die unteren zwei Drittel des Fensters abdeckt (B 2/3)
- C Vertikalmarkise aussen, dunkles, dichtes Gewebe
- E Sonnenschutzfolie innen

Die zugrunde gelegten optischen und thermischen Eigenschaften der Sonnen- und Blendschutzsysteme einzeln und in Kombination mit der Verglasung des entsprechenden Raummoduls sind in Kap. 3.3 beschrieben.

2.5. Simulationsprogramm - IDA-ICE

Um das thermische Verhalten und den Energiebedarf des Büroraums im Jahresverlauf zu ermitteln, werden thermische Simulationen mit dem Programm IDA-ICE berechnet. IDA ist ein detailliertes thermisches Simulationsprogramm, das die einschlägigen internationalen Validierungstests erfüllt (z.B. BESTEST, ETNA, EN 13791, RADTEST etc.) [EQUA 2008].

Das Programm verfügt zudem über ein detailliertes Tageslichtmodell. Dies ist für die Zielsetzung dieser Studie von entscheidender Bedeutung, da das Zusammenspiel zwischen Sonnenschutz- und Beleuchtungssteuerung und den dadurch massgeblich beeinflussten jährlichen Heizwärme- und Klimakältebedarf nur bei

korrekter Modellierung des im Raum verfügbaren Tageslichts realistisch abgebildet werden kann.

Der elektrische Energiebedarf für die Beleuchtung wird in IDA unter Berücksichtigung des verfügbaren Tageslichts berechnet. Danach wird die Beleuchtung nur eingeschaltet, wenn nicht genügend Tageslicht verfügbar ist. Der Sollwert (Wartungswert) der Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsfläche beträgt für Büroräume 500 lx.

Das Programm kann die Tageslichtstärke abhängig von der durch Verglasung und Sonnenschutz abgeminderten diffusen und direkten Solarstrahlung unter Berücksichtigung der Reflexionsgrade der Raumbooberflächen an jedem beliebigen Punkt im Raum berechnen.

Massgebend für die Abminderung der Solarstrahlung sind der g-Wert und der direkte Solartransmissionsgrad (kurzwellige Strahlung) der Verglasung bzw. der Kombination von Verglasung und Sonnenschutz.

Die in den Raum eintretende kurzwellige Solarstrahlung (in Watt) wird mit einem konstanten Faktor von 118 lm/W in einen Tageslichtfluss umgerechnet, der über die Reflexionsgrade der Raumbooberflächen und den standortspezifischen Raumwinkeln zum Luxwert auf der Arbeitsfläche führt. Es werden die folgenden Reflexionsgrade angenommen: Decke 0.7, Wände und Boden 0.5. Als Position für die Tageslichtberechnung wird eine Arbeitsfläche auf 0.75m Höhe, raummittig, im Abstand von 1.5 m von der Fassade definiert.

2.6. Beurteilungskriterien

Mit den thermischen Simulationen werden für jede Variante die folgenden Beurteilungskriterien berechnet:

- Jährlicher Heizwärmebedarf
- Jährlicher Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung; dieser wird im Bericht auch als Beleuchtungsenergie bezeichnet

- Jährlicher Klimakältebedarf (nur für klimatisierte Raummodule RM3 und RM4)
- Stunden pro Jahr mit Raumtemperaturen über 26.5°C (nur für nicht klimatisierte Raummodule RM1 und RM2); dies wird im Bericht auch als Überhitzung bezeichnet

Bei den klimatisierten Raummodulen RM3 und RM4 wird der Energiebedarf für Heizung, Beleuchtung und Kühlung zu einer gewichteten Energiekennzahl aufsummiert. Dabei werden Nutzungsgrade und Gewichtungsfaktoren gemäss MINERGIE Nutzungsreglement verwendet:

	Endenergie	Nutzungsgrad η	Gewichtungsfaktor g
Heizwärme	Gas	0.95 (kondensierend)	1.0
Beleuchtung	Elektrizität	1.0	2.0
Klimakälte	Elektrizität	3.0	2.0

Tabelle 1: Nutzungsgrade und Gewichtungsfaktoren für die gewichtete Energie gemäss MINERGIE

Die für die Überhitzung massgebende obere Grenztemperatur von 26.5°C beruht auf den Anforderungen an die thermische Behaglichkeit gemäss SIA Norm 382/1, Ziffer 2.2.3.7 [SIA 382/1:2007].

Bei Gebäuden mit Lüftungs- und Klimaanlage (Raummodule RM3 und RM4) ist gemäss SIA 382/1, Ziffer 4.4.4 eine Kühlung notwendig, wenn die obere Grenztemperatur während mehr als 100 h/a überschritten wird.

Bei bestehenden Gebäuden mit Fensterlüftung (Raummodule RM1 und RM2) ist gemäss [KBOB 2008] aufgrund von Messungen in Büroräumen eine Kühlung notwendig, wenn die obere Grenztemperatur während mehr als 400 h/a überschritten wird.

3. Berechnungsgrundlagen

3.1. Basismodul

Das Basismodul besteht aus einem 2-Personen-Büro mit einer Aussenwand. Die wichtigsten Parameter sind in der Tabelle angegeben. Fassadenorientierung und Fensteranteil der Fassade werden variiert.

Parameter

Klimastation	Zürich Kloten DRY
Raumtiefe	5.4 m
Raumbreite	4.0 m
Raumhöhe	<i>abhängig von Raummodul</i>
Konstruktion der Bauteile	<i>abhängig von Raummodul</i>
Fensteranteil der Fassade	40%, 60%, 80%
Fassadenorientierung	Süd West, Nord, Ost
Fenster-Rahmenanteil	20%
Anzahl Personen	2
Personenprofil	SIA 2024: 3.1 Einzel-/Gruppenbüro
Gerätelasten	7 W/m ²
Gerätelastprofil	SIA 2024: 3.1 Einzel-/Gruppenbüro
Beleuchtungsleistung	15.9 W/m ² , bei RM4 11.6 W/m ²
Wartungswert Beleuchtung	500 lx
Tageslichtregelung	Automatische Ein- und Ausschaltung
Reflexionsgrade	Decke 0.7, Wände und Boden 0.5

Die Konstruktion der Bauteile und die damit zusammenhängenden Parameter wie U-Werte, g-Werte und Wärmespeicherkapazitäten werden über die Raummodule definiert ebenso wie die Annahmen zu Lüftungs-, Heizungs- und Klimaanlage.

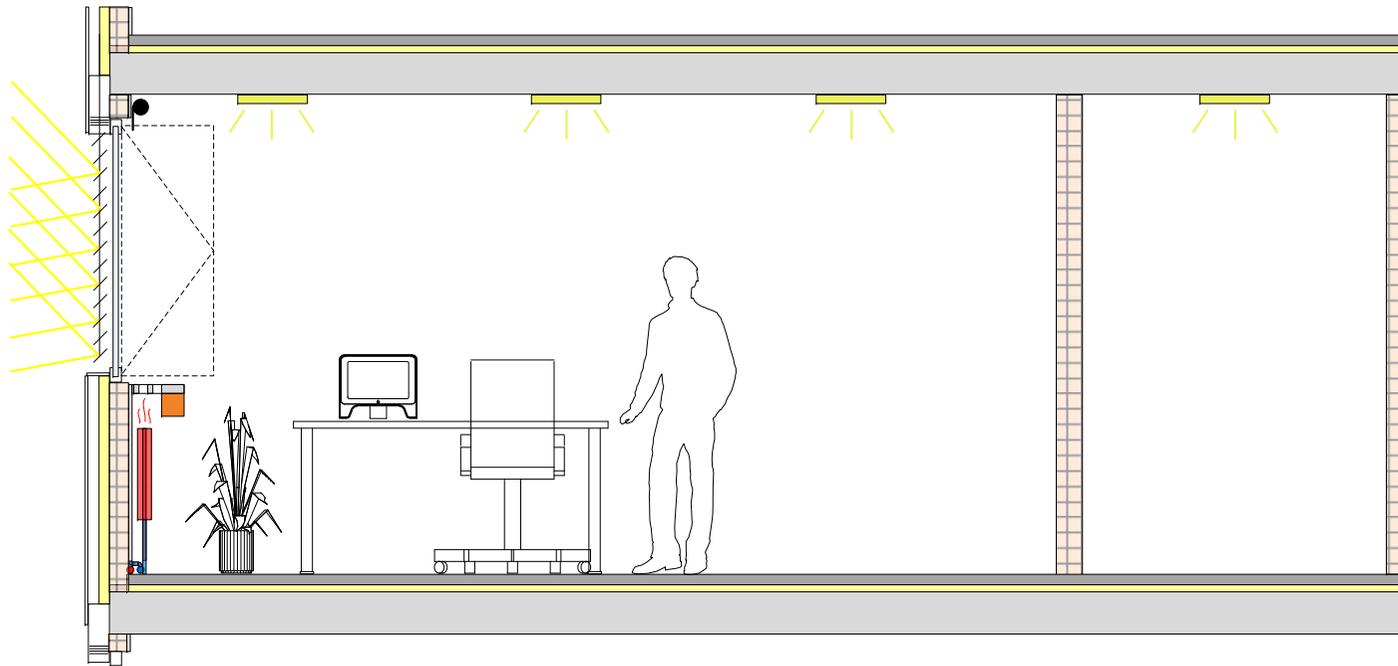
3.2. Raummodule

Die konstruktiven und haustechnischen Merkmale der vier Raummodule sind auf den folgenden Seiten grafisch dargestellt. Die wichtigsten Parameter sind zudem in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

	U-Wert Brüstung W/m ² K	U-Wert Fenster W/m ² K	g-Wert Fenster -	Wärmespeicher- kapazität Wh/m ² K	Lüftung / Kühlung
RM1	0.6	1.8	0.6	ca. 50	Fensterlüftung
RM2	0.6	0.8	0.5	ca. 50	Fensterlüftung
RM3	0.6	1.8	0.6	ca. 30	Klimaanlage
RM4	0.12	0.8	0.5	ca. 40	Lüftungsanlage, TABS

Tabelle 2: Parameter Raummodule

RM1: Baujahr < 1990, Fensterlüftung



Konstruktion:

Massivbau mit Betonstützen und Flachdecken

Decke: 6 cm UB, 4 cm TSD, 24 cm Beton, 1 cm Putz

Lochfassade: 12.5 cm Backstein, 6 cm Isolation

Innenwände: 12.5 cm Backstein, verputzt

Fassade:

U-Wert Aussenwand/Brüstung: 0.6 W/m²K

U-Wert Fenster (Glas und Rahmen): 1.8 W/m²K

g-Wert Verglasung: 0.60

τ_e -Verglasung: 0.49

Gebäudetechnik:

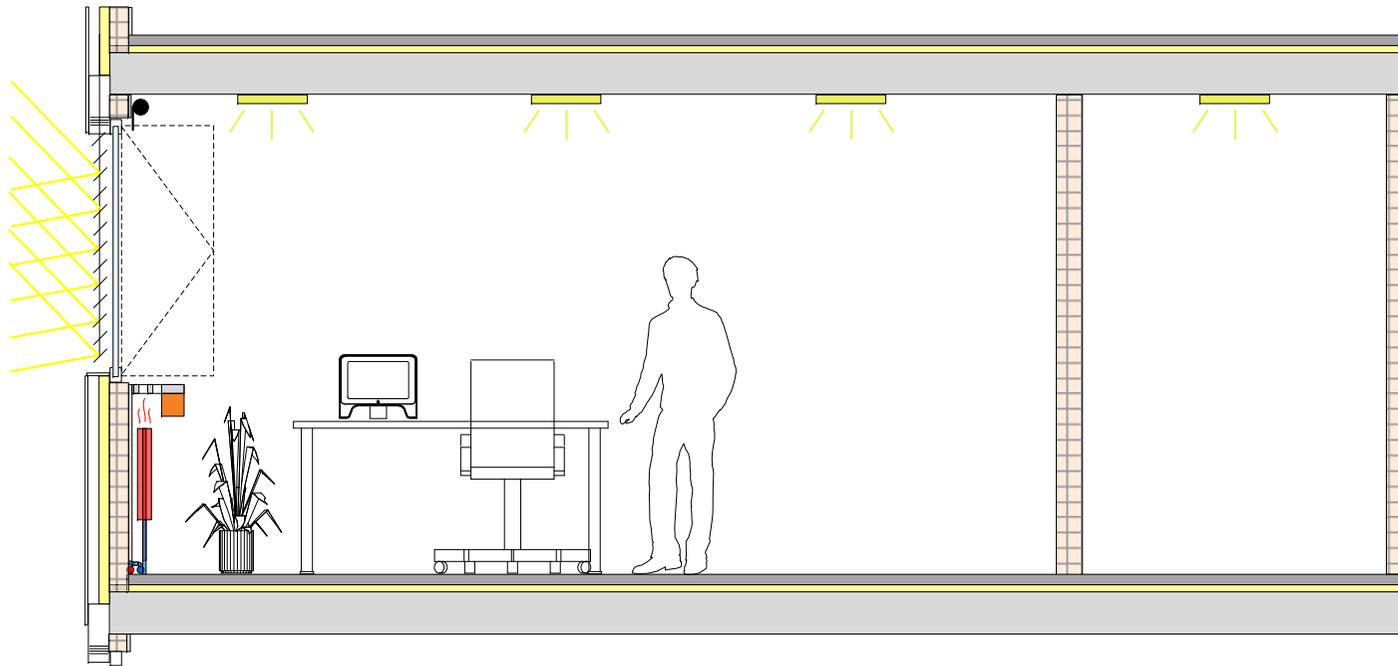
Lüftung: Fensterlüftung manuell

Deckenleuchten: 15.9 W/m²

Heizung: Radiatoren

Kühlung: keine

RM2: Baujahr < 1990, Fensterersatz mit 3-fach Wärmeschutzverglasung, Fensterlüftung



Konstruktion:

Massivbau mit Betonstützen und Flachdecken

Decke: 6 cm UB, 4 cm TSD, 24 cm Beton, 1 cm Putz

Lochfassade: 12.5 cm Backstein, 6 cm Isolation

Innenwände: 12.5 cm Backstein, verputzt

Fassade:

U-Wert Aussenwand/Brüstung: 0.6 W/m²K

U-Wert Fenster (Glas und Rahmen): 0.8 W/m²K

g-Wert Verglasung: 0.50

τ_e Verglasung: 0.42

Gebäudetechnik:

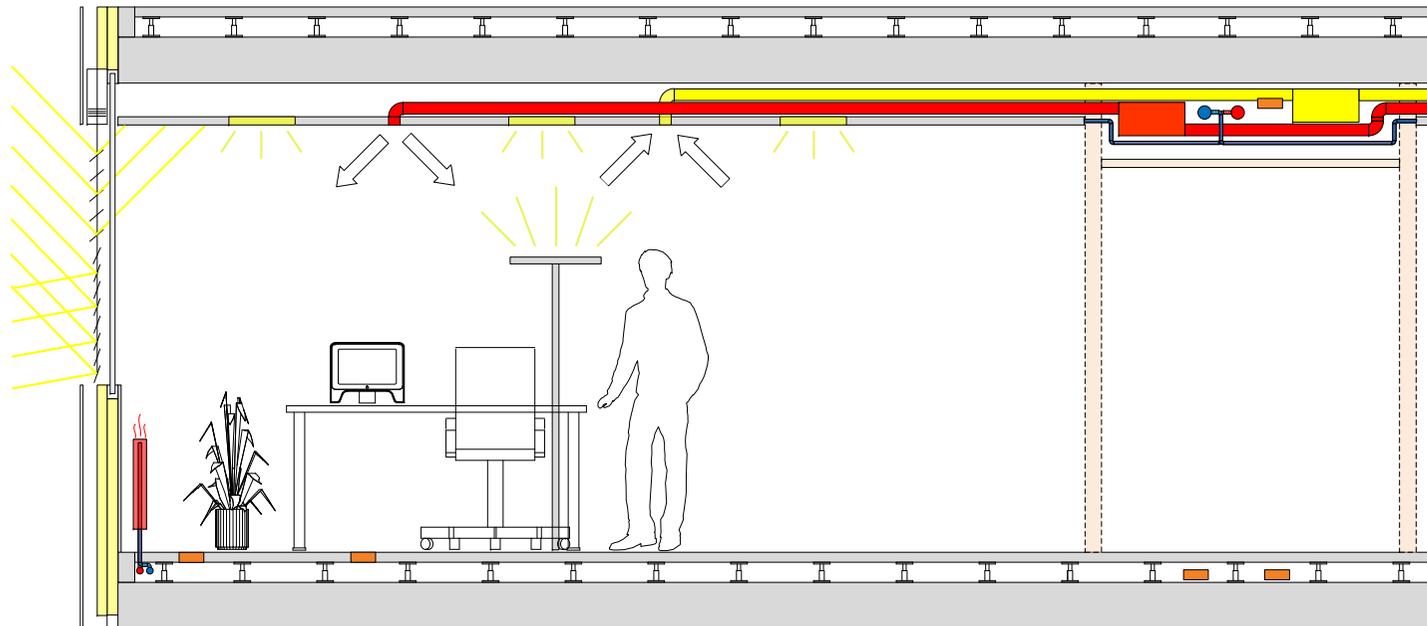
Lüftung: Fensterlüftung manuell

Deckenleuchten: 15.9 W/m²

Heizung: Radiatoren

Kühlung: keine

RM3: Raummodul Baujahr < 1990, Klimaanlage und Kühldecke



Konstruktion:

Massivbau mit Betonstützen und Flachdecken

Decke: 6 cm UB, 4cm TSD, 24 cm Beton,
Abhangdecke, 30 cm

Vorhangfassade, hinterlüftet, ca. 12 cm Isolation

Innenwände: Einfachständerwand, doppelt
beplankt

Fassade:

U-Wert Aussenwand/Brüstung: $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert Fenster (Glas und Rahmen): $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

g-Wert Verglasung: 0.6

τ_e Verglasung: 0.49

Gebäudetechnik:

Lüftung: Klimaanlage

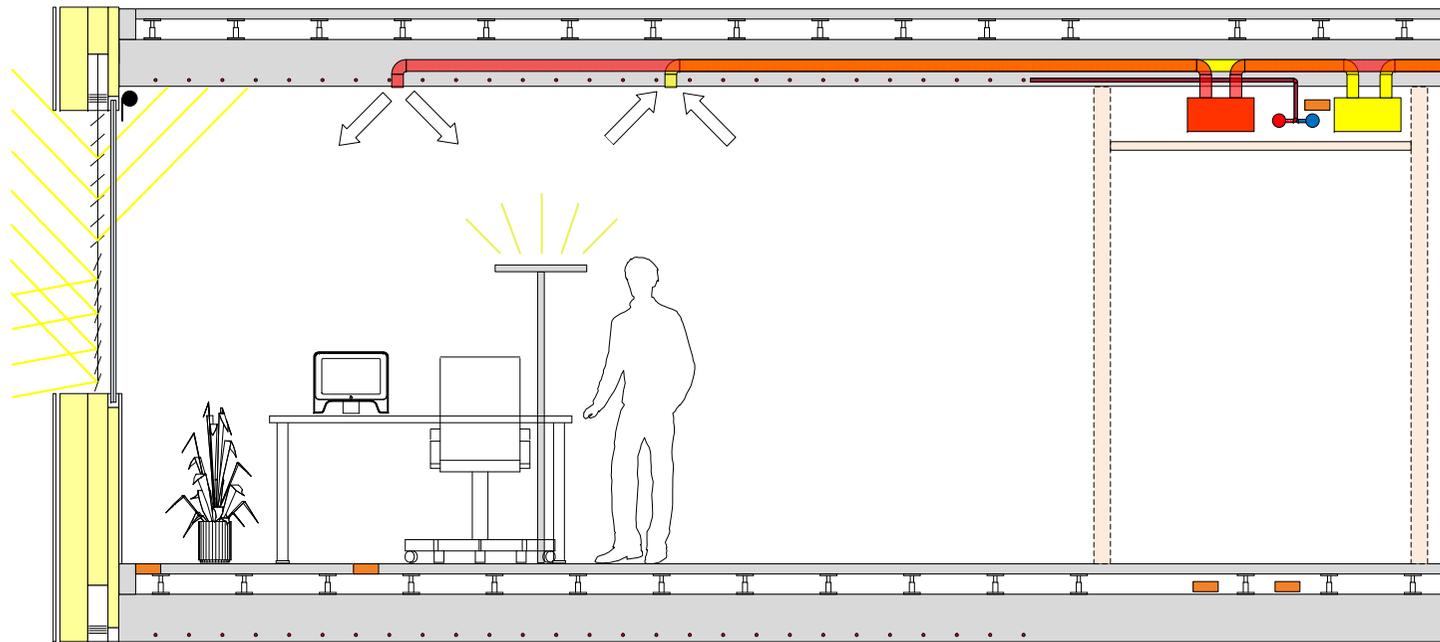
Zuluft: $5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h KVS}$, 20°C , WRG 75%

Deckenleuchten: 15.9 W/m^2

Heizung: Radiatoren

Kühlung: Kühldecke

RM4: MINERGIE-P, Lüftungsanlage, Bauteilaktivierung (TABS)



Konstruktion:

Massivbau mit Betonstützen und Flachdecken

Decke: 15 cm Hohlraumboden, 24 cm Beton

Modulfassade, hinterlüftet, ca. 28 cm Isolation

Innenwände: Einfachständerwand, doppelt beplankt

Fassade:

U-Wert Aussenwand/Brüstung: $0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-Wert Fenster (Glas und Rahmen): $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

g-Wert Verglasung: 0.50

τ_e Verglasung: 0.42

Gebäudetechnik:

Lüftung: mechanisch

Zuluft: $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ KVS, Bypass 18°C , WRG 85%

Stehleuchten: 11.6 W/m^2

Heizung/Kühlung: TABS

3.3. Fenster- und Sonnenschutzsysteme

Verglasungen

Bei den Verglasungen werden zwei Typen untersucht: Eine ältere 2-fach Wärmeschutzverglasung mit Luft im Scheibenzwischenraum – typisch für bestehende Bürobauten mit Baujahr vor 1990 (RM1 und RM3) und eine hoch isolierende 3-fach Wärmeschutzverglasung – typisch für MINERGIE-P Gebäude sowie den energieoptimierten Fensterersatz bei bestehenden Bauten (RM2 und RM4). Die relevanten physikalischen Parameter sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Verglasungstypen		2-WSG Luft	3-WSG Argon
Aufbau		4/16/4	4/12/4/12/4
U-Wert	W/m ² K	1.6	0.6
g-Wert	-	0.6	0.5
q _i (sekundäre Wärmeabgabe)	-	0.11	0.08
ρ (Reflexionsgrad aussen)	-	0.17	0.19
τ _e (Solartransmissionsgrad)	-	0.49	0.42
τ _v (Lichttransmissionsgrad)	-	0.7	0.7

Tabelle 3: Parameter der Verglasungstypen

Sonnen- und Blendschutzsysteme

Die zugrunde gelegten optischen Parameter der Sonnen- und Blendschutzsysteme sind auf der folgenden Seite dargestellt.

Die Bandbreite der auf dem Markt verfügbaren Transmissions-, Reflexions- und Absorptionsgrade ist bei allen Sonnen- und Blendschutzsystemen gross. Für die vorliegenden Studie wurde eine Rafflamellenstore mit einer hellen Lamellenfarbe mit dem Farbcode VSR 901 ausgewählt [Griesser 2008]. Ein Vergleich der Auswirkungen verschiedener Lamellenfarben ist in Figur 20 und Figur 24 dargestellt.

Bei der Rafflamellenstore (A) wird im heruntergelassenen Zustand immer von einer 45°-Stellung der Lamelle ausgegangen.

Beim internen Textilrollo (B) wird ein helles, dichtes Gewebe vorausgesetzt, das einen möglichst grossen Teil der Solarstrahlung wieder nach aussen reflektiert. Die optischen Gewebeeigenschaften entsprechen dem Produkt Office 2121. Zudem wird eine Variante mit einem von unten nach oben einsetzbaren Textilrollo untersucht, der nur zwei Drittel der Glasfläche abdeckt. Im oberen Drittel scheint die Sonne ungehindert in den Raum, wodurch im Winter eine bessere Tageslichtnutzung und höhere passive Solargewinne erzielt werden können.

Die optischen Eigenschaften der Vertikalmarkise (C) entsprechen dem Produkt Soltis 2011.

Kombination von Sonnenschutz und Verglasung

Die Berechnung von Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert), Solar- und Lichttransmissionsgrad der Sonnen- und Blendschutzsysteme in Kombination mit einer Verglasung erfolgt gemäss [EN 13363-1]. Dabei wird eine vereinfachte Berechnung auf der Grundlage des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) und des Gesamtenergiedurchlassgrads (g-Wert) der Verglasung sowie des Lichttransmissions- und Lichtreflexionsgrads des Sonnen- oder Blendschutzsystems durchgeführt. Bei den Reflexionsgraden ist bei gewissen Systemen zwischen Aussen- und Innenseite zu unterscheiden.

Bei im Winkel von 45° geöffneten Lamellen müssen die folgenden korrigierten Werte für den Solartransmissions- und den Solarreflexionsgrad eingesetzt werden:

$$\tau_{e,B \text{ corr}} = 0.65 \cdot \tau_{e,B} + 0.15 \cdot \rho_{e,B}$$

$$\rho_{e,B \text{ corr}} = \rho_{e,B} \cdot (0.75 + 0.70 \cdot \tau_{e,B})$$

Die gemäss [EN 13363-1] berechneten thermischen und optischen Eigenschaften der untersuchten Sonnenschutzsysteme in Kombination mit den zwei Verglasungstypen sind in den beiden folgenden Tabellen dargestellt.

Kombination Sonnen- und Blendschutzsysteme mit 2-fach Verglasung

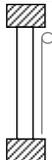
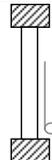
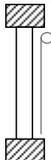
Berechnung nach EN 13363-1	A	B	B 2/3	A+B	A+B 2/3	C	C+B	E	E 2/3	
										
Typ / Produkt	Lamellenstore	Textil-Rollo	Textil-Rollo	Lamellenstore / Textil-Rollo	Lamellenstore / Textil-Rollo	Vert. Markise	Vert. Markise / Textil-Rollo	Folie	Folie	
Position	aussen	innen	innen, 2/3 unten	aussen / innen	aussen / innen, 2/3 unten	aussen	aussen / innen	innen	innen, 2/3 unten	
Farbe / Typ	hell	hell, dicht	hell, dicht	hell / hell, dicht	hell / hell, dicht	grau, dicht	grau, dicht / hell, dicht	dunkel	dunkel	
Anstellwinkel	45°	-	-	45° / -	45° / -	-	- / -	-	-	
Sonnenschutz Parameter	VSR 901	Office 2121	Office 2121			Soltis 2011				
$\tau_{e,B}$ (Ts)	-	0.00	0.07	0.38	0 / 0.07	0 / 0.38	0.09	0.09 / 0.07	0.04	0.36
$\rho_{e,B}$ (Rs)	-	0.74	0.75	0.50	0.74 / 0.75	0.74 / 0.5	0.42	0.42 / 0.75	0.85	0.57
$\alpha_{e,B}$ (As)	-	0.26	0.18	0.12	0.26 / 0.18	0.26 / 0.12	0.49	0.49 / 0.18	0.11	0.07
$\tau_{v,B}$ (Tv)	-	0.00	0.07	0.38	0 / 0.07	0 / 0.38	0.08	0.08 / 0.07	0.02	0.35
$\rho_{v,B}$ (Rs)		0.83								
$\alpha_{v,B}$ (As)		0.17								
$\tau_{e,B,corr}$	-	0.11	0.07	0.38	0.111 / 0.07	0.111 / 0.38	0.09	0.09 / 0.07	0.04	0.36
$\rho_{e,B,corr}$	-	0.56	0.75	0.50	0.555 / 0.75	0.555 / 0.5	0.42	0.42 / 0.75	0.85	0.57
$\alpha_{e,B,corr}$	-	0.33	0.18	0.12	0.334 / 0.18	0.334 / 0.12	0.49	0.49 / 0.18	0.11	0.07
$\tau_{v,B,corr}$	-	0.12								
System Parameter mit 2-VSG Glas										
G	W/m ² K	1.08	1.47	1.47	A + B	A + B	1.08	A + B	1.47	1.47
g_{tot}	-	0.11	0.32	0.41	0.112 / 0.32	0.112 / 0.41	0.12	0.115 / 0.32	0.29	0.39
τ_e	-	0.06	0.04	0.20	0.06 / 0.04	0.06 / 0.2	0.05	0.047 / 0.04	0.02	0.19
τ_v	-	0.10	0.06	0.29	0.096 / 0.06	0.096 / 0.29	0.06	0.06 / 0.06	0.02	0.27
Eingabeparameter IDA-ICE										
Multiplikator für g-Wert		0.19	0.53	0.68	0.19 / 0.53	0.19 / 0.68	0.19	0.19 / 0.53	0.48	0.65
Multiplikator für τ_e -Wert		0.12	0.08	0.41	0.12 / 0.08	0.12 / 0.41	0.10	0.1 / 0.08	0.05	0.40

Tabelle 4: Parameter der Sonnen- und Blendschutzsysteme in Kombination mit einer 2-fach Verglasung. Im Simulationsprogramm IDA-ICE müssen anstelle der absoluten optischen Systemparameter Multiplikatoren zur Berechnung der kombinierten Eigenschaften von Verglasung und Sonnen-/Blendschutzsystemen eingegeben werden (siehe unterste Zeilen).

Kombination Sonnen- und Blendschutzsysteme mit 3-fach Verglasung

Berechnung nach EN 13363-1	A	B	B 2/3	A+B	A+B 2/3	C	C+B	E	E 2/3	
Typ / Produkt	Lamellenstore	Textil-Rollo	Textil-Rollo	Lamellenstore / Textil-Rollo	Lamellenstore / Textil-Rollo	Vert. Markise	Vert. Markise / Textil-Rollo	Folie	Folie	
Position	aussen	innen	innen, 2/3 unten	aussen / innen	aussen / innen, 2/3 unten	aussen	aussen / innen	innen	innen, 2/3 unten	
Farbe / Typ	hell	hell, dicht	hell, dicht	hell / hell, dicht	hell / hell, dicht	grau, dicht	grau, dicht / hell, dicht	dunkel	dunkel	
Anstellwinkel	45°	-	-	45° / -	45° / -	-	- / -	-	-	
Sonnenschutz Parameter	VSR 901	Office 2121	Office 2121			Soltis 2011				
$\tau_{e,B}$ (Ts)	-	0.00	0.07	0.38	0 / 0.07	0 / 0.38	0.09	0.09 / 0.07	0.04	0.36
$\rho_{e,B}$ (Rs)	-	0.74	0.75	0.50	0.74 / 0.75	0.74 / 0.5	0.42	0.42 / 0.75	0.85	0.57
$\alpha_{e,B}$ (As)	-	0.26	0.18	0.12	0.26 / 0.18	0.26 / 0.12	0.49	0.49 / 0.18	0.11	0.07
$\tau_{v,B}$ (Tv)	-	0.00	0.07	0.38	0 / 0.07	0 / 0.38	0.08	0.08 / 0.07	0.02	0.35
$\rho_{v,B}$ (Rv)	-	0.83								
$\alpha_{v,B}$ (Av)	-	0.17								
$\tau_{e,B corr}$	-	0.11	0.07	0.38	0.111 / 0.07	0.111 / 0.38	0.09	0.09 / 0.07	0.04	0.36
$\rho_{e,B corr}$	-	0.56	0.75	0.50	0.555 / 0.75	0.555 / 0.5	0.42	0.42 / 0.75	0.85	0.57
$\alpha_{e,B corr}$	-	0.33	0.18	0.12	0.334 / 0.18	0.334 / 0.12	0.49	0.49 / 0.18	0.11	0.07
$\tau_{v,B corr}$	-	0.12								
System Parameter mit 3-WSG Glas										
G	0.51	0.58	0.58	A + B	A + B	0.51	A + B	0.58	0.58	
g_{lat}	-	0.08	0.31	0.37	0.078 / 0.31	0.078 / 0.37	0.07	0.074 / 0.31	0.29	0.36
τ_e	-	0.05	0.03	0.18	0.052 / 0.03	0.052 / 0.18	0.04	0.041 / 0.03	0.02	0.17
τ_v	-	0.10	0.06	0.29	0.097 / 0.06	0.097 / 0.29	0.06	0.06 / 0.06	0.02	0.27
Eingabeparameter IDA-ICE										
Multiplikator für g-Wert	0.16	0.62	0.74	0.16 / 0.62	0.16 / 0.74	0.15	0.15 / 0.62	0.57	0.71	
Multiplikator für τ_e -Wert	0.12	0.07	0.43	0.12 / 0.07	0.12 / 0.43	0.10	0.1 / 0.07	0.05	0.40	

Tabelle 5: Parameter der Sonnen- und Blendschutzsysteme in Kombination mit einer 3-fach Wärmeschutzverglasung. Im Simulationsprogramm IDA-ICE müssen anstelle der absoluten optischen Systemparameter Multiplikatoren zur Berechnung der kombinierten Eigenschaften von Verglasung und Sonnen-/Blendschutzsystemen eingegeben werden (siehe unterste Zeilen).

Einfluss der Lamellenfarbe auf die optischen Eigenschaften in Kombination mit 2-fach und 3-fach Verglasung

Berechnung nach EN 13363-1	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Typ / Produkt	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore
Position	aussen	aussen	aussen	aussen	aussen
Farbe	weiss	weiss	alu	beige	braun
Anstellwinkel	45°	45°	45°	45°	45°
Sonnenschutz Parameter	VSR 901	VSR 010	VSR 140	VSR 110	VSR 071
$\tau_{e,B}$ (Ts)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
$\rho_{e,B}$ (Rs)	-	0.74	0.79	0.54	0.31
$\alpha_{e,B}$ (As)	-	0.26	0.21	0.46	0.69
$\tau_{v,B}$ (Tv)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
$\rho_{v,B}$ (Rs)	-	0.83	0.70	0.53	0.32
$\alpha_{v,B}$ (As)	-	0.17	0.30	0.47	0.68
$\tau_{e,B,corr}$	-	0.11	0.12	0.08	0.05
$\rho_{e,B,corr}$	-	0.56	0.59	0.41	0.23
$\alpha_{e,B,corr}$	-	0.33	0.29	0.51	0.72
$\tau_{v,B,corr}$	-	0.12	0.11	0.08	0.05
System Parameter mit 2-WSG Glas					
G W/m^2K	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
$\tau_{e,B,edge}$ (Ts-Behang)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
g-Wert	-	0.11	0.11	0.11	0.11
τ_e	-	0.06	0.07	0.04	0.02
τ_v	-	0.10	0.08	0.06	0.04
Eingabeparameter IDA-ICE					
Multiplikator für g-Wert	0.19	0.19	0.19	0.18	0.18
Multiplikator für τ_e -Wert	0.12	0.13	0.09	0.05	0.01

Tabelle 6: Kombination einer Rafflamellenstore mit unterschiedlichen Lamellenfarben mit einer 2-fach Verglasung. Sonnenschutzparameter gemäss [Griesser 2008]. Der Vergleich der Ergebnisse ist Figur 20 dargestellt.

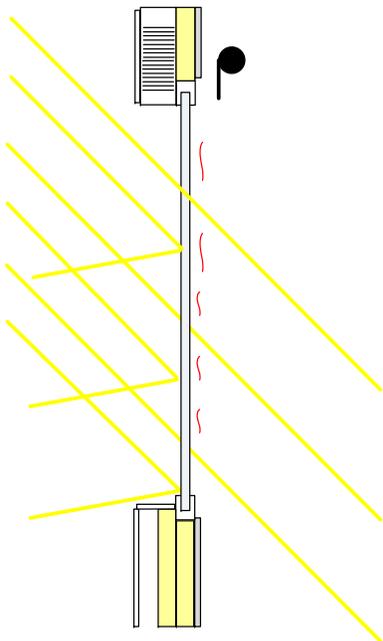
Berechnung nach EN 13363-1	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
Typ / Produkt	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore	Lamellenstore
Position	aussen	aussen	aussen	aussen	aussen
Farbe	weiss	weiss	alu	beige	braun
Anstellwinkel	45°	45°	45°	45°	45°
Sonnenschutz Parameter	VSR 901	VSR 010	VSR 140	VSR 110	VSR 071
$\tau_{e,B}$ (Ts)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
$\rho_{e,B}$ (Rs)	-	0.74	0.79	0.54	0.31
$\alpha_{e,B}$ (As)	-	0.26	0.21	0.46	0.69
$\tau_{v,B}$ (Tv)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
$\rho_{v,B}$ (Rs)	-	0.83	0.70	0.53	0.32
$\alpha_{v,B}$ (As)	-	0.17	0.30	0.47	0.68
$\tau_{e,B,corr}$	-	0.11	0.12	0.08	0.05
$\rho_{e,B,corr}$	-	0.56	0.59	0.41	0.23
$\alpha_{e,B,corr}$	-	0.33	0.29	0.51	0.72
$\tau_{v,B,corr}$	-	0.12	0.11	0.08	0.05
System Parameter mit 3-WSG Glas					
G W/m^2K	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51
$\tau_{e,B,edge}$ (Ts-Behang)	-	0.00	0.00	0.00	0.00
g-Wert	-	0.08	0.08	0.07	0.06
τ_e	-	0.05	0.06	0.04	0.02
τ_v	-	0.10	0.08	0.06	0.04
Eingabeparameter IDA-ICE					
Multiplikator für g-Wert	0.16	0.16	0.14	0.13	0.11
Multiplikator für τ_e -Wert	0.12	0.13	0.09	0.05	0.01

Tabelle 7: Kombination einer Rafflamellenstore mit unterschiedlichen Lamellenfarben mit einer 3-fach Verglasung. Sonnenschutzparameter gemäss [Griesser 2008]. Der Vergleich der Ergebnisse ist Figur 24 dargestellt.

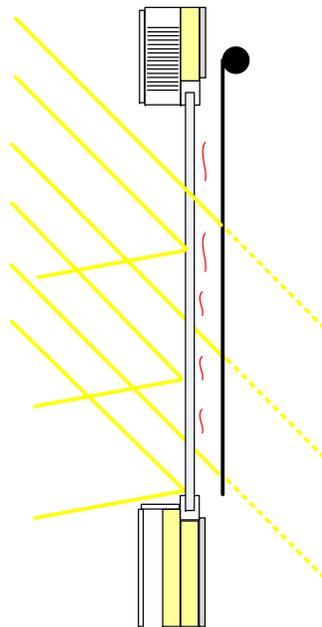
Steuerung von Sonnen- und Blendschutzsystemen

Der Sonnenschutz wird im IDA-ICE Fenstermodell bei einem Stellwert für die Globalstrahlung ($G_{i,max}$), gemessen an der Fensteraussenseite, aktiviert bzw. in Arbeitsstellung gefahren. Der Stellwert hängt vom g-Wert der Verglasung ab und wird in den Simulationen variiert. In der Praxis wird der Wert typischerweise auf rund 200 W/m^2 eingestellt.

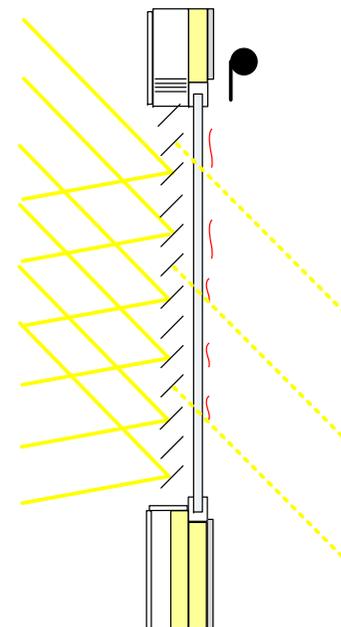
- Globalstrahlung an Fensteraussenseite $< G_{i,max}$
- Raumlufttemp. beliebig
- **>> keine Verschattung**



- Globalstrahlung an Fensteraussenseite $> G_{i,max}$
- Raumlufttemp. $< T_{i,max}$ °C
- **>> interner Blendschutz**



- Globalstrahlung an Fensteraussenseite $> G_{i,max}$
- Raumlufttemp. $> T_{i,max}$
- **>> externer Sonnenschutz**



$G_{i,max}$ Stellwert der Globalstrahlung zur Aktivierung von Sonnen- und Blendschutz
 $G_{i,max} = 100 \dots 500 \text{ W/m}^2$

$T_{i,max}$ Raumlufttemperatur zur Umschaltung von internem Blend- zu externem Sonnenschutz
 $T_{i,max} = 20 \dots 26 \text{ °C}$

4. Resultate

4.1. Raummodul 1 (RM1)

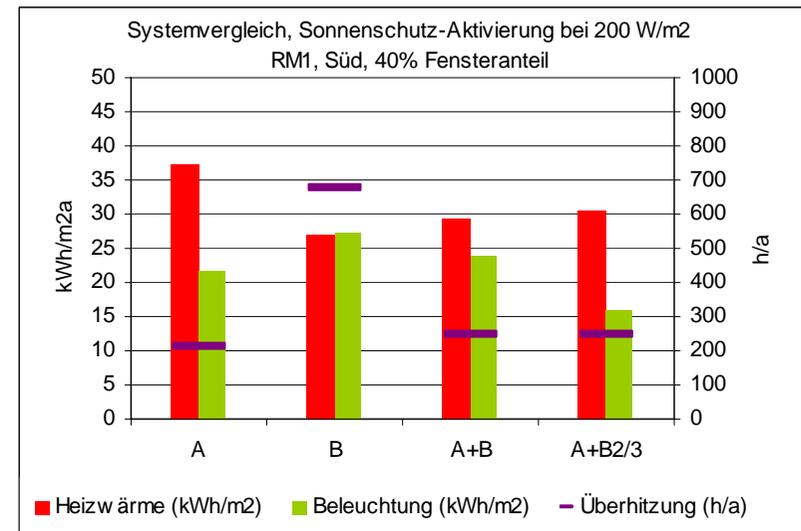
Raummodul 1 (RM1) steht für ein typisches Bürogebäude mit Baujahr vor 1990. Es stellt ein bestehendes Gebäude mit relativ hohen Transmissions- und Lüftungsverlusten (Fensterlüftung) dar.

Systemvergleich - Südfassade, 40% Fensteranteil

Der Systemvergleich einer externen Rafflamellenstore (A) mit einem internen Blendschutz (B) sowie der Kombination der beiden Systeme in zwei unterschiedlichen Varianten (A+B, A+B2/3) ist in Figur 2 dargestellt. Dabei lassen sich bei den gewählten Randbedingungen die folgenden Aussagen ableiten:

- Am besten schneidet die Kombination von externer Rafflamellenstore mit internem Blendschutz (A+B2/3) ab, wobei der Blendschutz nur die unteren zwei Drittel der Fensterfläche verdeckt und damit im Winter mehr Tageslicht und mehr Solarwärme genutzt werden können.
- Die ungünstigste Lösung stellt der interne Blendschutz (B) dar, der zu den meisten Überheizungsstunden – gemessen in Anzahl Stunden mit Raumtemperaturen über 26.5°C - führt.
- Die geringste Überheizung weist die Rafflamellenstore (A) auf, dafür wird an der Südfassade deutlich mehr Heizwärme- und Beleuchtungsenergie benötigt als mit System A+B2/3.

Bei allen vier Systemen wird in diesem Vergleich der Sonnenschutz ab einer Globalstrahlung von 200 W/m² auf der Fensteraussenseite heruntergelassen. Bei den beiden kombinierten Systemen (A+B und A+B2/3) wird zudem ab einer Raumtemperatur von 24°C der externe Sonnenschutz eingesetzt, bei tieferen Raumtemperaturen wird nur der interne Blendschutz betätigt.

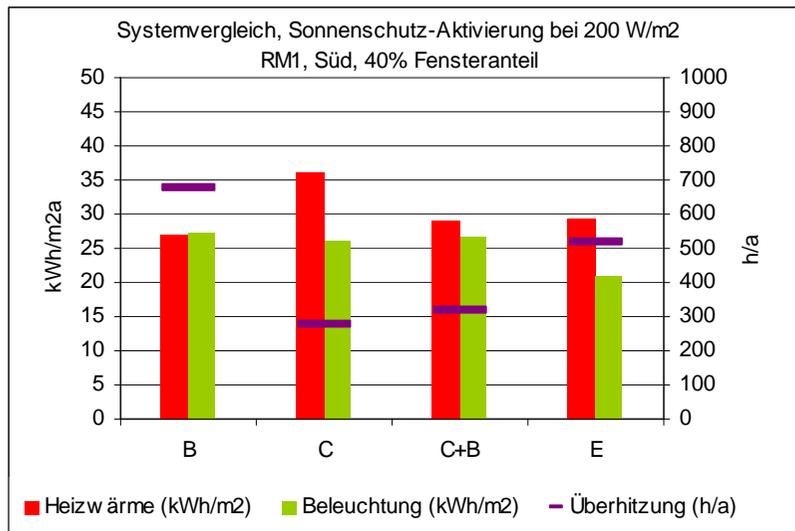


Figur 2. Systemvergleich: jährlicher Energiebedarf und Überheizung mit externer Rafflamellenstore (A), internem Blendschutz (B), Kombination Raffstore und Blendschutz (A+B) sowie Kombination der Raffstore mit einem Blendschutz, der nur die unteren zwei Drittel des Fensters verdeckt (A+B2/3).

In Figur 3 wird der interne Textilrollo (B) mit einer externen Vertikalmarkise (C), mit der Kombination der beiden (C+B) und mit einer stark reflektierenden innen liegenden Sonnenschutzfolie (E) verglichen.

Bezüglich der Beleuchtungsenergie liegt die Sonnenschutzfolie (E) vorne. Der thermische Komfort wird allerdings mit mehr als 500 h/a über 26.5°C stark beeinträchtigt. Schlechter schneidet der Textilrollo (B) ab, der sowohl bei der Beleuchtungsenergie als auch bei der Überheizung hinter System E liegt.

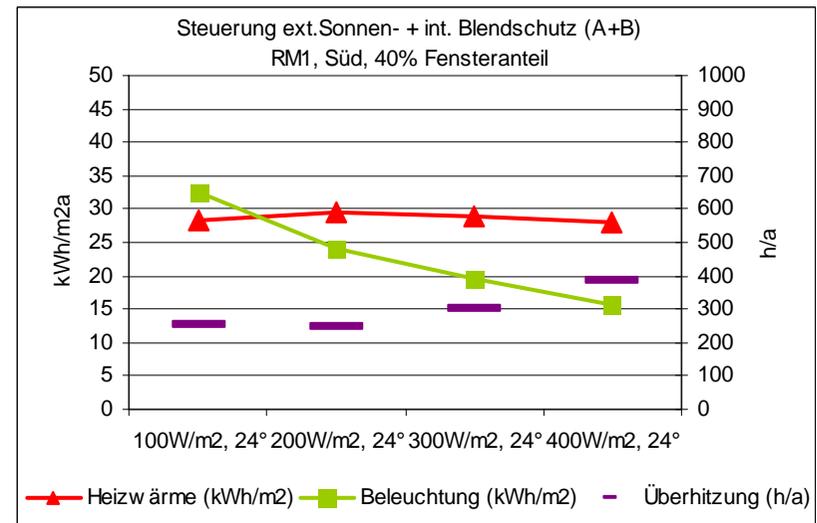
Die externe Vertikalmarkise (C) und deren Kombination mit einem internen Textilrollo (C+B) führen zwar zu einer geringeren Überheizung, dafür aber zu hohen Heizwärme- und Beleuchtungsenergiebedarfen.



Figur 3. Systemvergleich: jährlicher Energiebedarf und Überhitzung mit internem Textilrollo (B), Vertikalmarkise (C), Kombination Vertikalmarkise und Textilrollo (C+B) sowie mit einer internen Sonnenschutzfolie (E).

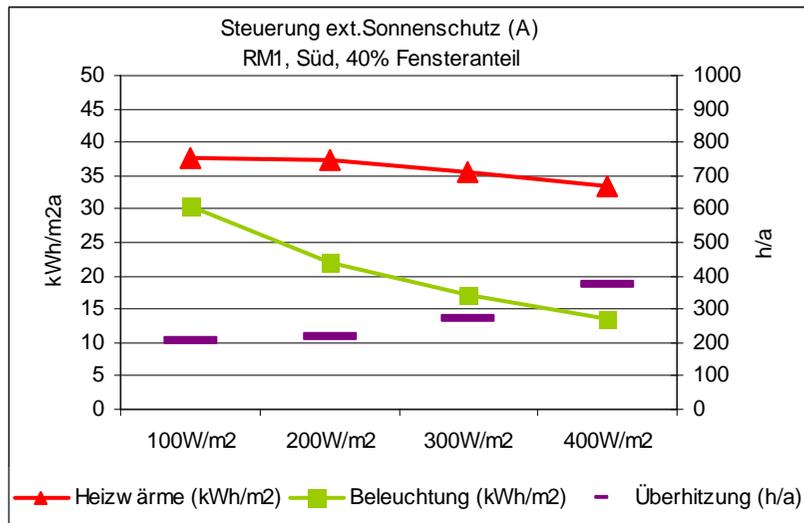
Stellwert für die Sonnenschutz-Aktivierung, Süd, 40% Fensteranteil

In Figur 4 wird das System externer Sonnen- und interner Blendschutz (A+B) mit verschiedenen Stellwerten für die Sonnenschutz-Aktivierung dargestellt. Die beste Energiebilanz wird bei hohen Stellwerten für die Globalstrahlung erreicht, allerdings auf Kosten einer höheren Überhitzung. Ein guter Kompromiss zwischen Tageslichtnutzung und sommerlichem Wärmeschutz wird in der Regel bei 200 W/m² erreicht. Werte über 300 W/m² sind nicht praxistauglich, da sie nur mit einem massgebenden Anteil Direktstrahlung erreichbar sind und die Blendschutzfunktion somit nicht mehr erfüllt werden kann.



Figur 4. Externe Rafflamellenstore und interner Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung als Funktion des Stellwerts für die Sonnenschutz-Aktivierung (Globalstrahlung, gemessen an der Fensteraussenseite). Die Umschaltung von internem Blend- zu externem Sonnenschutzsystem erfolgt jeweils bei einer Raumlufttemperatur von 24°C.

Ähnlich sieht die Situation bei einer externen Rafflamellenstore (A) aus (Figur 5), allerdings liegt der Heizwärmebedarf bei dieser Konfiguration (Südfassade, 40% Fensteranteil) insgesamt rund 20 - 30% höher, die Beleuchtungsenergie dafür etwas tiefer.

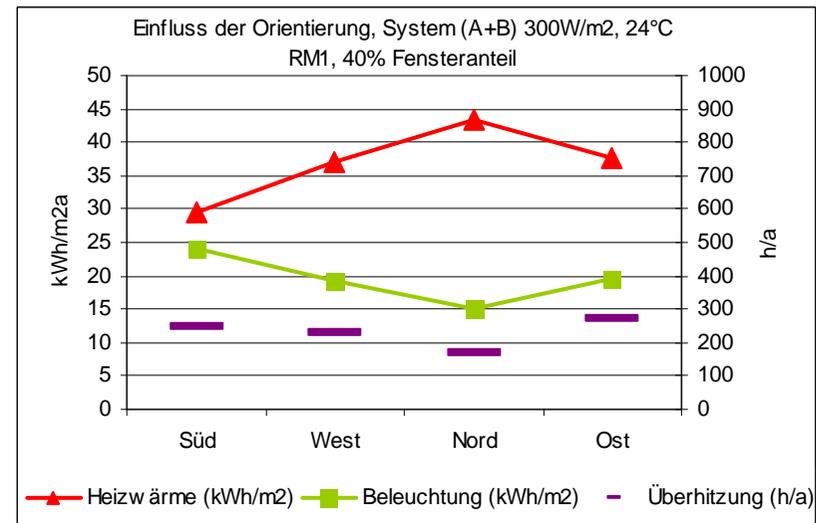


Figur 5. Externe Rafflamellenstore (A): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung als Funktion des Stellwerts für die Sonnenschutz-Aktivierung (Globalstrahlung, gemessen an der Fensteraussenseite).

Einfluss der Fassadenorientierung

In den vorangehenden Figuren wurde die Situation für Büroräume an Südfassade untersucht. In Figur 6 wird anhand der Systemkombination A+B2/3 der jährliche Energiebedarf und die Überhitzung für alle Fassadenorientierungen dargestellt. Der Elektrizitätsbedarf für Beleuchtung ist bei diesem System, dank der guten Tageslichtnutzung, weitgehend unabhängig von der Orientierung.

Der Heizwärmebedarf ist erwartungsgemäß im Süden am tiefsten und im Norden am höchsten, West und Ost liegen dazwischen. Ebenso erwartungsgemäß ist die Überhitzung bei Nord-Orientierung mit 180 h/a am tiefsten.



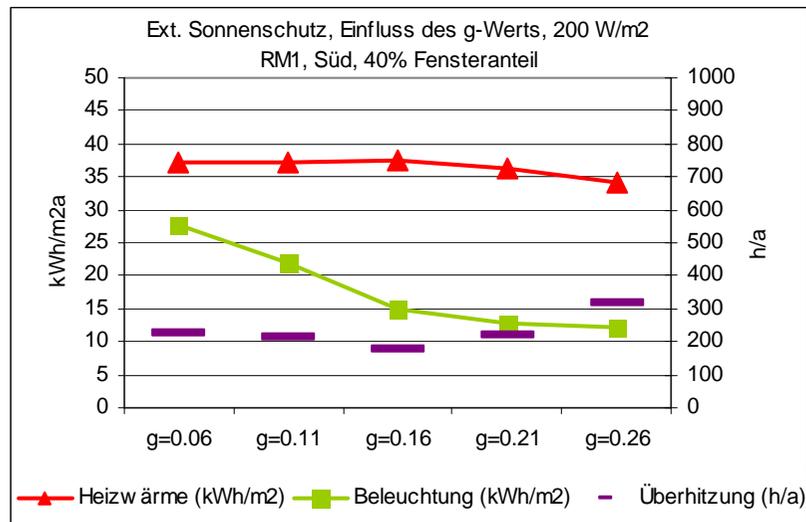
Figur 6. Externe Rafflamellenstore und interner Textilrollo, der nur zwei Drittel der Fensterfläche abdeckt (A+B2/3): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung als Funktion der Fassadenorientierung.

Einfluss des g-Werts

Bei einem Fensteranteil an der Südfassade von 40% steigt der Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung bei tiefen g-Werten deutlich an (siehe Figur 7). Der Heizwärmebedarf bleibt dagegen fast konstant, da die Abwärme der Beleuchtung die verminderten Solargewinne kompensiert. Die Überhitzung ist minimal bei einem g-Wert von rund 0.15, darunter steigt die Überhitzung durch Beleuchtungsabwärme, darüber durch die höheren Solargewinne.

Die in dieser Studie zugrunde gelegte externe Rafflamellenstore (A) hat bei einer Lamellenstellung von 45° in Kombination mit einer 2-WSG Verglasung einen g-Wert von 0.11, was bezüglich Tageslichtnutzung eigentlich zu tief ist. Es sind somit bei tiefen Fensteranteilen Sonnenschutzsysteme mit leicht höheren g-Werten im Bereich von 0.15 zu bevorzugen, z.B. Raffstoren mit perforierten

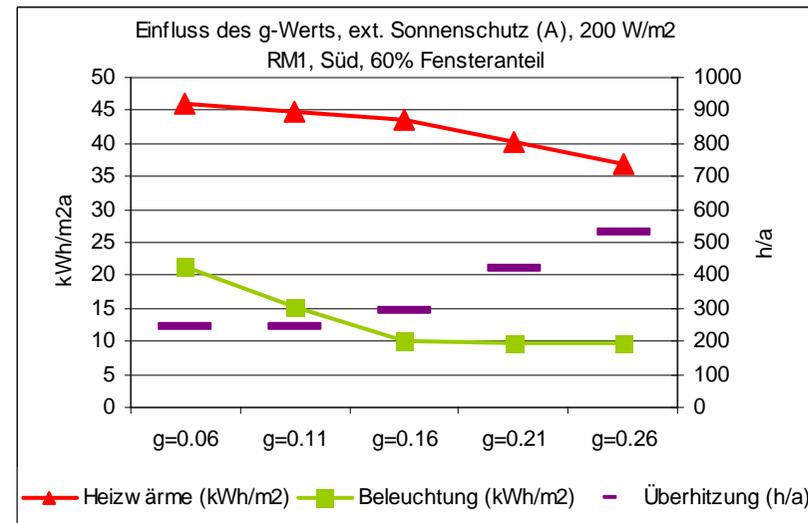
Lamellen oder mit einer automatischen Nachführung des Lamellenwinkels an den Sonnenstand (Cut-off Nachführung).



Figur 7. Externe Rafflamellenstore (A): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

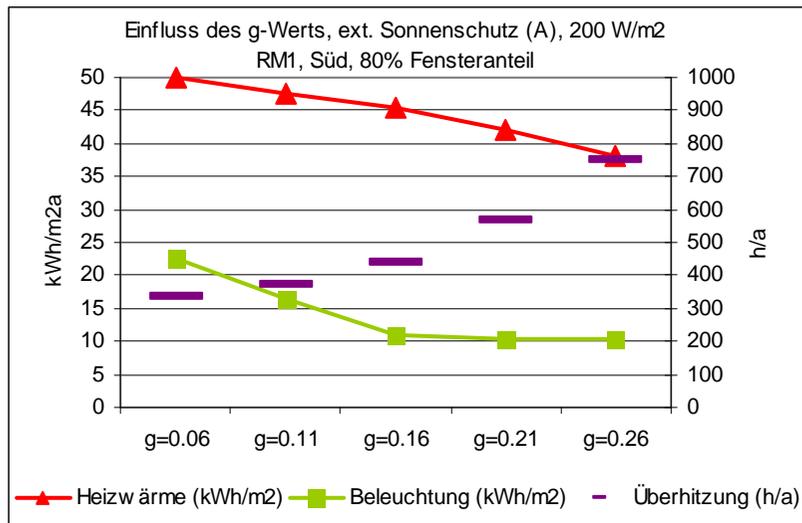
Einfluss des Fensteranteils

Bei einem Fensteranteil der Fassade von 60% liegt der optimale g-Wert im Bereich von 0.1 (Figur 8). Bei höheren g-Werten steigt die Überhitzung rasch an. Insgesamt liegt die Beleuchtungsenergie im Vergleich zu einem Fensteranteil von 40% um 2 – 6 kWh/m²a tiefer. Der Heizwärmebedarf und die Überhitzungsstunden liegen dafür bei allen g-Werten deutlich höher.

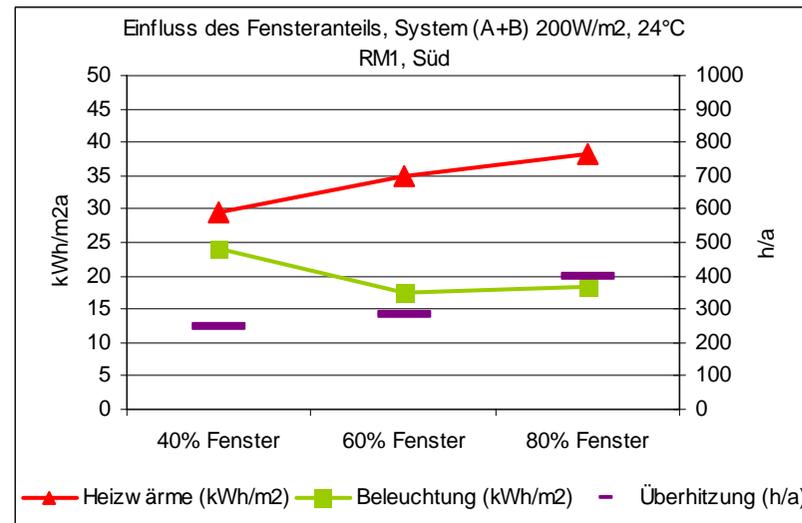


Figur 8. Externe Rafflamellenstore (A): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 60% Fensteranteil.

Noch bedeutender wird die Überhitzungsproblematik bei einem Fensteranteil von 80% (Figur 9). Selbst mit einem sehr tiefen g-Wert von 0.06 resultieren mehr als 300 Stunden pro Jahr mit Raumtemperaturen über 26.5°C. Ein Bürogebäude mit einem so hohen Fensteranteil kommt daher kaum ohne aktive Raumkühlung aus.



Figur 9. Externe Rafflamellenstore (A): jährlicher Heizwärme- und Beleuchtungsenergiebedarf und Überhitzung bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 80% Fensteranteil.



Figur 10. Jährliche Energiebilanz und Überhitzung bei unterschiedlichen Fensteranteilen.

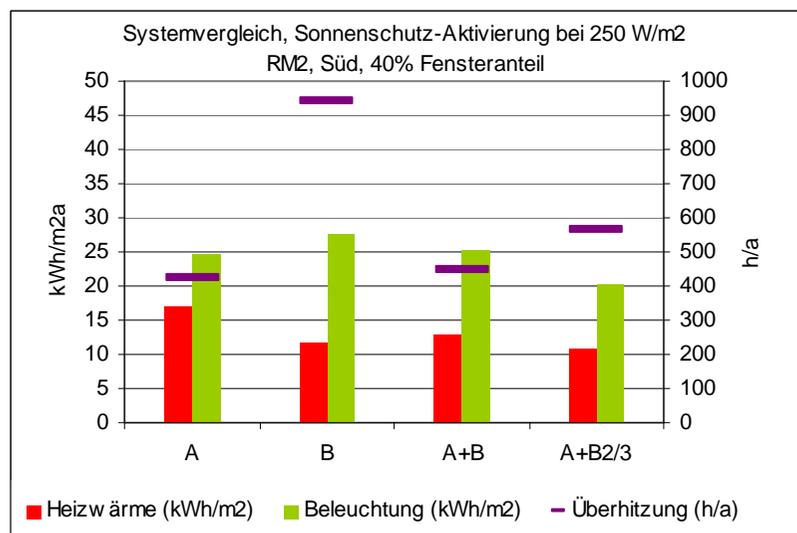
Bezüglich der drei Kriterien Heizwärme, Beleuchtungsenergie und Überhitzung stellt bei RM1 ein Fensteranteil von 50 - 60% einen guten Kompromiss für ein Büro an der Südfassade dar.

4.1. Raummodul 2 (RM2)

Das Raummodul 2 (RM2) entspricht Raummodul1 nach dem Ersatz der bestehenden Fenster mit hochisolierenden 3-fach Fenstern mit einem Glas-U-Wert von 0.6 W/m²K und einem g-Wert von 0.5.

Systemvergleich - Südfassade, 40% Fensteranteil

Der Unterschied zwischen den vier untersuchten Sonnenschutzsystemen ist in (Figur 11) dargestellt. Der interne Blendschutz (B) führt zu einer deutlich höheren Überhitzung als die anderen drei Systeme.

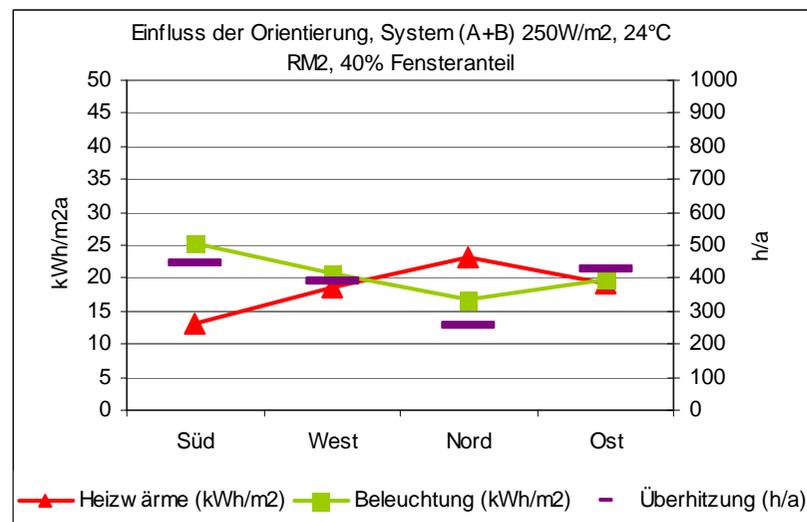


Figur 11. Systemvergleich: jährlicher Energiebedarf und Überhitzung mit externer Rafflamellenstore (A), internem Textilrollo (B), Kombination Raffstore und Textilrollo (A+B) sowie Kombination der Raffstore mit einem Textilrollo, der nur die unteren zwei Drittel des Fensters abdeckt (A+B2/3).

Der Heizwärmebedarf liegt im Vergleich zu RM1 infolge des besseren Fenster-U-Werts deutlich tiefer. Die Beleuchtungsenergie liegt dafür etwas höher. Bei einer gesamtenergetischen Beurteilung fällt die Beleuchtung um so stärker ins Gewicht, je besser die Fassade gedämmt ist. Damit verlagert sich bei gut gedämmten Gebäuden das Optimierungspotential beim Sonnenschutz zunehmend von der passiven Solarwärme- zur Tageslichtnutzung.

Einfluss der Fassadenorientierung

Die Nordfassade weist die beste Tageslichtnutzung auf, da der Sonnenschutz hier nur sehr selten heruntergefahren werden muss und das diffuse Tageslicht voll genutzt werden kann. Daher hat die Nordfassade zwar den höchsten Heizwärmebedarf, dafür aber auch eine sehr tiefe Beleuchtungsenergie.

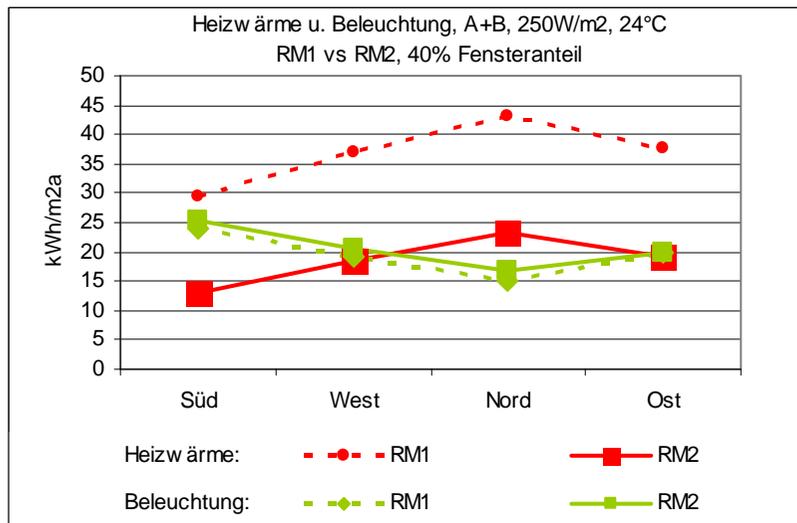


Figur 12. Externe Rafflamellenstore kombiniert mit internem Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf und Überhitzung als Funktion der Fassadenorientierung.

Bezüglich Überhitzung schneidet die Nordfassade erwartungsgemäss am besten ab. Bei den anderen Orientierungen liegt die Überhitzung mit rund 400 h/a über 26.5°C bereits in einem kritischen Bereich (siehe Kap. 2.6).

Vergleich RM1 mit RM2

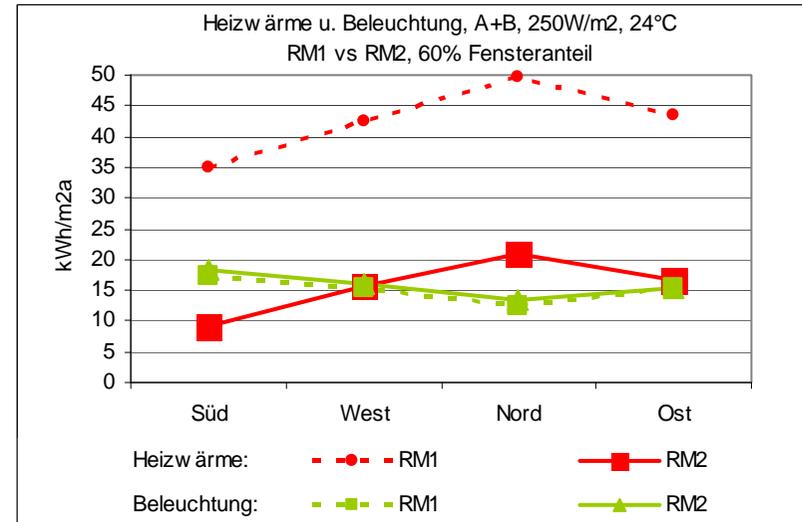
Der Vergleich der beiden Raummodule RM1 (gestrichelte Linien) und RM2 (durchgezogene Linien) zeigt, dass RM2 dank reduzierter Transmissionsverluste durch die Fenster bezüglich Heizwärmebedarf wesentlich besser abschneidet und bei der Beleuchtungsenergie nur geringfügig höher liegt (Figur 13).



Figur 13. Vergleich der Raummodule RM1 und RM2: Heizwärmebedarf und Beleuchtungsenergie als Funktion der Fassadenorientierung bei 40% Fensteranteil.

Einfluss des Fensteranteils

Bei einem Fensteranteil der Fassade von 60% ist der Unterschied zwischen RM1 und RM2 noch grösser. Dagegen ist der Unterschied bei der Beleuchtung bei allen vier Fassadenorientierungen praktisch vernachlässigbar.



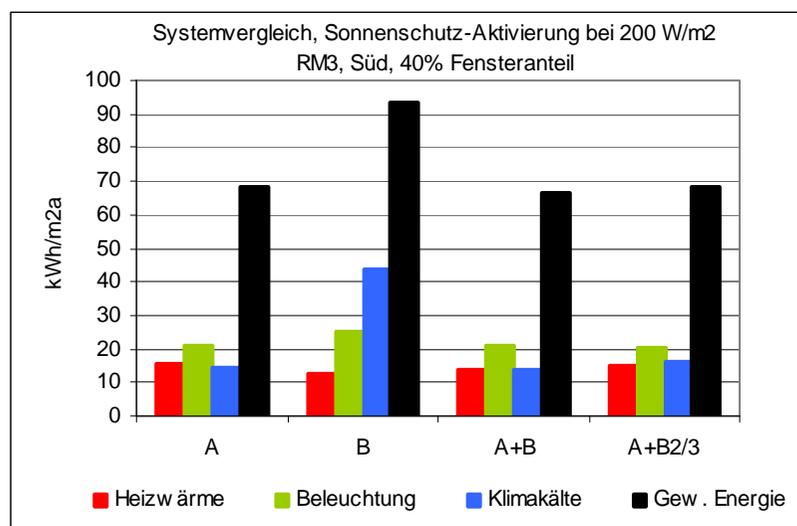
Figur 14. Vergleich der Raummodule RM1 und RM2: Heizwärmebedarf und Beleuchtungsenergie als Funktion der Fassadenorientierung bei 60% Fensteranteil.

4.2. Raummodul 3 (RM3)

Raummodul 3 (RM3) steht für ein klimatisiertes Bürogebäude mit Baujahr vor 1990. Es stellt ein Gebäude mit relativ hohen Transmissionsverlusten dar. Die Lüftungsverluste sind dank mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung reduziert. Die Überhitzungsproblematik entfällt dank der Klimatisierung, dafür wird zusätzlich die Klimakälte als thermischer Energiebedarf und als Teil der gewichteten Energie ausgewiesen.

Systemvergleich - Südfassade, 40% Fensteranteil

Beim Vergleich der vier Sonnenschutzsysteme bei einem klimatisierten Büroraum fällt der Unterschied zwischen A, A+B und A+B2/3 relativ gering aus.



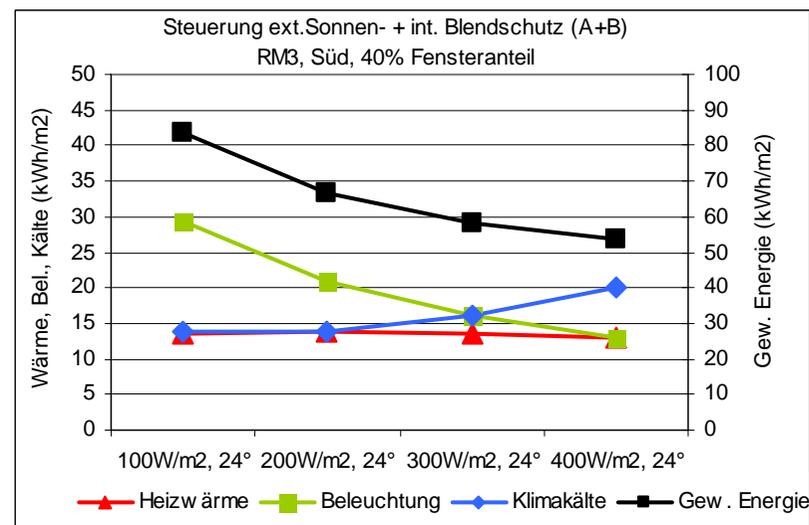
Figur 15. Systemvergleich: jährlicher Energiebedarf mit externer Rafflamellenstore (A), internem Textilrollo (B), Kombination Raffstore und Textilrollo (A+B) sowie Kombination der Raffstore mit einem Textilrollo, der nur die unteren zwei Drittel des Fensters verdeckt (A+B2/3).

Der Heizwärmebedarf ist im Vergleich zu RM1 dank der Wärmerückgewinnung in der Klimaanlage bei allen Systemen deutlich kleiner.

Aufgrund des hohen Klimakältebedarfs aber auch wegen der höheren Beleuchtungsenergie schneidet der interne Blendschutz (B) klar schlechter als die anderen Systeme ab.

Stellwert für die Sonnenschutz-Aktivierung, Süd, 40% Fensteranteil

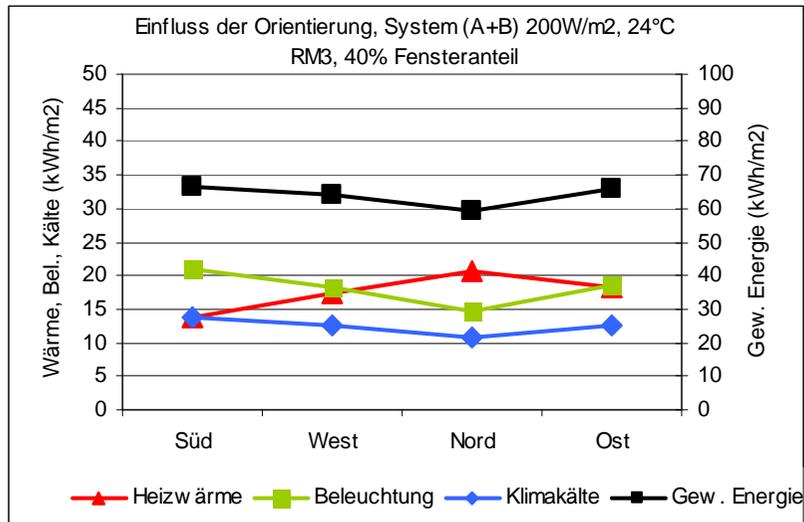
Der Einfluss des Stellwerts für die Aktivierung des Sonnenschutzes ist in Figur 16 für das System A+B dargestellt. Je höher der Stellwert eingestellt wird, umso tiefer fällt die gewichtete Energie aus. Allerdings sind Werte über 300 W/m², gemessen an der Fensteraussenseite, kaum mehr mit den Anforderungen an den Blendschutz verträglich, da eine Globalstrahlung von über 300 W/m² meist nur mit einem massgebenden Anteil direkter Solarstrahlung erreicht wird.



Figur 16. Externe Rafflamellenstore und interner Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf als Funktion des Stellwerts für die Sonnenschutz-Aktivierung (Globalstrahlung, gemessen an der Fensteraussenseite).

Einfluss der Fassadenorientierung, 40% Fensteranteil

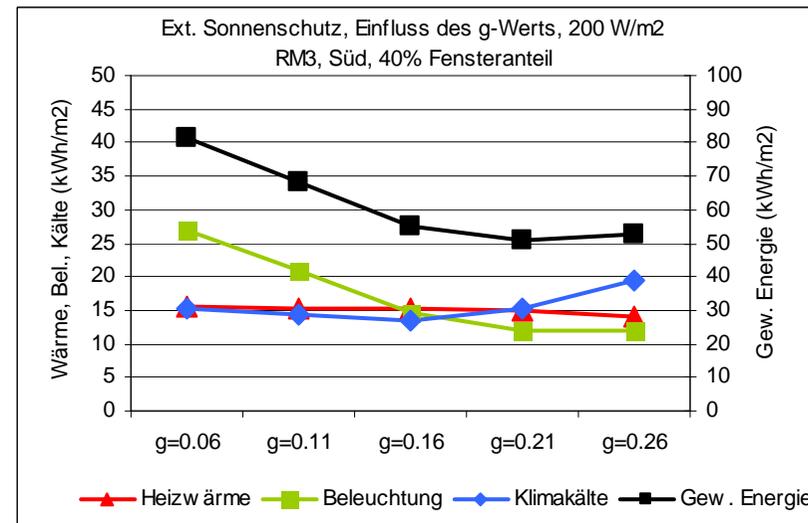
Bezüglich der gewichteten Energie bestehen mit System A+B nur geringfügige Unterschiede für die verschiedenen Fassadenorientierungen (Figur 17). Die unterschiedlichen Heizwärme- und Klimakältebedarfswerte zwischen Süd- und Nordfassade kompensieren sich teilweise. Die tiefe Beleuchtungsenergie führt an der Nordfassade insgesamt zur besten Bilanz.



Figur 17. Externe Rafflamellenstore kombiniert mit internem Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf als Funktion der Fassadenorientierung.

Einfluss des g-Werts, Süd, 40% Fensteranteil

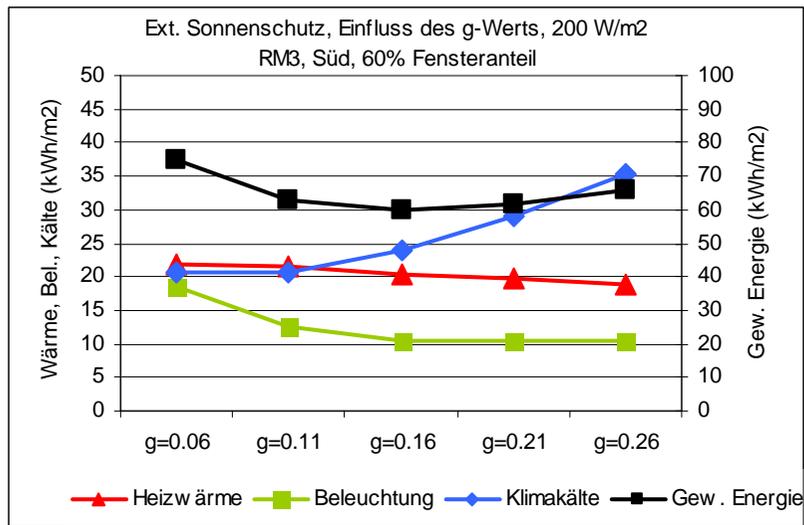
Bei einer Südfassade mit 40% Fensteranteil liegt unter den getroffenen Annahmen der optimale g-Wert bezüglich der gewichteten Energie im Bereich von 0.2 (Figur 18). Eine externe Rafflamellenstore sollte demnach mit Nachführung des Lamellenwinkels an den Sonnenstand oder mit horizontaler Lamellenstellung im oberen Fensterbereich ausgerüstet werden.



Figur 18. Externe Rafflamellenstore: jährlicher Energiebedarf und Überhitzung bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

Einfluss des Fensteranteils

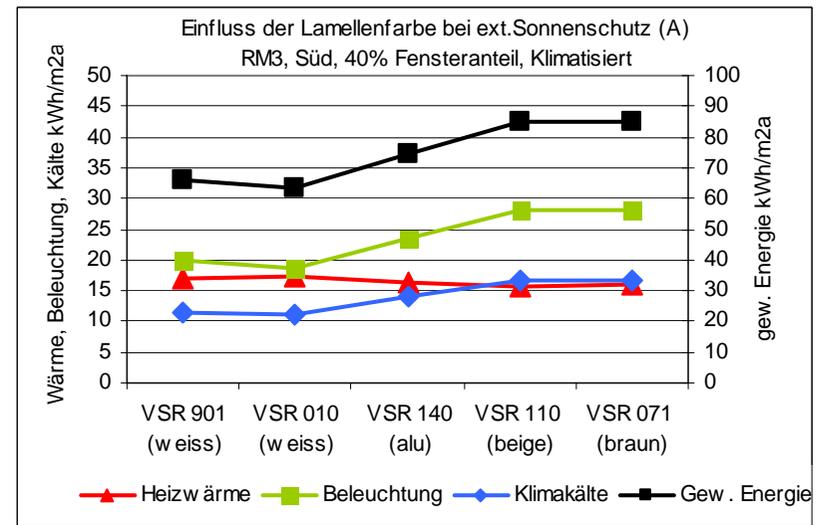
Selbst bei einem Fensteranteil von 60% liegt das Optimum der gewichteten Energie eher bei höheren g-Werten als eine Rafflamellenstore bei einer Lamellenstellung von 45° typischerweise aufweist (Figur 18). Bei der Betrachtung muss aber auch der Kälteleistungsbedarf mitberücksichtigt werden, der bei höheren g-Werten und Fensteranteilen nicht mehr mit allen Kühlsystemen, insbesondere nicht mit Systemen, die hohe Vorlauftemperaturen voraussetzen und damit hohe Arbeitszahlen der Kälteerzeugung ermöglichen (z.B. TABS, Fussbodenkühlung), gedeckt werden kann. Daher werden bei Bürogebäuden mit hohen Fensteranteilen dennoch Sonnenschutzsysteme mit möglichst tiefen g-Werten angestrebt.



Figur 19. Externe Rafflamellenstore: jährlicher Energiebedarf und Überhitzung bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

Einfluss der Lamellenfarbe

Die Lamellenfarbe bzw. der Lichtreflexionsgrad hat bei Rafflamellenstoren (A) einen entscheidenden Einfluss auf die Tageslichtverfügbarkeit und damit auf den Beleuchtungsenergiebedarf (siehe Figur 20). Der Gesamtdurchlassgrad (g-Wert) wird dagegen durch die Lamellenfarbe kaum beeinflusst. Ideal sind daher helle Farben mit einem möglichst hohen Reflexionsgrad im sichtbaren Frequenzbereich. Die Farben werden gemäss Farbcode des Verbands Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutzsystemen (VSR) angegeben. Alle vorangehend dargestellten Varianten mit externer Rafflamellenstore (A) wurden mit der Lamellenfarbe VSR 901 berechnet.



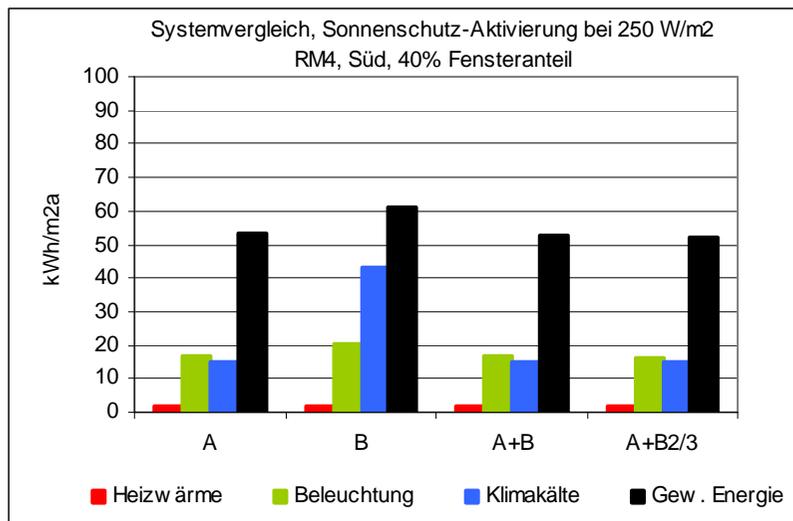
Figur 20. Externe Rafflamellenstore: jährlicher Energiebedarf bei unterschiedlichen Lamellenfarben – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

4.3. Raummodul 4 (RM4)

Raummodul 4 (RM4) entspricht einem Bürogebäude mit einer dem MINERGIE-P-Standard entsprechenden Bauhülle. Zudem ist die installierte Beleuchtungsleistung mit 11.6 W/m^2 rund 30% tiefer als bei RM1 – RM3.

Systemvergleich - Südfassade, 40% Fensteranteil

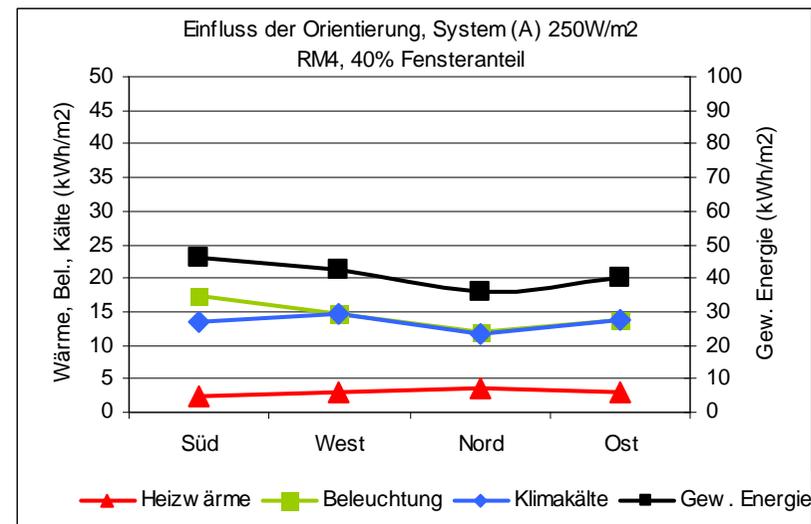
Dank der gut gedämmten Bauhülle und dem hohen Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage ist der Heizwärmebedarf extrem tief und praktisch unabhängig von der Wahl des Sonnenschutzsystems. Bezüglich Beleuchtungsenergie, Klimakälte und gewichtete Energie hat nur das System mit Textilrollo (B) höhere Werte, während sich die drei anderen Systeme praktisch nicht unterscheiden. Die Kombination von externem Sonnenschutz und internem Blendschutz bringt somit im Vergleich zur Rafflamellenstore (A) keinen Vorteil.



Figur 21. Externe Rafflamellenstore kombiniert mit internem Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf als Funktion der Fassadenorientierung.

Einfluss der Fassadenorientierung, 40% Fensteranteil

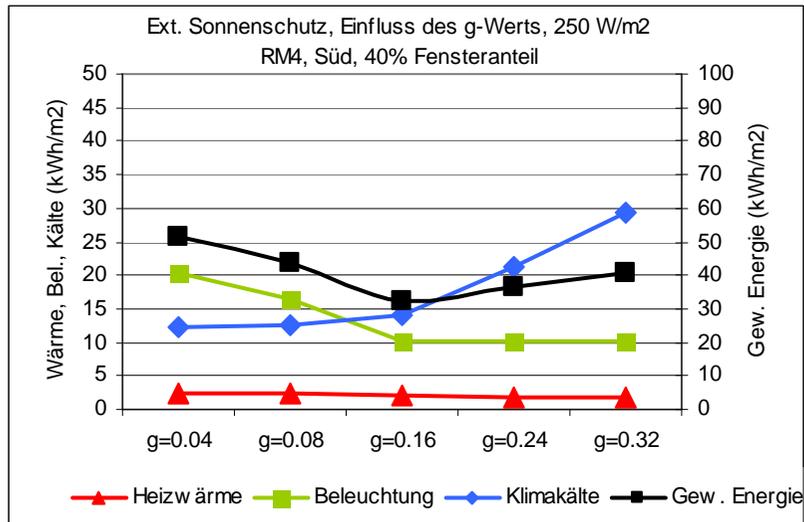
Bei RM4 schneidet die Nordfassade bei der gewichteten Energie am besten, die Südfassade am schlechtesten ab. Ausschlaggebend ist dabei die Beleuchtung, die aufgrund des Sonnenschutzes an der Südfassade häufiger eingeschaltet ist als an der Nordfassade. Bei einer gesamtenergetischen Optimierung von MINERGIE-P-Gebäuden scheint damit das Thema der Tageslichtnutzung im Zusammenspiel mit der Sonnenschutzsteuerung besonders wichtig zu sein. Diesem Umstand wird gegenwärtig auch durch die Erarbeitung eines MINERGIE-Moduls „Sonnenschutz“ Rechnung getragen [VSR 2008].



Figur 22. Externe Rafflamellenstore kombiniert mit internem Textilrollo (A+B): jährlicher Energiebedarf als Funktion der Fassadenorientierung.

Einfluss des g-Werts, Süd, 40% Fensteranteil

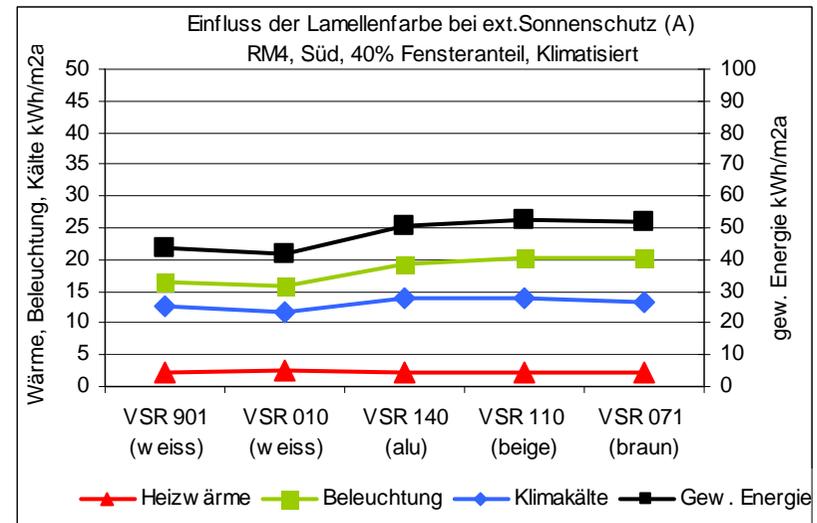
Der bezüglich der gewichteten Energie eines nach Süden orientierten Büros optimale g-Wert liegt im Bereich von 0.15. Dieser eher hohe Wert steht im Kontrast zur Bestrebung, die maximale Kühllast im Sommer möglichst tief zu halten, denn eine effiziente Kälteerzeugung kann nur bei begrenzten spezifischen Kühllasten wirtschaftlich realisiert werden. Ein ideales Sonnenschutzsystem sollte daher den g-Wert je nach Lichtverhältnissen, Tages- und Jahreszeit in einem breiten Bereich variieren können. Externe Rafflamellenstoren mit einer automatischen Nachführung des Lamellenwinkels bieten dafür die beste Voraussetzung.



Figur 23. Externe Rafflamellenstore: jährlicher Energiebedarf bei unterschiedlichen g-Werten – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

Einfluss der Lamellenfarbe

Die Lamellenfarbe bzw. der Lichtreflexionsgrad hat bei Rafflamellenstoren (A) einen entscheidenden Einfluss auf die Tageslichtverfügbarkeit und damit auf den Beleuchtungsenergiebedarf (siehe Figur 24). Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) wird dagegen durch die Lamellenfarbe kaum beeinflusst. Ideal sind daher helle Farben mit einem möglichst hohen Reflexionsgrad im sichtbaren Frequenzbereich. Der Vorteil einer hellen Lamellenfarbe ist vor allem aufgrund der effizienteren Beleuchtung weniger ausgeprägt als bei RM3 (siehe Figur 20). Die Farben werden gemäss Farbcode des Verbands Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutzsystemen (VSR) angegeben. In allen vorangehenden Varianten mit externer Rafflamellenstore (A) wurde die Lamellenfarbe VSR 901 vorausgesetzt.



Figur 24. Externe Rafflamellenstore: jährlicher Energiebedarf bei unterschiedlichen Lamellenfarben – Südfassade mit 40% Fensteranteil.

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1. Wesentliche Erkenntnisse

Kann in einem Bürogebäude durch einen internen Blendschutz Heizwärme eingespart werden?

Die Installation eines internen Blendschutzes zusätzlich zum aussen liegenden Sonnenschutz kann in einem beschränkten Einsatzgebiet zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfs führen. In bestehenden Bürogebäuden mit einem Fensteranteil von > 40%, alten Fenstern und hohen Fassaden U-Werten > 0.6 W/m² kann an Südfassaden ohne Verschattung durch Nachbargebäude eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von 6 – 10 kWh/m²a erwartet werden. Der interne Blendschutz sollte dabei von unten nach oben hochgefahren werden können und den oberen Bereich des Fensters zur besseren Solarwärme- und Tageslichtnutzung nicht abdecken.

Voraussetzung für einen effizienten Einsatz ist eine korrekte Abstimmung von Sonnenschutz-, Blendschutz- und Beleuchtungssteuerung. In der Praxis dürfte dieses – automatisch oder manuell geregelte - Zusammenspiel von drei Systemen allerdings keine leichte Aufgabe darstellen.

Wann bringt ein zusätzlicher interner Blendschutz keine Einsparungen?

In den folgenden Situationen wird die Installation eines Blendschutzes kaum relevante Einsparungen erzielen:

- an der Nord-, West- und Ostfassade von bestehenden Bürogebäuden;
- an Südfassaden, die durch Nachbargebäude oder Topografie im Winter massgeblich verschattet werden
- bei bestehenden Bürogebäuden, die dank energetischer Erneuerungsmassnahmen bereits einen stark reduzierten Heizwärmebedarf aufweisen;
- bei Neubauten, die bereits einen hohen Wärmedämmstandard erfüllen.

Wieso ist das Energiesparpotential geringer als ursprünglich angenommen?

In Büroräumen führt direkte Sonneneinstrahlung zusammen mit den internen Wärmelasten auch im Winter rasch zu hohen Raumtemperaturen. Der externe Sonnenschutz muss somit oft auch an kalten Tagen zur Reduktion der Solargewinne eingesetzt werden. Zusätzliche Solargewinne durch einen internen Blendschutz sind daher an sonnigen Wintertagen gar nicht erwünscht.

Kann bei denkmalgeschützten Objekten der sommerliche Wärmeschutz durch eine interne Sonnenschutzfolie gewährleistet werden?

Die Untersuchungen zeigen, dass eine interne, als Rollo konzipierte Sonnenschutzfolie sowohl bezüglich Tageslichtnutzung als auch bezüglich Überhitzung besser ist, als ein guter Textilrollo mit einem hellen, dichten Gewebe (z.B. Office 2121). Bei einem Fensteranteil der Fassade von 40% wird aber die Sonnenschutzfolie allein kaum den Anforderungen an die thermische Behaglichkeit gerecht. Gemäss den thermischen Simulationen sind trotz reduzierter Belegung eines 2-Personen Büros im Sommer rund 500 h/a mit Raumtemperaturen über 26.5°C zu erwarten.

Bei Fassaden mit einem deutlich geringeren Fensteranteil könnte die Sonnenschutzfolie in Bürogebäuden mit Fensterlüftung zur Einhaltung der thermischen Behaglichkeit ausreichen.

Welche Eigenschaften muss ein optimaler Sonnenschutz aufweisen?

Ein bezüglich Energieeffizienz und thermischer Behaglichkeit optimales Sonnenschutzsystem weist in jeder Stellung einen möglichst hohen Lichttransmissionsgrad und einen in einem weiten Bereich variablen g-Wert auf. Zudem muss zur Gewährleistung von blendfreien Arbeitsplätzen direkte Sonneneinstrahlung bei jedem Sonnenstand vollständig verhindert werden können. Diesen Eigenschaften am nächsten kommen aussen liegende Rafflamellenstoren mit einer hellen Lamellenfarbe und automatischer Nachführung des Lamellenwinkels.

Erkenntnisse aus der Betrachtung der gewichteten Energie?

Bei einer gesamtenergetischen Beurteilung, gemessen an der gewichteten Summe von Heizwärme, Klimakälte und Beleuchtung, fällt die Beleuchtungsenergie umso stärker ins Gewicht, je besser die Fassade gedämmt ist. Dadurch kommt im Büroneubau der Tageslichtnutzung und damit auch der Optimierung von Sonnenschutz- und Beleuchtungssteuerung eine grössere Bedeutung zu, als in der heutigen Planungspraxis berücksichtigt wird. Die Fokussierung auf die Reduktion von Heizwärme- und Klimakältebedarf muss daher vermehrt auf die Themen Tageslicht und Beleuchtungsenergie ausgedehnt werden.

Bei einem MINERGIE-P-Gebäude weist ein an der Nordfassade gelegener Büroraum unter Einbezug der Beleuchtung ein geringerer gewichteter Energiebedarf auf als ein Büro an der Südfassade. Die heute übliche Energieoptimierung auf der Grundlage von SIA 380/1 verleitet dagegen auch im Bürobau tendenziell zu einer Maximierung der Fensterflächen an der Südfassade und zur Reduktion der Fenster an der Nordfassade.

Ebenso führt die einseitige Fokussierung auf den Heizwärmebedarf zur Bevorzugung von möglichst kompakten Bauvolumen mit grossen Raumtiefen. Auch in [KBOB 2008] werden im Zusammenhang mit dem sommerlichen Wärmeschutz Grundrisse mit möglichst grossen Raumtiefen empfohlen. Diese Tendenz ist im Hinblick auf die grosse Bedeutung der Beleuchtungsenergie im Bürobau kritisch zu hinterfragen.

5.2. Empfehlungen

Auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse lassen sich die folgenden Empfehlungen ableiten:

1. Eine generelle Vorschrift zur Installation eines internen Blendschutzes zusätzlich zum aussen liegenden Sonnenschutz bei klimatisierten Gebäuden scheint kaum gerechtfertigt. Empfehlenswert ist aber die Installation eines internen Blendschutzes an schlecht gedämmten Südfassaden mit hohen Fensteranteilen und ohne Verschattung durch Nachbargebäude.
2. Es sollte geprüft werden, ob die Zusatzinvestition für einen internen Blendschutz nicht mit anderen Massnahmen, z.B. dem Ersatz bestehender Fenster durch 3-fach statt durch 2-fach Verglasungen, zu einem besseren Kosten-Nutzen-Verhältnis führen kann.
3. Die Simulationen lassen vermuten, dass eine Rafflamellenstore mit automatischer Nachführung des Lamellenwinkels ein erhebliches Potential zur Reduktion von Beleuchtungsenergie und Klimakälte erschliessen könnte. Vermutlich stellt aber die dazu notwendige Abstimmung von Sonnenschutz- und Beleuchtungssteuerung in der Praxis eine grosse Herausforderung dar. Entsprechende Erfahrungen sollten im Rahmen eines Messprojekts unter realen Betriebsbedingungen eines Bürogebäudes gesammelt werden.
4. Das für die thermischen Simulationen verwendete einfache Modell für die Sonnenschutzsteuerung sollte in einer Nachfolgestudie weiter verfeinert werden, z.B. durch eine automatische, in gewissen Bereichen stufenlose Anpassung von g-Wert und Solartransmissionsgrad in Funktion von Globalstrahlung und Sonnenwinkel.
5. Dem Thema Tageslichtnutzung und Beleuchtungsenergie sollte bei der Suche nach zukunftsfähigen, den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft angepassten Bürokonzepten vermehrt Beachtung geschenkt werden. Eine energetische Optimierung von MINERGIE-P-Bürogebäuden auf der Grundlage von SIA 380/1 ist zu hinterfragen. Weitergehende Abklärungen [BFE 2008] und umfassendere Planungswerkzeuge [brenet 2008] sind zurzeit in Bearbeitung.

6. Quellenverzeichnis

- BFE 2008 Gesamtenergieeffizienz von Wirtschaftsbauten mit tiefem U-Wert, Forschungsprojekt im Rahmen des BFE Forschungsprogramm Energie in Gebäuden, HSLU/Lemon Consult, Aug.2008 – Aug 2009
- brenet 2008 SIA 382 – dynamische Berechnung für klimatisierte Gebäude, Tagungsband 15. Schweiz. Status-Seminar, brenet 2008
- Griesser 2008 Auskunft von Herrn Schüller, Leiter Produktmarketing, Griesser AG, www.griesser.ch
- KBOB 2008 Bauen, wenn das Klima wärmer wird, Empfehlung Nachhaltiges Bauen 2008/2, KBOB, AWEL, UGZ, www.kbob.ch > Publikationen > Empfehlungen nachhaltiges Bauen
- EN 13363-1 Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 1: Vereinfachtes Verfahren, EN 13363-1:2003+A1:2007, SIA 180.078+A1, SIA 2008
- EQUA 2008 Validierungsberichte sind beim Softwareentwickler EQUA erhältlich, www.equaonline.com
- SIA 2024 SIA Merkblatt 2024, Standardnutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik, SIA 2006
- SIA 382/1:2007 SIA Norm 382/1:2007, Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, SIA 2007
- VSR 2008 Reglement MINERGIE-Modul Sonnenschutz, Verband Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutzsystemen (VSR), Entwurf 4.11.2008