



Schlussbericht, 11. Mai 2018

SolarGap – Auswirkung von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden



© Lemon Consult 2017



LEMON • CONSULT •

Datum: 11.05.2018

Ort: Zürich

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Gebäude und Städte
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10, CH-8006 Zürich
www.lemonconsult.ch

Autor/in:

Lara Carisch, Lemon Consult AG, carisch@lemonconsult.ch
Martin Ménard, Lemon Consult AG, menard@lemonconsult.ch
Martin Mühlebach, Lemon Consult AG, muehlebach@lemonconsult.ch
Mirjam Talattad, Lemon Consult AG

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501468-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Titelbild

Sommerlicher Wärmeschutz – im Winter? Sonnenschutzsysteme bleiben teilweise auch im Winter geschlossen und wirken sich auf solare Wärmeeinträge und den Heizwärmebedarf von Gebäuden aus.



Zusammenfassung

Sonnenschutzsysteme werden primär für den sommerlichen Wärmeschutz realisiert. Sie werden aber auch im Winter als Blend- und Sichtschutz eingesetzt und wirken sich so auf die solaren Wärmeeinträge und den Heizwärmebedarf aus. Das Projekt untersucht die Auswirkung von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden. Durchschnittliche Verschattungsfaktoren Sonnenschutz von 36 Wohn- und 32 Bürobauten werden anhand von Fassadenfotos während einer Heizperiode ermittelt. Bei manueller Bedienung des Sonnenschutzes resultieren durchschnittliche Verschattungsfaktoren von 0.85 bei einem Glasanteil der Fassade von 20% bis 0.70 bei einem Glasanteil von 40%. Bei automatischer Steuerung des Sonnenschutzes liegen die Verschattungsfaktoren im Durchschnitt bei 0.60.

Die Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf gemäss SIA 380/1 werden anhand von 32 Wohn- und 16 Bürogebäuden berechnet. Die ermittelten Verschattungsfaktoren führen je nach Glasanteil der Fassade und Steuerung des Sonnenschutzes im Mittel zu einer Zunahme des Heizwärmebedarfs in Bereich von 6% bis 18% bzw. von 1 bis 4 kWh/m².

Die Auswirkungen von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf fallen somit eher gering aus. Bei kompakten Neubauten mit optimaler Wärmedämmung und einem hohen Glasanteil kann aber ein automatischer Sonnenschutz im Extremfall den Heizwärmebedarf um mehr als 100% erhöhen. Es wird daher empfohlen, die im vorliegenden Bericht vorgeschlagenen Verschattungsfaktoren Sonnenschutz bei der nächsten Revision von SIA 380/1 zu berücksichtigen.

Résumé

Les systèmes de protection solaire sont principalement conçus pour la protection thermique d'été. Le projet étudie l'effet des systèmes d'ombrage solaire sur les besoins de chauffage des bâtiments. Les facteurs d'ombrage moyens de 68 bâtiments résidentiels et de bureaux sont déterminés sur la base de photos de façade pendant une saison de chauffage. Sur la base des facteurs d'ombrage, le potentiel d'efficacité d'un contrôle d'ombrage optimisé est estimé. La contribution des systèmes de protection solaire à l'écart de performance des bâtiments peut ainsi être soutenue quantitativement.

Summary

Solar protection systems are implemented for shading in summer. The proposed project examines the effect of solar protection systems in relation to the heating demand of buildings. During one heating season, average shade factors of 68 residential and office buildings have been determined based on facade fotos. Moreover, with the calculated shading factors, the efficiency potential of an optimised solar protection control is estimated. The contribution of solar protection systems to the building performance gap in heating demand is determined empirically.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé 3	
Summary	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis	6
1 Ausführliche Zusammenfassung	7
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	7
1.2 Vorgehen	7
1.3 Verschattungsfaktoren Sonnenschutz	8
1.4 Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf	9
1.5 Schlussfolgerungen	10
2 Einleitung	11
2.1 Ausgangslage und Zielsetzung	11
2.2 Vorgehen	11
3 Literaturrecherche	12
3.1 Verschattungsmessungen	12
3.2 Energetische Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen	15
3.3 Einfluss auf den Heizwärmebedarf	15
3.4 Modellierung des Nutzerverhaltens in Simulationen	19
3.5 Sonnenschutzsteuerung in der Praxis	20
4 Verschattung und Sonnenschutz in den Normen	21
4.1 Verschattungsfaktoren in SIA 380/1	21
4.2 Sonnenschutz in SIA 387/4	21
4.3 Sonnenschutz in SIA 2044	21
5 Methodik	22
5.1 Sonnenschutzsysteme und Behangarten	22
5.2 Gebäudeauswahl	23
5.3 Verschattungsmessung	27
5.4 Verschattungsfaktor Sonnenschutz	29
5.4.1 Verschattungsfaktor f_S (-) gemäss SIA 380/1:2016	29
5.4.2 Neuer Verschattungsfaktor Sonnenschutz $f_{S,sh}$ (-)	30
5.4.3 Herleitung Verschattungsfaktor Sonnenschutz	30
6 Resultate Verschattungsmessung	33
6.1 Verschattungsfaktoren Sonnenschutz	33
6.2 Vorschlag Verschattungsfaktoren Sonnenschutz für SIA 380/1	36



7	Auswirkung auf den Heizwärmebedarf	38
7.1	Vorgehen.....	38
7.1.1	Rechenvariante 1	39
7.1.2	Rechenvariante 2	39
7.2	Resultate Variante 1	41
7.2.1	Resultate MFH	42
7.2.2	Resultate Bürogebäude	44
7.3	Resultate Variante 2	46
7.3.1	Resultate MFH	47
7.3.2	Resultate Bürogebäude	48
7.3.3	Fallbeispiel Bürogebäude	50
7.4	Zusammenfassung Berechnung nach SIA 380/1	52
8	Optimierungspotential	53
8.1	Ausgangslage und Ziel	53
8.2	Wohnen.....	53
8.3	Büro.....	53
9	Schlussfolgerungen	55
10	Literatur	56
11	Anhang.....	59
11.1	Monatliche Verschattungsfaktoren	59
11.2	Zeitliche Dynamik des Sonnenschutzes	61



Abkürzungsverzeichnis

HWB	Heizwärmebedarf
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich



1 Ausführliche Zusammenfassung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Dem sommerlichen Wärmeschutz kommt in Planungsnormen und Energievorschriften eine zunehmend hohe Bedeutung zu. Es kann angenommen werden, dass die Sonnenschutzsysteme auch im Winter oft als Blend- oder Sichtschutz eingesetzt werden und somit zur Folge haben, dass solare Wärmeeinträge reduziert werden. Der Sonnenschutz wird in der Berechnung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1:2016 nur unzureichend berücksichtigt. In diesem Kontext stellt sich die Frage, ob Sonnenschutzsysteme einen relevanten Beitrag zum Performance Gap beim Heizwärmebedarf von Gebäuden verursachen.

Die Ziele der vorliegenden Studie sind:

- Ermittlung der durchschnittlichen Verschattungsfaktoren von beweglichen Sonnenschutzsystemen während der Heizperiode bei Wohn- und Bürogebäuden.
- Ermittlung der Auswirkungen der Verschattungsfaktoren auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden.
- Abschätzung des Effizienzpotentials durch Anpassung der Regelstrategie bei automatischen Sonnenschutzsystemen in Wohn- und Bürogebäuden.
- Vorschlag von Verschattungsfaktoren Sonnenschutz für SIA 380/1.

1.2 Vorgehen

Die Grundlage der Arbeit bildet eine Auswertung von Fassadenaufnahmen von 36 Mehrfamilien- und 32 Bürogebäuden im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 an mehreren Standorten in der Schweiz. Die Aufnahmen werden pro Fassade jeweils zu drei Tageszeiten (9:00, 12:00 und 15:00 Uhr) und während jeweils einer Woche pro Monat in diesem Zeitraum ausgewertet. Somit entstehen insgesamt 147 Aufnahmen pro Fassade.



Abbildung 1 Bürogebäude mit Rafflamellen, rechts mit Markierung der verschatteten Fensterfläche



Messgrösse ist der Anteil der verschatteten Fensterfläche pro Aufnahme, wobei je nach Strahlungsverhältnissen (Direktstrahlung ja oder nein) unterschieden wird. Daraus resultiert jeweils ein durchschnittlicher Anteil verschatteter Fenster pro Gebäude bzw. pro Fassade bei Direkt- und bei Diffusstrahlung. Diese beiden Anteile werden danach mit den jeweiligen Energieanteilen der Solarstrahlung bei Direkt- und Diffusstrahlung pro Heizsaison (Durchschnitt über die Monate Oktober bis April) gewichtet und so zu einem gewichteten Verschattungsfaktor Sonnenschutz summiert.

In einem weiteren Schritt wird die Auswirkung des Verschattungsfaktors Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf von Wohn- und Bürogebäuden ermittelt sowie eine Abschätzung des Effizienzpotentials durch Anpassung der Regelstrategie bei automatischen Sonnenschutzsystemen getroffen.

1.3 Verschattungsfaktoren Sonnenschutz

Tabelle 1 zeigt die hergeleiteten Verschattungsfaktoren für aussenliegende bewegliche Sonnenschutzsysteme $f_{S,sh}$. Fett gedruckte Werte bedeuten, dass hier mindestens fünf Gebäude ausgewertet wurden. Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

Einen geringen Einfluss auf den Verschattungsfaktor haben:

- Alter des Gebäudes
- Orientierung der Fassade
- Nutzung des Gebäudes: Büro/MFH

Einen relevanten Einfluss auf den Verschattungsfaktor haben:

- Art der Steuerung
- Glasanteil der Fassade
- Art des Behangs

Für die Herleitung der Verschattungsfaktoren Sonnenschutz werden nur die Einflussgrössen „Glasanteil der Fassade“ und „Art der Steuerung“ weiter berücksichtigt. Auf eine Unterscheidung nach Behangart wird aus folgenden Gründen verzichtet:

- Die Anzahl Gebäude mit Markisen (n=4) und Klappläden (n=6) ist für eine belastbare Auswertung zu klein.
- Die Anzahl der Gebäude mit Rollläden wäre genügend (n=25), jedoch werden Rollläden primär in Sanierungen eingesetzt. In Neubauten werden Rollläden laut Aussage eines Fassadenherstellers kaum mehr verbaut.

Die gemessenen Verschattungsfaktoren aus Tabelle 1 sind in Tabelle 2 gerundet und linearisiert dargestellt. Auf Verschattungsfaktoren für eine automatische Steuerung bei MFH wird verzichtet, da zu wenige Gebäude in der Messprobe waren und eine automatische Steuerung bei Wohngebäuden auch in Neubauten nur selten installiert wird.

Tabelle 1 Gewichtete Verschattungsfaktoren Sonnenschutz $f_{S,sh}$

Art der Steuerung	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
automatisch	0.60	0.61	0.56	10	1
manuell	0.78	0.80	0.77	22	35

Art des Behangs	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Klappläden	0.94	1.00	0.92	1	5
Markise	0.82	0.82		4	0
Rafflamellen	0.69	0.70	0.68	20	13
Rollladen	0.78	0.79	0.78	7	18

Alter des Gebäudes	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Altbau	0.76	0.74	0.77	26	28
Neubau	0.73	0.73	0.72	6	8

Glasanteil der Fassade		Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
<=20%		0.79	0.86	0.75	9	19
>20%	<=40%	0.77	0.72	0.82	14	11
>40%	<=60%	0.65	0.62	0.69	7	6
>60%	<=80%	0.62	0.62		2	0

Orientierung der Fassade	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
O	0.77	0.78	0.76	3	7
SO	0.72	0.74	0.71	4	5
S	0.75	0.77	0.69	10	3
SW	0.80	0.67	0.82	1	7
W	0.74	0.72	0.76	14	14

Total alle Objekte	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
	0.75	0.74	0.76	32	36

Tabelle 2 Für die Berechnung nach SIA 380/1 vorgeschlagene Verschattungsfaktoren Sonnenschutz bei einem Energiedurchlassgrad $g_{tot} < 0.1$

Glasanteil der Fassade	MFH	Büro	Büro
	manuell	manuell	automatisch
< 20%	0.85	0.85	keine Messwerte
21 - 40%	0.80	0.80	0.60
41 – 60%	0.70	0.70	0.60
> 60%	keine Messwerte		0.60

1.4 Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf

Zur Berechnung der Auswirkungen der hergeleiteten Verschattungsfaktoren Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf von Wohn- und Bürogebäuden wird das MuKE-Tool, Version 2.14, der kantonalen Energiefachstellen verwendet. Die Berechnung des Heizwärmebedarfs beruht auf SIA 380/1. In der Gebäudedatenbank des Tools befinden sich insgesamt 300 Gebäude, davon 74 Mehrfamilienhäuser und 60 Verwaltungsgebäude.



Bei der Berechnung werden nur Gebäude mit MuKE-Standard ab 2008 berücksichtigt, weil seitdem verschärfte Wärmeschutzanforderungen gelten. 32 Mehrfamilienhäuser und 16 Verwaltungsgebäude in der Datenbank erfüllen diesen Standard.

Tabelle 3 zeigt den mittleren zusätzlichen Heizwärmebedarf (ΔQ_h), berechnet mit dem Standardwert für den Aussenluftvolumenstrom ($0.7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$).

Tabelle 3 Zusammenfassung der Resultate, mittlerer zusätzlicher Heizwärmebedarf mit Verschattung

	MFH		Büro	
Verschattungsfaktor Sonnenschutz $f_{s,sh}$	0.85	0.70	0.85	0.60
	6%	18%	6%	18%
Zusätzlicher Heizwärmebedarf ΔQ_h	1.3 kWh/m ²	3.8 kWh/m ²	1.4 kWh/m ²	4.0 kWh/m ²

1.5 Schlussfolgerungen

Im Unterschied zu anderen Studien, in denen Verschattungsfaktoren rein analytisch aufgrund von durchschnittlichen Solarstrahlungsdaten ermittelt werden, resultieren mit dem im vorliegenden Projekt gewählten Ansatz tendenziell höhere Verschattungsfaktoren. D.h. die solaren Wärmeeinträge werden aufgrund des realen Nutzerverhaltens weniger stark reduziert, als rein analytisch anzunehmen wäre.

Die messtechnisch ermittelten Verschattungsfaktoren sind zudem, im Unterschied zu den analytisch berechneten Verschattungsfaktoren, nicht von der Orientierung der Fassade abhängig. Auch die Gebäudekategorie oder das Alter der Gebäude hatten bei den untersuchten Objekten keine signifikante Auswirkung auf die Verschattungsfaktoren. Dies führt zu verhältnismässig einfachen Verschattungsfaktoren Sonnenschutz, die nur vom Glasanteil der Fassade und von der Art der Steuerung (manuell, automatisch) abhängig sind. Es wird daher empfohlen, die vorgeschlagenen Verschattungsfaktoren Sonnenschutz in SIA 380/1 zukünftig zu berücksichtigen.



2 Einleitung

2.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Dem sommerlichen Wärmeschutz kommt in Planungsnormen und Energievorschriften eine zunehmend hohe Bedeutung zu. Es kann angenommen werden, dass die Sonnenschutzsysteme auch im Winter oft als Blend- oder Sichtschutz eingesetzt werden und somit zur Folge haben, dass solare Wärmeeinträge reduziert werden. Der Sonnenschutz wird in der Berechnung des Heizwärmebedarfs gemäss SIA 380/1:2016 nur unzureichend berücksichtigt. In diesem Kontext stellt der Beitrag von Sonnenschutzsystemen auf den Performance Gap ein aktuelles Thema in der Gebäudeforschung dar.

Ursachen für die teilweise grosse Diskrepanz zwischen berechnetem Heizwärmebedarf und effektivem Heizwärmeverbrauch wurden bereits detailliert untersucht (Hoffmann, 2017). Das reale Nutzerverhalten während der Heizperiode bezüglich des Einsatzes von Sonnenschutzsystemen wurde jedoch wenig thematisiert (Polinder et al., 2013). Verschattungsmessungen an Gebäuden mit aussenliegendem Sonnenschutz wurden bisher nur an wenigen Gebäuden durchgeführt, vgl. Literaturstudie Tabelle 4. Um die Berechnung des Heizwärmebedarfs zu verbessern, ist es daher erforderlich, die Datengrundlage für Verschattungsfaktoren von Sonnenschutzsystemen bei Wohn- und Bürogebäuden zu vergrössern.

Die Ziele dieser Studie sind:

- Ermittlung der durchschnittlichen Verschattungsfaktoren von beweglichen Sonnenschutzsystemen während der Heizperiode bei Wohn- und Bürogebäuden.
- Ermittlung der Auswirkungen der Verschattungsfaktoren auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden
- Abschätzung des Effizienzpotentials durch Anpassung der Regelstrategie bei automatischen Sonnenschutzsystemen in Wohn- und Bürogebäuden.
- Vorschlag von Verschattungsfaktoren Sonnenschutz für SIA 380/1

2.2 Vorgehen

Die Grundlage der Arbeit bildet eine Auswertung von Fassadenaufnahmen von 36 Mehrfamilien- und 32 Bürogebäuden im Zeitraum Oktober 2016 bis April 2017 an mehreren Standorten in der Schweiz. Die Aufnahmen werden pro Fassade jeweils zu drei Tageszeiten (9:00, 12:00 und 15:00 Uhr) und während jeweils einer Woche pro Monat ausgewertet. Somit entstehen insgesamt 147 Aufnahmen pro Fassade.

Messgrösse ist der Anteil der verschatteten Fensterfläche pro Aufnahme, wobei je nach Strahlungsverhältnissen (Direktstrahlung ja oder nein) unterschieden wird. Daraus resultiert jeweils ein durchschnittlicher Anteil verschatteter Fenster pro Gebäude bzw. pro Fassade bei Direkt- und bei Diffusstrahlung. Diese beiden Anteile werden danach mit den jeweiligen Energieanteilen der Solarstrahlung bei Direkt- und Diffusstrahlung pro Heizsaison (Durchschnitt über die Monate Oktober bis April) gewichtet und so zu einem gewichteten Verschattungsfaktor Sonnenschutz summiert.

In einem weiteren Schritt wird die Auswirkung des Verschattungsfaktors Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf von Wohn- und Bürogebäuden ermittelt sowie eine Abschätzung des Effizienzpotentials durch Anpassung der Regelstrategie bei automatischen Sonnenschutzsystemen getroffen.



3 Literaturrecherche

3.1 Verschattungsmessungen

Verschattungsmessungen werden bereits seit den späten 70er Jahren durchgeführt. Tabelle 4 zeigt eine nicht abschliessende Auflistung der am häufigsten zitierten Messstudien der letzten Jahrzehnte und die gemessenen mittleren Verschattungsgrade pro Orientierung. Neben den Verschattungsgraden wurde immer auch versucht, ein Bezug zu anderen Messgrössen wie bspw. Orientierung, Tageslicht, Solarstrahlung oder Tageszeit herzustellen. Die Studien konnten jedoch keine uniformen Zusammenhänge von Einflussgrössen herstellen, was vermutlich an der geringen Anzahl von untersuchten Gebäuden und den unterschiedlichen Messmethoden liegt. Die Messmethoden unterscheiden sich in der Abstufung der Verschattungsanteile, den Messintervallen, Abstufung der Messung der Lamellenwinkel und Gewichtung der unterschiedlichen Tageszeiten und Himmelsverhältnissen (bewölkt, sonnig). Aufgrund der grossen Varianz der Messmethoden wird darauf verzichtet, alle im Detail zu beschreiben. Es sei auf die Literatur in Tabelle 4 verwiesen.

In den bisherigen Studien wurden gesamthaft bei zwischen 50 und 100 Bürogebäuden der Anteil der durch externen Sonnenschutz verdeckten Fensterfläche gemessen, in den allermeisten Fällen innen-, zwischen- oder aussenliegende Rafflamellen. Die Messmethodik, Aufnahmezeiträume, Gebäudecharakteristiken und klimatischen Randbedingungen dieser Messungen variieren stark. Ein direkter Vergleich dieser Studien ist somit wenig sinnvoll. Bisher gibt es noch keine Vorschriften, wie solche Messungen durchgeführt werden sollen. Und dies obwohl bereits 1997 von der IEA ein Protokoll zur Messung der Tageslichtstärke eingeführt wurde (Atif, Love, & Littlefair, 1997), welches auch die Messung des Gebrauchs des Sonnenschutzes empfiehlt, aber keine Vorgaben dazu macht, in welcher Art und Weise gemessen, resp. dokumentiert werden soll. Für die Schweiz wurde bisher erst ein Forschungsbericht mit Messung der Verschattung und Anzahl der Storenbewegungen veröffentlicht (Société Estia SA, 2014). Der Grund, dass bisher nur einzelne solcher Messungen durchgeführt wurden liegt in der aufwendigen Auswertung, welche manuell anhand von fotografischen Aufnahmen erfolgt. Gäbe es einen automatisierten Bildalgorithmus, der geeignet ist, die Storenpositionen richtig zu erkennen, wäre eine breite Datenbasis einfacher zu gewinnen. Eine Masterarbeit mit automatischem Bildalgorithmus wurde jedoch an der TU Wien verfasst (Sukru Tokel, 2006). Für die Auswertung der Positionen der innenliegenden Jalousien wurde ein dafür erstelltes Plug-In in Labview verwendet. Somit konnten 15 Büroräume auf einer Fassade während eines Jahres in 5 Minuten-Intervallen ausgewertet werden. Leider ist das Programm nicht öffentlich verfügbar. Bisher ist keine weitere Studie bekannt, welche eine digitale Auswertungsmethode verwendet.

Eine umfassende Literaturübersicht der internationalen Studien zum Thema Verschattungsmessung und dem Einfluss des Sonnenschutzes auf den Energiebedarf von Gebäuden geben (Bellia, De Falco, & Minichiello, 2013; Van Den Wymelenberg, 2012).



Tabelle 4 Zusammenfassung Verschattungsgrade („blind occlusion“) aus der Literatur

Autor	Standort	Ausgewertete Fenster	Mess-zeitraum	Mess-intervall	Behang	Mittlerer Verschattungsgrad (0-100%)			
						Nord	Ost	Süd	West
Rubin et al., 1978	6 Bürogebäude Maryland, USA	725 pro Monat	je 4 Tage im Okt; Feb; Juli	9:00; 12:00; 16:00	Jalousien (innen)	Häufigkeitsverteilung der Storenpositionen und Lamellenöffnung. Häufigste: ganz unten mit horizontalen Lamellen oder nicht verschattet.			
Rea, 1984	1 Hochhaus, Ottawa, Kanada	3330	26.Apr.1982; 21.Mai 1982	9:30; 12:00; 14:30	Jalousien (innen)	k.M.	50%	66%	62%
Inoue, Kawase, Ibamoto, Takakusa, & Matsuo, 1988	4 Hochhäuser Tokyo, Japan	1154	Winter	k.A.	Lamellen	k.M.	30 – 55 %	15 – 70%	k.M.
Pigg, Eilers, & Reed, 1996	61 Büroräume, Milwaukee USA	k.A.	Feb-Mai 1995	1x wöch. 6-16 Uhr	k.A.	< 1%	k.M.	14%	k.M.
Foster & Oreszczyn, 2001	3 Bürogebäude, London UK	60 Fenster/ Gebäude	12.-20.Dez. 1996	mittags	Lamellen (L); Markise (M)	35–50% (L)	21-45% (L); 30-40% (M)	20-25% (L); 50% (M)	20-55% (L)
C. Reinhart & Voss, 2003	10 Büros, Weilheim Deutschland	k.A.	22.März- 3.Dez.2000	bei Bewegung	Lamellen automatisch	Schliessung wenn Helligkeit >28klux. Messung der Übersteuerung durch den Nutzer.			
Inkarojrit, 2005	1 Bürogebäude, Berkeley, USA	9700	24. Sept. – 4.Okt. 2002	9:00, 13:00, 16:00, 18:00	Jalousien	50%	80%	80%	k.M.
Sutter et al., 2006	8 Büroräume, Lyon Frankreich	k.A.	Jan-Sept 2002	15 Min	Jalousien	k.M.	k.M.	20-50%	k.M.
Nicol et al., 2006	26 Gebäude in Europa	k.A.	1997-2000	1x monatlich	k.A.	Allgemein: sonnig 39%, bewölkt 32%; Winter: 14-18%			
Kim et al., 2009	1 Hochhaus Seoul, Südkorea	468 Fenster	4 Tage im Sommer	10 Min. 9-18 Uhr	motorisierte Jalousien (innen)	k.M.	70-80% sonnig 10-80% bewölkt	70-80% sonnig 50-60% bewölkt	10-80%sonnig 70-80% bewölkt
A. Mahdavi, Mohammadi, Kabir, & Lambeva, 2008/	2 Bürogebäude Wien, Österreich	42 Büros	1 Jahr	5 Min.	Jalousien (innen)	< 20%	20-50%	70-80% (SW)	k.M.

Sukru Tokel, 2006									
Day, Theodorson, & Van Den Wymelenberg, 2012	1 Bürogebäude,	35	25.Okt- 4.Nov. 2010	2h 8:30-16:30	Vertikale Lamellen (innen)	28%	53%	70%	k.M.
Zhang & Barrett, 2012	1 Hochhaus in Sheffield, England	1764	Jan 2005- April 2006	10:00; 15:00	Jalousien (innen)	Häufigkeitsverteilung der Storenpositionen, gleiches Messschema wie bei Rubin (1978)			
Société Estia SA, 2014	4 Bürogebäude, Lausanne	125 Fenster	1.Feb. 2013- 31.Jan. 2014	1h	Lamellen (aussen)	k.M.	Winter: 22% Sommer: 48%	Winter: 69% Sommer: 78%	Winter: 58% Sommer: 55%



3.2 Energetische Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen

Die physikalisch-thermischen Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen variieren stark nach Behangart, Materialfarbe, Oberflächenbeschaffenheit, Lamellenform und –breite. Hersteller veröffentlichen auf ihren Webseiten Anhaltswerte für die physikalischen Eigenschaften (Abminderungsfaktor F_c , Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} für Verglasung und Behang) für ausgewählte Verglasungen, welche aber nur beispielhaft sind. Für jede individuelle Verglasung müssen diese Werte erneut berechnet werden. Mithilfe der strahlungsphysikalischen Behangdaten, welche nach Prüf- und Berechnungsnorm DIN EN 14500 (2008) ermittelt werden, können diese Werte nach der neuen DIN EN 52022 (2017) berechnet werden. Dabei beträgt der Arbeitswinkel bei Rafflamellen 45° .

Auch die European Solar Shading Organization (ES-SO) veröffentlicht eine Liste von Publikationen und eigens erstellten Berichten zu verschiedenen Sonnenschutzarten (Lamy, 2015). In der Bücherliteratur (Schoch, 2009) finden sich Tabellen mit nach EN 13363-1 (2013) berechneten Gesamtenergiedurchlassgraden.

Wie der g-Wert der Verglasung hängt auch der Gesamtenergiedurchlassgrad von Verglasung und Sonnenschutz g_{tot} von der Art und dem Spektrum der Strahlungsquelle, dem Einstrahlwinkel und dem inneren Wärmeübergangskoeffizient ab. Ein Messaufbau mit normierten und kontrollierten Eingangsgrößen ist somit aufwendig gestaltet. Die EMPA verfügt über solche Prüfstände und veröffentlicht für Rafflamellenstoren diverse Messberichte für solare Gewinne (Loutzenhiser, Manz, Carl, Simmler, & Maxwell, 2008; Simmler, 2003). Empirisch gemessene Werte für Rafflamellen sind ausserdem in (Haug, 2001) verfügbar. In den gängigen Simulationsprogrammen (z.B. TAS) müssen Sonnenstoren mit selbst recherchierten Werten eingerichtet werden, voreingestellte Standardwerte existieren nicht. Generell kann man davon ausgehen, dass bei Rafflamellen in einer 45° Stellung und einem Einfallswinkel von ca. 30° g_{tot} -Werte von bis zu 0.16 erreicht werden können. In geschlossener Stellung (d.h. Lamellenwinkel 90°) und je nach Farbe bis 0.03, d.h. nur 3% der solaren Strahlungsenergie gelangen als direkte Wärmeeinträge in den Raum. Bei Markisen ist der Energiedurchlassgrad generell etwas höher, aber auch hier kommt es auf die Stoffart und Farbe an. Bei komplett geschlossener Vertikalmarkise resultieren g_{tot} -Werte von bis zu 0.18.

In der Schweiz gelten die Anforderungen an den Gesamtenergiedurchlassgrad von Fassadenfenstern und Oblichtern gemäss SIA 180 (2014). Der maximal zulässige g_{tot} -Wert ist abhängig von der Fassadenorientierung und dem Glasanteil der Fassade bzw. vom Glasanteil des Dachs.

Grundsätzlich ist die Lichttransmission höher, je heller die Behangfarbe. Dies wird auch in der neuen SIA 387/4 (2017) Norm für Beleuchtung berücksichtigt und mit Faktoren von 1.0 bis 1.4 gewichtet. Beim Wärmeübergang sorgt eine hellere Farbe für mehr Reflexion und somit weniger sekundäre Wärmetransmission. Je dunkler der Behang, desto weniger Tageslicht fällt in den Raum und desto höher die Wärmetransmission.

3.3 Einfluss auf den Heizwärmebedarf

In thermischen Gebäudesimulationen ist der Einfluss eines externen Sonnenschutzes auf den winterlichen Heizwärmebedarf sehr unterschiedlich. In einigen Studien ist er verhältnismässig Bescheiden, d.h. unter +5% des Heizwärmebedarfs ohne Verschattung (Bellia et al., 2013; Grynning, Time, & Matusiak, 2014; van Hooff, Blocken, Timmermans, & Hensen, 2016), siehe auch Tabelle 5. Der Hauptfokus von Studien, wo eine Gesamtenergieoptimierung (Heiz-, Kühl- und



Beleuchtungsenergie) gerechnet wird, liegt in der Regel auf den Einsparungen an Kühlenergie im Sommer. Der Einfluss auf den Heizwärmebedarf wird oft nur am Rande erwähnt und selten beziffert.

Einige andere Studien, wo der Sonnenschutz einen doch grösseren Einfluss auf den Heizwärmebedarf hatte, sind ebenfalls in Tabelle 5 aufgelistet. Für ein dänisches Klima konnte in einer Simulation eines Zweierbüros mit Neubauqualität und Südfassade für verschiedene Fenstergrössen ein Mehrverbrauch von bis zu 50% des Heizwärmebedarfs aufgrund von entweder fixer oder dynamischer Verschattung errechnet werden, während auf der Nordseite die Verschattung keinerlei Einfluss hatte (Nielsen, Svendsen, & Jensen, 2011). Auch eine andere Studie mit belgischen Wetterdaten konnte zeigen, dass eine Steuerung die alleine auf der Solarstrahlungsintensität beruht, im Winter ein Mehrverbrauch des Heizwärmebedarfs von bis zu 37% zur Folge hat (van Moeseke, Bruyère, & De Herde, 2007).

Gerade bei Energiesimulationen spielt der Verschattungsalgorithmus neben dem Klima und anderen Eingangsparametern eine grosse Rolle. Wenn nur die Globalstrahlung als Regelparameter verwendet wird, resultiert ein grösserer zusätzlicher Heizwärmebedarf als für Globalstrahlung *und* Raumtemperatur.

Ältere Bürogebäude mit Baujahr vor 1990 ohne energetische Erneuerungsmassnahmen konnten in thermischen Simulationen für Südfassaden Einsparungen bis zu 10 kWh/m² und Jahr an Heizwärmebedarf generieren, wenn die Steuerung für externen Sonnenschutz und innenliegenden Blendschutz optimiert wird (Lemon Consult AG, 2009). Dies entspricht einer prozentualen Reduktion von 27% des Heizwärmebedarfs gegenüber einer Fassade mit ausschliesslich externem Sonnenschutz. Bei Neubauten fällt das Einsparpotential durch einen zusätzlichen innenliegenden Blendschutz dagegen deutlich geringer aus.

Eine langjährige Messkampagne im Firmengebäude von Elektroplan Buchs & Grossen AG konnte zeigen, dass eine automatische Steuerung (Griesser AG) zur passiven Wärmenutzung und innenliegender Blendschutz den Heizwärmeverbrauch um bis zu 25% senken konnte.

Auch bei (Poirazis, Blomsterberg, & Wall, 2008) beträgt der jährliche Heizwärmebedarf für ein sechsstöckiges symmetrisches Bürogebäude mit Nordwest-Südost-Ausrichtung bei externer Beschattung und einem Gesamtenergiedurchlassgrad von 0.35 der Verglasung 58.9 kWh/m², während bei internem Blendschutz und einem g-Wert von 0.58 nur 48.5 kWh/m² und Jahr resultieren. Dies für einen Glasanteil der Fassade von 60%. Insgesamt wurden 84 Varianten durchgerechnet für Glasanteile von 30, 60 und 100%.

Somit spielt nicht nur die Verschattungssteuerung sondern auch die Kombination aus innenliegendem Blendschutz und aussenliegendem Sonnenschutz eine wichtige Rolle für den optimalen Komfort und Energieverbrauch. Die Optimierung des Zusammenspiels von optimaler Tageslichtnutzung, Blendschutz und energetischen Massnahmen ist eine komplexe Aufgabe. Im Hinblick auf den zunehmenden Einsatz automatisierter Gebäudetechnik sind computerbasierte Analysemethoden für solche integrierten Designansätze bereits in der Planungsphase von grösserer Wichtigkeit (Koo, Yeo, & Kim, 2010; C. F. Reinhart & Wienold, 2011). Oft fehlt jedoch später in der Umsetzung die Integration der unterschiedlichen Steuersysteme (für Beleuchtung, Sonnenschutz, Heizung und Kühlung) in der Gebäudeleittechnik (Shen, Hu, & Patel, 2014). Das Wissen und die Technologien dazu wären jedoch bei grösseren Herstellern von Sonnenschutzprodukten und -steuerungen vorhanden, wie die Untersuchung von (Rittener, 2015) zeigt.

Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung des Einflusses von beweglichen Sonnenschutzeinrichtungen auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf wurden in EN ISO 13790 (2008)



Angang G publiziert. Die Abminderungsfaktoren sind monatlich für drei Standorte (Paris, Rom, Stockholm) und jeweils vier Fassadenorientierungen (N, O, S, W) angegeben. Die Werte wurden abgeleitet als die Summe der stundenbezogenen Solarstrahlungsintensität für alle Stunden im Monat mit einer Intensität von mehr als 300 W/m^2 . Für den Standort Paris resultiert beispielsweise für eine Südfassade ein durchschnittlicher Abminderungsfaktor während der Heizperiode (Oktober bis April) von 0.45. Für Ost- und Westfassaden ergeben sich deutlich höhere Werte im Bereich von rund 0.8.

Im Auftrag der Kommission SIA 380/1 wurde ebenfalls der Einfluss von aussenliegenden Sonnenschutzsystemen, die im Winter als Blendschutz eingesetzt werden, auf die Solargewinne mittels thermischer Simulationen untersucht (Kulemann C. 2004). Dabei wurden unterschiedliche Ansprüche an den Blendschutz (gering: Direktstrahlung $> 500 \text{ W/m}^2$, mittel: Direktstrahlung $> 250 \text{ W/m}^2$, hoch: Direktstrahlung $> 20 \text{ W/m}^2$) an drei Standorten (Davos, Zürich, Locarno) berücksichtigt. Die Reduktionsfaktoren für eine Südfassade in Zürich liegen bei mittlerem Anspruch an den Blendschutz bei 0.67, bei hohem Anspruch an den Blendschutz bei 0.14 (Mittelwerte der Monate Oktober bis April). An Ost- und Westfassaden liegen die entsprechenden Reduktionsfaktoren bei rund 0.85 bei mittlerem und rund 0.4 bei hohem Anspruch an den Blendschutz.



Tabelle 5 Zusammenfassung thermische Energiesimulationen mit Bezug auf Sonnenschutz und Heizwärmebedarf (HWB)

Autoren	Programm	Standort	Nutzung	Sonnenschutzsteuerung	Einfluss auf HWB [%]
Newsham, 1994	FENESTRA	Toronto	Einzelraumbüro ca. 30m ²	manuell durch Nutzer	+17% (Südfassade)
van Moeseke, Bruyère, & De Herde, 2007	TRNSYS	Belgien	Einzelraumbüro, ca. 15m ²	Strahlungsintensität	je nach Schwellwert bis +35% (Südfassade)
Lemon Consult AG, 2009	IDA-ICE	Zürich, Schweiz	Einzelraumbüro ca. 20m ²	Optimierung durch innenliegenden Blendschutz im Vergleich zu nur externem Sonnenschutz: Schwellwert Raumtemperatur (24°C) und Globalstrahlung (200W/m ²)	-27%
Palmero-Marrero & Oliveira, 2010	TRNSYS	Mexico, Cairo, Lisbon, Madrid, London	Bürogebäude, TRNSYS Typ 56 Geschossfläche 120m ²	nach Einfallswinkel (standortabhängig)	Bis + 50% (Madrid & London, Süd)
Nielsen, Svendsen, & Jensen, 2011	iDbuild	Dänemark	Einzelraumbüro 18m ²	Während Anwesenheit: dynamischer Blendschutz (Cut-off Winkelgesteuert) und Innenraumtemperatur-Schwellwert.	Bis +50% (Süd, Fensterhöhe 1.5-2.0 m)
Bellia et al., 2013	EnergyPlus	Italien (Mailand, Rom, Palermo)	Bürogebäude Gesamtgeschossfläche > 400m ²	fixer Übergang für Südfassade, Ost- & West mit Rafflamellen (fixer Verschattungsgrad)	< 5%
Grynning, Time, & Matusiak, 2014	EnergyPlus	Oslo, Norwegen	Einzel-/Doppelbüro 10m ² und 18m ²	6 verschiedene Strategien; Strategie 3: Vermeidung von Blendung (DGI=22)	Strategie 3: < 5%
van Hooff, Blocken, Timmermans, & Hensen, 2016	EnergyPlus	De Bilt, Holland (Klimadaten aus 2006, warmes Jahr)	Einfamilienhaus	aktiviert wenn Raumtemperatur (>21°C) UND gleichzeitig >150 W/m ²	keinen Einfluss
Karlsen, Heiselberg, Bryn, & Johra, 2016	IDA-ICE	Aalborg, Dänemark; Oslo und Røros, Norwegen	Einzelraumbüro ca. 12 m ² Südfenster	4 verschiedene Strategien: 1-3 optimiert nach Raumtemperatur und Solarstrahlung; 4: Nur nach Solarstrahlung;	+ 17% mehr Heizleistung für Januartage; Strategie 1-3: kaum Einfluss; 4: +20 bis + 50%
Yves Rittener, Griesser AG	Messung	Buchs, SG	Firmengebäude Elektroplan Buchs & Grosse AG	Griesser Passivwärmenutzung mit optimiertem Blendschutz (innenliegend) und aussenliegendem Sonnenschutz	-25%



3.4 Modellierung des Nutzerverhaltens in Simulationen

Dass schlussendlich auch der Nutzer einen grossen Einfluss auf die Wirksamkeit solcher Optimierungen hat, ist unbestreitbar. Die „reale“ Abbildung des Nutzerverhaltens in Simulationsprogrammen (selbst bei automatischer Steuerung) ist daher ebenfalls ein Forschungsfeld für sich. Grundsätzlich kann der Nutzer entweder statisch/deterministisch (Crawley et al., 2001; Strachan, 2000) oder stochastisch/probabilistisch (Haldi & Robinson, 2009; C. F. Reinhart, 2004) modelliert werden. Bei statischer Modellierung gelten immer dieselben Regeln wann der Sonnenschutz aktiviert wird, z.B. nach festgelegten Schwellwerten. Für stochastische/probabilistische Modellierung gibt es verschiedene Ansätze, die auf probabilistisch-dynamischen Szenarien beruhen, bspw. ob der Nutzer ankommt, bleibt oder geht. Für weitere Vertiefung und Literaturangaben wird auf die Studie von (Correia da Silva, Leal, & Andersen, 2015) verwiesen. In dieser Studie wurden unterschiedliche Ansätze zur Nutzermodellierung getestet und mit experimentellen Messungen aus acht Bürogebäuden verglichen. Für die Beleuchtung konnte gezeigt werden, dass der bisherige deterministische Ansatz qualitativ genügend genau ist, jedoch für die Aktivierung des Sonnenschutzes ein probabilistisches Modell bessere Resultate liefert.

Ein Standard für das Abbilden des Nutzers in Gebäudesimulationen konnte noch nicht festgelegt werden, viele nationale Gebäudeenergiestandards verzichten bisher auf eine solche Berechnung bei der Bestimmung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs. Die EN ISO 13790 empfiehlt jedoch ein dynamisches Verfahren mit einer Aktivierung ab Solarstrahlungsintensität von 300 W/m^2 auf dem Fenster. Die grösste Häufigkeit der Aktivierung bei manuellen Sonnenstoren geschieht um Solarstrahlungswerte zwischen 150 bis 300 W/m^2 (Newsham, 1994; Sukru Tokel, 2006), was ungefähr auch dem Auftreten von direkter Sonnenstrahlung entspricht (insgesamt abhängig vom Azimut). In Bezug auf die Helligkeit, welche indirekt mit der Solarstrahlungsintensität korreliert, wurde in einer Studie (Sutter et al., 2006) 50% der Storen bei einer äusseren Helligkeit von $15'000 \text{ lux}$ geschlossen, während bei $8'000 \text{ lux}$ 62% der Storen wieder geöffnet wurden.

Auch im Hinblick auf die Nutzerzufriedenheit bezüglich der Interaktion und Kontrollmöglichkeit von aussenliegendem Sonnenschutz gibt es diverse Studien (Galasiu & Veitch, 2006; Grynning, Lolli, Wågø, & Risholt, 2017; Karjalainen, 2013; Karlsen, Heiselberg, & Bryn, 2015; Sutter et al., 2006). Generell werden vollautomatische Regelsysteme, die dem Nutzer keine Übersteuerungsmöglichkeit geben, als unangenehm empfunden. Wenn eine Übersteuerungsmöglichkeit gegeben ist, wird diese auch häufig benutzt. In der Studie von (Sadeghi, Karava, Konstantzos, & Tzempelikos, 2016) war dies im Durchschnitt etwas mehr als zweimal täglich der Fall. Auch bei (C. Reinhart & Voss, 2003) wurden bei automatischen Schliessungen in 45% der Fälle der Storen durch den Nutzer wieder geöffnet. Automatische Öffnungen wurden indes immer akzeptiert. Die Schliessautomatik wurde nur dann akzeptiert, wenn Helligkeit mindesten $50'000 \text{ lux}$ betrug ($\sim 450 \text{ W/m}^2$) oder der Arbeitsplatz von direktem Sonnenlicht beschienen wurde.



3.5 Sonnenschutzsteuerung in der Praxis

In der Praxis ist es entscheidend, ob die Steuerung manuell (Handkurbel oder motorisiert) oder automatisch durch Sensoren erfolgt. Dies wirkt sich natürlich nicht nur auf den Energiebedarf sondern auch auf die Dynamik und somit den Komfort für die Benutzer im Gebäude aus. Bei manueller Steuerung ist die Dynamik eher tief und es treten im Durchschnitt zwischen 0.7 Manipulationen pro Tag (Sutter et al., 2006) bis 1.74 Manipulationen pro Woche (Société Estia SA, 2014) auf (Manipulation = Bewegung des Sonnenschutzes oder Änderung des Anstellwinkels bei Lamellen). Bei einer Fernsteuerungsmöglichkeit sind bis zu 2.1 Manipulationen pro Tag gemessen worden (Sutter et al., 2006). Bei der Bewegungsdynamik spielt natürlich die Orientierung der Fassade auch eine Rolle. Es wird jedoch deutlich, dass im Vergleich zu automatischer Steuerung, wo dem Nutzer eine Übersteuerungsmöglichkeit gegeben wird, die Anzahl an totalen Manipulationen (automatisch und übersteuert) grösser wird: bis zu 3.6 pro Tag im Durchschnitt (C. Reinhart & Voss, 2003). Bei (Sadeghi et al., 2016) betrug die durchschnittliche Anzahl Manipulationen der (motorisierten) Storen bei einem Wandschalter im Schnitt 1.36 pro Tag, bei einem Computerinterface, welches als Fernsteuerung interpretiert werden kann und im Vergleich zum Wandschalter wesentlich leichter zugänglich ist, betrug die Anzahl Manipulationen 2.63 pro Tag, was einer knappen Verdoppelung entspricht. Beim Wandschalter waren die Storen ausserdem häufiger in komplett offener oder geschlossener Position als beim Webinterface. Dies lässt sich damit erklären, dass die Storen beim Wandschalter aus Bequemlichkeitsgründen eher bei Ankunft einmal angepasst und nachher nur noch selten verändert werden.

Bei grösseren Herstellern von Sonnenschutzsystemen inkl. Steuerung wird daher darauf geachtet, die Beschattung effektiv nur dann zu aktivieren, wenn auf der Fassade auch direktes Sonnenlicht scheint. Dies wird realisiert mittels Gebäudesimulationen und Tagesgang der Sonne, sowie Verschattung durch angrenzende Gebäude und den Horizont (Griesser). Dabei können unterschiedliche Schwellwerte pro Zone eingerichtet werden und auch Zonen in ganz freien Formationen definiert werden. Diese Steuerungen werden in der Regel für Bürogebäude und andere grössere Zweckbauten wie Spitäler realisiert. Typische Globalstrahlungs-Schwellwerte sind 150 W/m^2 ausserhalb der Heizperiode, resp. 250 W/m^2 während der Heizperiode. Ein ständiges Hoch- und Runterfahren der Storen wird mittels Aktivierungs- und Rückstellverzögerungsparametern eingestellt. Neben diesen Parametern spielen auch der Wind- und Frostschutz im Winter eine übergeordnete Rolle.

Bei Einfamilienhäusern ist es möglich auf Storen via Smartphone zurückzugreifen (Stichwort Fernsteuerung, Smart Home, bspw. von Somfy). Hier wird ebenfalls eine ganze Palette an Produkten angeboten, die auf eine Personalisierung abzielt. Es ist jedoch vor allem im Wohnbereich noch oft so, dass Sonnenstoren bei Abwesenheit und nachts ganz geschlossen werden, um die Einbruchsicherheit zu erhöhen. Im Winter kann dies natürlich die Transmissionswärmeverluste senken und dadurch Heizenergie einsparen.



4 Verschattung und Sonnenschutz in den Normen

4.1 Verschattungsfaktoren in SIA 380/1

Die Norm SIA 380/1 *Heizwärmebedarf* berücksichtigt fixe Verschattungselemente wie Horizont, Überhang und Seitenblenden bei der Berechnung der solaren Wärmeeinträge pro Fenster. Die bestehenden Verschattungsfaktoren für Horizont, Überhang und Seitenblenden sind an die Faktoren von ISO 13790 (neu ab 2017 als EN-ISO 52016-1 bezeichnet), Anhang G angelehnt und wurden erstmals 1998 in der EN 832 Norm veröffentlicht. Die Verschattungsfaktoren basieren auf einer Modellrechnung und repräsentieren eine über die Heizmonate (Oktober bis April) gemittelte Verschattung. Sie bezeichnen das Verhältnis der projizierten hemisphärischen Strahlung auf dem verschatteten Fenster zur projizierten hemisphärischen Strahlung auf dem unverschatteten Fenster.

Die zusätzliche Verschattung durch aussenliegende bewegliche Sonnenschutzsysteme wird dagegen in SIA 380/1 nicht bzw. nur in abgeschwächter Form über den monatlichen Ausnutzungsgrad für Wärmeeinträge berücksichtigt. In Monaten, in denen die Wärmeeinträge kleiner sind als die Wärmeverluste, werden die solaren Wärmeeinträge zu nahezu 100% angerechnet. Dies ist typischerweise von November bis Februar der Fall. In der Übergangszeit, zu Beginn und am Ende der Heizperiode, werden die solaren Wärmeeinträge aufgrund des monatlichen Ausnutzungsgrads nur noch zum Teil angerechnet (siehe auch Kap. 7.3.3).

4.2 Sonnenschutz in SIA 387/4

Der Sonnenschutz spielt auch in der Beleuchtungsnorm SIA 387/4 eine Rolle. Die jährlichen Volllaststunden für Beleuchtung werden mit zwei Korrekturfaktoren multipliziert. Der erste bezieht die Steuerung des Sonnenschutzes mit ein, der zweite dessen Farbe (hell: 1.0 -1.1, mittel 1.2, dunkel: 1.3, lichtundurchlässig: 1.4). Für die Steuerung gibt es fünf Funktionstypen: manuell: 1.4, motorbetrieben und manuell: 1.3, motorbetrieben und automatisch: 1.2, motorbetrieben und automatisch mit Verschattungsautomatik: 1.1, motorbetrieben und automatisch mit Lamellennachführung: 1.0.

SIA 387/4 enthält neben dem Volllaststundenverfahren auch eine Berechnung der Jahresenergie der Beleuchtung im Stundenschritt, wobei der Sonnenschutz in Anlehnung an SIA 411 mit drei unterschiedlichen Regelstrategien berücksichtigt werden kann: motorbetrieben mit manueller Steuerung, Motorbetrieben mit automatischer Steuerung, motorbetrieben mit automatischer Steuerung und Lamellennachführung.

4.3 Sonnenschutz in SIA 2044

Das Stundenverfahren gemäss SIA 2044 berücksichtigt den Sonnenschutz bei der Berechnung der solaren Wärmeeinträge. Übersteigt die projizierte hemisphärische Solarstrahlung auf der Fensterebene den Grenzwert von 90 W/m^2 auf der Fensterinnenseite, wird der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} der Verglasung inkl. Sonnenschutz berücksichtigt. Bei geringerer Strahlungsstärke wird nur der g-Wert der Verglasung berücksichtigt. Damit wird implizit immer, d.h. unabhängig von Raumnutzung und Gebäudekategorie, eine automatische Steuerung des Sonnenschutzes vorausgesetzt. In der aktuellen Revision von SIA 2044 ist einer Erweiterung der Regelstrategien von Sonnenschutzsystemen in Anlehnung an das Stundenverfahren von SIA 387/4 vorgesehen.



5 Methodik

5.1 Sonnenschutzsysteme und Behangarten

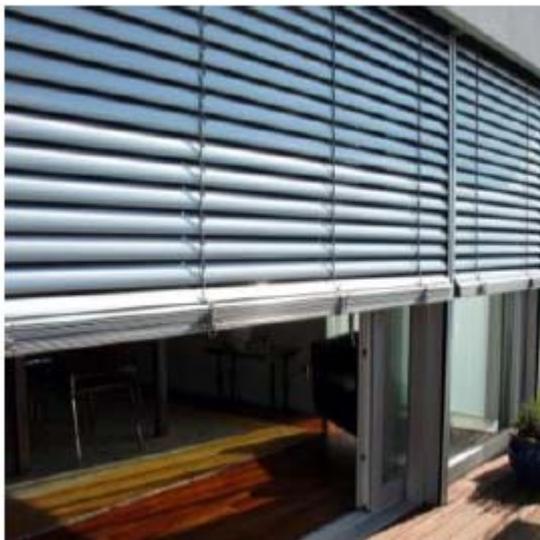
Sonnenschutzsysteme können in mehrere Klassen unterteilt werden: feste oder bewegliche, aussen-, zwischen- oder innenliegende, horizontale oder vertikale. Auch die Materialeigenschaften können variieren von Stoff, Holz bis zu Metall. Die Beschichtungen und Geometrien variieren von Produkt zu Produkt. Im Rahmen der Verschattungsstudie werden die vier häufigsten Behangarten unterschieden. Diese sind in Abbildung 2 dargestellt.



a) Klappläden



b) Rollläden



c) Rafflamellen



d) Vertikale Markisen

Abbildung 2 Sonnenschutzarten (Quellen: www.sonnenschutz.com, www.tronicke.eu, 11/2016)



5.2 Gebäudeauswahl

Es werden Fassadenaufnahmen von 32 Bürogebäuden und 36 Mehrfamilienhäusern ausgewertet. Eine tabellarische Übersicht der Objekte gibt Tabelle 6 wieder. Die Eigenschaften der Gebäuestichprobe sind in Abbildung 4 bis Abbildung 6 dargestellt. Bezüglich Fassadenorientierung ist die Gebäudeauswahl relativ gleichmässig verteilt, mit dem grössten Anteil Richtung Westen. Nordfassaden werden nicht untersucht, da die Solarstrahlung insbesondere im Winter vernachlässigbar ist, wie Abbildung 3 zeigt. Pro Gebäude wird in der Regel jeweils nur eine Fassadenorientierung ausgewertet.

Beim Alter der Gebäude überwiegt der Altbauanteil, nur 20% des Samples sind Neubauten (mit Baujahr ab ca. 2000). Bezüglich der Art des Behangs sind vorwiegend Gebäude mit Rafflamellen und Rolläden vorhanden. Eine Statistik über die Verteilung von Sonnenschutzsystemen im Gebäudebestand konnte nicht gefunden werden. Informationen von Fassadenunternehmen deuten an, dass bei Neubauten hauptsächlich Rafflamellen und Stoffmarkisen eingesetzt werden. Bei Renovationen werden teilweise noch Rolläden verwendet. Im Sample sind daher Rafflamellen am häufigsten vertreten ($n=33$), gefolgt von Rolläden (hoher Altbauanteil, $n=25$), Klappläden ($n=6$) und Markisen ($n=4$). Der Anteil an Klappläden wurde bewusst klein gehalten, da diese selten geschlossen und in Neubauten kaum noch eingesetzt werden. Gebäude mit Vertikalmarkisen konnten in den Aufnahmen nur wenige gefunden werden und ausschliesslich mit Büronutzung.

Automatisierte Regelung der Verschattung konnte nur bei einem Mehrfamilienhaus gefunden werden. Bei Bürogebäuden ist dies eher die Regel, jedoch weisen nur ca. ein Drittel der Gebäude im Sample einen automatisierten Sonnenschutz auf. Dies liegt daran, dass sich viele der öffentlichen Kameras im Altstadtgebiet mit wenigen Neubauten befinden.

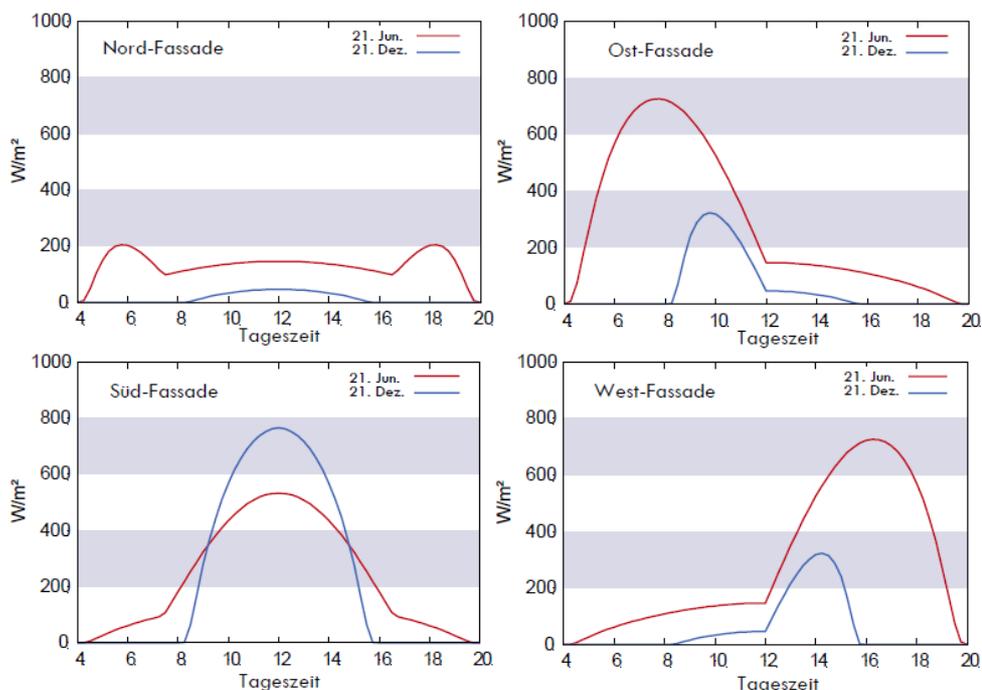


Abbildung 3 Bestrahlungsstärke auf eine vertikale Fläche auf der Breite 50° Nord



Tabelle 6 Zusammensetzung der Gebäudeprobe

Art der Steuerung	Total	Büro	MFH
manuell	57	22	35
automatisch	11	10	1

Art des Behangs	Total	Büro	MFH
Klappläden	6	1	5
Markise	4	4	0
Rafflamellen	33	20	13
Rollladen	25	7	18

Alter der Gebäude	Total	Büro	MFH
Altbau	54	26	28
Neubau	14	6	8

Glasanteil der Fassade	Total	Büro	MFH
0 - 20%	28	9	19
21 - 40%	25	14	11
41 - 60%	13	7	6
61 - 80%	2	2	0
81 - 100%	0	0	0

Fassadenorientierung	Total	Büro	MFH
O	10	3	7
SO	9	4	5
S	13	10	3
SW	8	1	7
W	28	14	14

Total	68	32	36
--------------	-----------	-----------	-----------

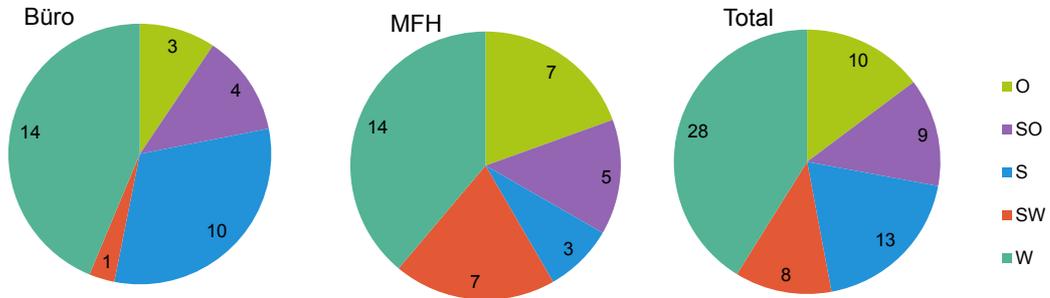


Abbildung 4 Gebäudesample nach Orientierung der Fassaden

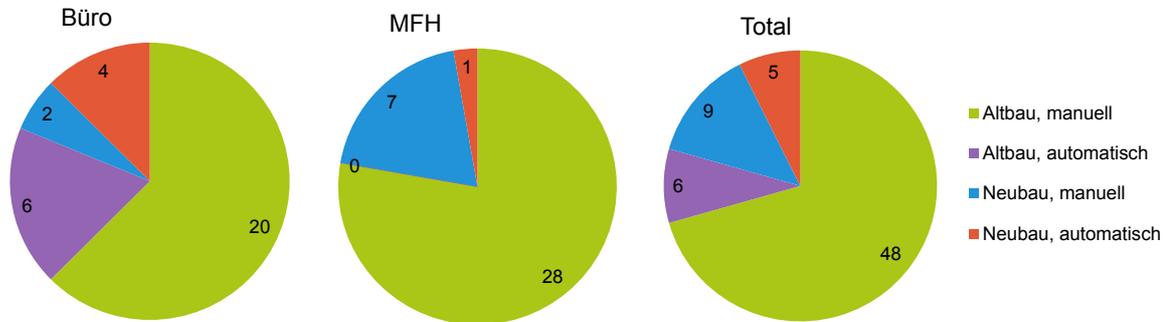


Abbildung 5 Gebäudesample nach Alter und Automationsgrad des Sonnenschutzes

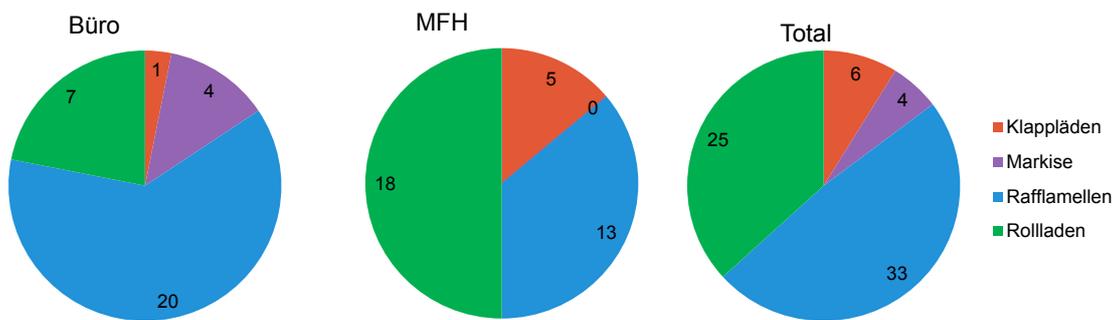


Abbildung 6 Gebäudesample nach Art des Sonnenschutzbehangs



Tabelle 7 Kamerastandorte und Auswertungswochen

Nr.	Adresse Standort	URL	Anzahl MFH	Anzahl Büro	Kalenderwochen
01	Zürichstrasse 46-50 8340 Hinwil	http://halter.roundshot.com/mosaik/	2		2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
02	Zwickystrasse 9 8304 Wallisellen	http://halter.roundshot.com/zwickyareal/	1	2	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
03	Ringstrasse Nord 11 5600 Lenzburg	http://swl.roundshot.com/	2	1	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
04	Route du Grand-Lancy 6 1227 Lancy	http://cffimmobilier.roundshot.com/pontrouge/		5	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
05	Kehrstrasse 1 3904 Naters	http://unesco.roundshot.com/naters/	2		2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
06	Bachwiesstrasse 22 9404 Rorschacherberg	http://computechnic.roundshot.com/	7		2015: 45, 53 2016: 4, 43 2017: 8, 13, 14
07	Place de la Gare 11 2800 Delémont	http://juratourisme.roundshot.com/delemont/		1	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
08	Stadthausquai 17 8001 Zürich	https://zuerichtourismus.roundshot.com/stadthaus/		4	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
09	Neumühlequai 38 8006 Zürich	http://zuerichtourismus.roundshot.com/zuerichwe	5	3	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
10	Falkenstr. 11 8008 Zürich	https://nzz.roundshot.com/	3	8	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
11	Innerer Rettenbachweg 8400 Winterthur	https://winterthur.roundshot.com/	1	2	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
12	Rue Bournot 35 2400 Le Locle	http://tissot.roundshot.com/	5	1	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
13	Kantonsspital 31 6004 Luzern	https://luks-luzern.roundshot.com/	1	3	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
14	Bahnhofstr. 3 6002 Luzern	https://luzerntourismus.roundshot.com/		1	2016: 43, 44, 49 2017: 4, 8, 13, 14
15	Sumatrastrasse 10 8006 Zürich	eigene Kamera (offline)		1	2016: 48 2017: 4, 8, 13, 14
16	Clausiusstrasse 58 8006 Zürich	eigene Kamera (offline)	2		2016: 49 2017: 4, 8, 13, 14
17	Hönggerstrasse 23 8037 Zürich	eigene Kamera (offline)	3		2016: 52 2017: 1, 13, 14
18	Alte Landstrasse 49 8802 Kilchberg	eigene Kamera (offline)	2		2016: 49 2017: 4, 8, 13, 14
TOTAL			36	32	



5.3 Verschattungsmessung

Die Messgrösse wird definiert als der Anteil der durch aussenliegenden Sonnenschutz verschattete Fensterfläche zur Gesamtfensterfläche pro Fassade. Falls nur ein Teil der Fassade sichtbar ist, wird das Verhältnis proportional zum sichtbaren Teil ausgewertet. Die Fassaden- und Fensterflächen der untersuchten Gebäude werden direkt aus den Fassadenfotos sowie aus online verfügbaren GIS-Daten ermittelt. Der Glasanteil pro Fassade wird anhand der Fensterfläche und einem konstanten Abminderungsfaktor für Fensterrahmen von 0.8 abgeschätzt.

Die Messung wird pro Fassade jeweils zu drei Tageszeiten (9:00, 12:00 und 15:00 Uhr) und während jeweils einer Woche pro Monat in der Heizperiode ausgewertet. Somit entstehen insgesamt 147 Aufnahmen, resp. Messungen pro Fassade.

Tabelle 7 zeigt die Kamerastandorte und die ausgewerteten Kalenderwochen. Von den untersuchten Objekten befinden sich 14 in der Westschweiz und 54 in der Deutschschweiz. Falls keine Aufnahme für die ausgewählte Kalenderwoche verfügbar war, wurde sie durch eine Aufnahme im Vorjahr oder einer anderen Kalenderwoche ersetzt. Nur wenige Aufnahmen mussten ersetzt werden.

Bei den eigens aufgestellten Kameras gab es zu gewissen Zeiten das Problem von Kondenswasser im Schutzgehäuse. Bei einigen Aufnahmen war zudem der morgendliche Hochnebel sehr dicht und somit der Verschattungsanteil nicht messbar.

Für jedes Gebäude wird eine Anzahl charakteristischer Parameter erfasst: Standort, Nutzung, Flächen, Anzahl Fenster usw. Die auszuwertenden Fenster werden in der Aufnahme mit einer Maske gekennzeichnet (siehe Abbildung 7).

Der Automationsgrad kann anhand von Tages- und Wochendynamiken der Storenbewegungen bestimmt werden. Bei regelmässig komplett verschatteten Fassaden zu bestimmten Zeiten kann von einer automatisierten Steuerung ausgegangen werden.

Die Ermittlung des Lamellenwinkel gestaltet sich aufgrund der meist grossen Entfernung zu den Gebäuden und der entsprechenden Bildqualität oft als unmöglich. Ausserdem ist der Blickwinkel der Kamera zum Gebäude unterschiedlich und so gut wie nie frontal, so dass eine korrekte Bestimmung des Lamellenwinkels von Auge sehr schwierig ist. Daher wird nur der Anteil an Verschattung unabhängig vom Lamellenwinkel und ohne Veränderung des Lamellenwinkels gemessen. Für jedes Fenster wird der Anteil an Verschattung in drei Stufen bestimmt: ganz offen (0% Verschattung), halb-zu (50% Verschattung) und ganz zu (100% Verschattung).

Treppenhausfenster, falls vorhanden, werden separat gezählt. In der Auswertung des Verschattungsanteils wird die Treppenhausfensterfläche, die in der Regel keinen aussenliegenden Sonnenschutz aufweist, miteinbezogen. Bei Fenstern mit vorgelagerten Balkonen oder Loggias werden diese dann berücksichtigt, wenn sie nicht tiefer als ca. 1 m sind und der Verschattungszustand gut erkennbar ist.

Tabelle 8 zeigt die Auswertungsvorlage. Die erste Messgrösse ist die Anzahl der verschatteten Fenster pro Aufnahme. Bei Fassaden mit unterschiedlich grossen Fenstern wird eine „Standardfenstergrösse“ definiert, und grössere Fenster werden als Vielfaches dieser Standardgrösse gezählt. Der prozentuale Anteil verschatteter Fensterfläche ist somit gleich der Anzahl verschatteter Standardfenster geteilt durch die Anzahl der Standardfenster insgesamt.



Die zweite Messgrösse sind die Strahlungsverhältnisse (Direktstrahlung ja oder nein). Direktstrahlung auf der Fassade wird definiert als direkte Strahlung auf die Fassade, erkennbar z.B. am Schattenwurf oder am wolkenlosem Himmel. Diese Bedingungen sind typischerweise ab einer Strahlungsintensität von 150 W/m^2 erfüllt. Ein Beispiel für Direktstrahlung stellt Abbildung 7 dar (erkennbarer Schattenwurf plus wolkenloser Himmel), für Diffusstrahlung Abbildung 8 (d.h. ohne Direktstrahlung, bedeckter Himmel).

Aus diesen beiden Messgrössen resultiert jeweils ein durchschnittlicher verschatteter Fensteranteil pro Fassade bei Direkt- und bei Diffusstrahlungsverhältnissen (d.h. ohne Direktstrahlung). Diese beiden Anteile werden danach mit den jeweiligen Direkt- und Diffusstrahlungsanteilen pro Heizsaison (Durchschnitt über die Monate Oktober bis April) gewichtet und so zu einem Verschattungsfaktor summiert.

Tabelle 8 Auswertungsvorlage mit Messgrössen

Woche	Tag	Datum	Uhrzeit	Verschattete Fenster "Standardgrösse"	Direktstrahlung 0=nein, 1=ja	Anteil verschattete Fensterfläche
KW43	Mo	24.10.2016	09:00	17	0	0.47
			12:00	17	1	0.47
			15:00	20	1	0.54
	Di	25.10.2016	09:00	14	0	0.39
			12:00	14	0	0.38
			15:00	14	0	0.38
	Mi	26.10.2016	09:00	13	0	0.36
			12:00	13	0	0.36
			15:00	13	0	0.36
	Do	27.10.2016	09:00	13	0	0.36
			12:00	13	1	0.36
			15:00	18	0	0.50
	Fr	28.10.2016	09:00	15	0	0.42
			12:00	13	0	0.36
			15:00	22	1	0.60
Sa	29.10.2016	09:00	22	0	0.61	
		12:00	22	0	0.61	
		15:00	22	1	0.61	
So	30.10.2016	09:00	22	0	0.61	
		12:00	22	0	0.61	
		15:00	22	1	0.61	



Abbildung 7 Mehrfamilienhaus mit Rollläden mit Fenstermaske, mit Direktstrahlung; Anteil verschattete Fenster im Beispiel: 5.5 von 20 Fenstern sind verschattet = 28%, Fensteranteil Fassade = 19%, Glasanteil Fassade = 15%



Abbildung 8 Bürogebäude mit Rafflamellen mit Fenstermaske, ohne Direktstrahlung; Anteil verschattete Fenster im Beispiel: 15.5 von 36 Fenstern sind verschattet = 43%, Fensteranteil Fassade = 74%, Glasanteil Fassade = 59%

5.4 Verschattungsfaktor Sonnenschutz

5.4.1 Verschattungsfaktor f_s (-) gemäss SIA 380/1:2016

Bisher berücksichtigt der Verschattungsfaktor f_s gemäss SIA 380/1:2016, 3.5.4.13 den Horizontwinkel (f_{s1}), den Überhangwinkel (f_{s2}) und die Seitenblendenwinkel ($f_{s3,l}$ und $f_{s3,r}$) pro Fenster, welche zusätzlich jeweils von der Orientierung (Nord, Süd, West, Ost) anhängig sind. Für die Berechnung der solaren Wärmeeinträge werden die Faktoren pro Fenster miteinander zu einem Verschattungsfaktor f_s multipliziert:

$$f_s = f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3,l} \cdot f_{s3,r}$$

(1)



- f_{S1} Verschattungsfaktor Horizont
 f_{S2} Verschattungsfaktor Überhang
 $f_{S3,l}$ Verschattungsfaktor linke Seitenblende
 $f_{S3,r}$ Verschattungsfaktor rechte Seitenblende

5.4.2 Neuer Verschattungsfaktor Sonnenschutz $f_{S,sh}$ (-)

Diese Studie schlägt eine Erweiterung um einen zusätzlichen Verschattungsfaktor „Sonnenschutz“ $f_{S,sh}$ für die Orientierungen West über Süd bis Ost¹ vor („sh“ für engl. „shading“). Der Verschattungsfaktor Sonnenschutz wird aus den Verschattungsmessungen hergeleitet:

$$f_S = f_{S1} \cdot f_{S2} \cdot f_{S3,l} \cdot f_{S3,r} \cdot f_{S,sh} \quad (2)$$

- $f_{S,sh}$ Verschattungsfaktor Sonnenschutz

5.4.3 Herleitung Verschattungsfaktor Sonnenschutz

Für jedes Gebäude werden die über die Messperiode gemittelten Anteile verschatteter Fenster $f_{S,sh,dir}$ bei Direkt- und $f_{S,sh,diff}$ bei Diffusstrahlung ermittelt. Diese beiden Anteile werden mit den jeweiligen Energieanteilen von Direkt- und Diffusstrahlung gewichtet (siehe Tabelle 9) und zu einem gewichteten Verschattungsfaktor Sonnenschutz addiert. Die Gewichtung ist notwendig, weil der Energieanteil der wenigen Stunden mit Direktstrahlung viel grösser ist, als der Energieanteil der viel häufigeren Stunden mit Diffusstrahlung.

Als Kriterium für das Vorhandensein von Direktstrahlung wird ein Wert von 150 W/m^2 festgelegt. Für die Bestimmung der Direkt- und Diffusstrahlungsanteile werden die normierten DRY Klimadaten aus SIA 2028 für den Standort Zürich MeteoSchweiz verwendet.

Der Verschattungsfaktor Sonnenschutz widerspiegelt also den entsprechend den Energieanteilen der Solarstrahlung bei Direkt- und Diffusstrahlung gewichteten Anteil verschatteter Fensterfläche aus den Messungen.

Tabelle 9 Anteile projizierter hemisphärischer Strahlungsenergie, gemäss SIA 2028 Standort Zürich-MeteoSchweiz, während der Heizperiode (15. Oktober bis 15. April)

Direktstrahlung, in W/m^2	Ost	Südost	Süd	Südwest	West
> 100	0.47	0.68	0.75	0.68	0.47
> 150	0.40	0.63	0.70	0.62	0.41
> 200	0.36	0.58	0.65	0.57	0.35
Anzahl Stunden, wo Direktstrahlung > 150 W/m^2	157	331	427	334	176

¹ Nordfassaden werden weggelassen, da dort die solaren Wärmeeinträge im Winter vernachlässigbar sind.



Die Herleitung des gewichteten Verschattungsfaktors Sonnenschutz ergibt sich wie folgt:

Anteil verschattete Fenster bei Direktstrahlung:

$$a_{sh,dir} = [\sum_{i=1}^k n_{W,sh,dir} / k_{dir}] \cdot (1/N_W) \quad (3)$$

$a_{sh,dir}$ Anteil verschattete Fenster bei Direktstrahlung
 $n_{W,sh,dir}$ Anzahl verschattete Fenster bei Direktstrahlung
 k_{dir} Anzahl Aufnahmen bei Direktstrahlung
 N_W Anzahl Fenster pro Fassade

Anteil verschattete Fenster bei Diffusstrahlung:

$$a_{sh,diff} = [\sum_{i=1}^k n_{W,sh,diff} / k_{diff}] \cdot (1/N_W) \quad (4)$$

$a_{sh,diff}$ Anteil verschattete Fenster bei Diffusstrahlung
 $n_{W,sh,diff}$ Anzahl verschattete Fenster bei Diffusstrahlung (ohne Direktstrahlung)
 k_{diff} Anzahl Aufnahmen bei Diffusstrahlung (ohne Direktstrahlung)

Gewichteter Anteil verschatteter Fenster:

$$a_{sh} = a_{sh,dir} \cdot b_{150} + a_{sh,diff} \cdot (1 - b_{150}) \quad (5)$$

a_{sh} gewichteter Anteil verschatteter Fenster

wobei

$$b_{150} = \sum_{t=t_1}^{t_n} G_{S,j,t} (D_{S,j,t} > 150 \frac{W}{m^2}) / \sum_{t=t_1}^{t_n} G_{S,j,t} \quad (6)$$

b_{150} Anteil der projizierten hemisphärischen Strahlung bei Direktstrahlung $> 150 \text{ W/m}^2$
 $G_{S,j,t}$ Projizierte hemisphärische Strahlung auf senkrechter Fassade mit Orientierung j zur Stunde t, in Wh
 $D_{S,j,t}$ Direktstrahlung auf senkrechter Fassade mit Orientierung j zur Stunde t, in Wh
 t_n Stunden der Kalenderwochen 1 bis 15 und 42 bis 52

Gewichteter Verschattungsfaktor Sonnenschutz, Wertebereich 0 bis 1 (gerundet auf 0.01):

$$f_{S,sh} = 1 - a_{sh} \quad (7)$$

Gleichung (7) gilt für den Fall, dass der Sonnenschutz die Solarstrahlung vollständig abschirmt, sprich der g_{tot} -Wert von Verglasung und Sonnenschutz gleich null ist. Reale Sonnenschutzsysteme weisen aber je nach Behangart, Lamellenposition und Reflexionsgrad typische g_{tot} -Werte im Bereich von 0.1 bis 0.3 auf. Massgebend ist daher zusätzlich der g-Wert von Verglasung und Sonnenschutz g_{tot} im Verhältnis zum g-Wert der Verglasung (g_{\perp}). Dieses Verhältnis wird auch als Abminderungsfaktor Sonnenschutz F_C bezeichnet.

$$F_C = \frac{g_{tot}}{g_{\perp}} \quad (8)$$

F_C Abminderungsfaktor Sonnenschutz, Wertebereich 0 bis 1



g_{tot} Energiedurchlassgrad Verglasung und Sonnenschutz, Wertebereich 0 bis 1

g_{\perp} Energiedurchlassgrad Verglasung (senkrecht), Wertebereich 0 bis 1

Der gewichtete Verschattungsfaktor Sonnenschutz wird unter Berücksichtigung von g_{tot} bzw. F_c zu:

$$f_{S,sh} = 1 - a_{sh} (1 - F_c) \quad (9)$$



6 Resultate Verschattungsmessung

6.1 Verschattungsfaktoren Sonnenschutz

Tabelle 10 zeigt die hergeleiteten Verschattungsfaktoren für externen Sonnenschutz $f_{S,sh}$. Fett gedruckte Werte bedeuten, dass hier mindestens fünf Gebäude ausgewertet wurden. Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild:

Einen geringen Einfluss auf den Verschattungsfaktor haben:

- Alter des Gebäudes (siehe Abbildung 10)
- Orientierung der Fassade (siehe Abbildung 12)
- Nutzung des Gebäudes: Büro/MFH

Einen relevanten Einfluss auf den Verschattungsfaktor haben:

- Art der Steuerung (siehe Abbildung 9)
- Glasanteil der Fassade (siehe Abbildung 11)
- Art des Behangs (siehe Abbildung 13)

Tabelle 10 Gewichtete Verschattungsfaktoren Sonnenschutz $f_{S,sh}$

Art der Steuerung	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
automatisch	0.60	0.61	0.56	10	1
manuell	0.78	0.80	0.77	22	35

Art des Behangs	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Klappläden	0.94	1.00	0.92	1	5
Markise	0.82	0.82		4	0
Rafflamellen	0.69	0.70	0.68	20	13
Rollladen	0.78	0.79	0.78	7	18

Alter des Gebäudes	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Altbau	0.76	0.74	0.77	26	28
Neubau	0.73	0.73	0.72	6	8

Glasanteil der Fassade		Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
<=20%		0.79	0.86	0.75	9	19
>20%	<=40%	0.77	0.72	0.82	14	11
>40%	<=60%	0.65	0.62	0.69	7	6
>60%	<=80%	0.62	0.62		2	0

Orientierung der Fassade	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
O	0.77	0.78	0.76	3	7
SO	0.72	0.74	0.71	4	5
S	0.75	0.77	0.69	10	3
SW	0.80	0.67	0.82	1	7
W	0.74	0.72	0.76	14	14

Total alle Objekte	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
	0.75	0.74	0.76	32	36

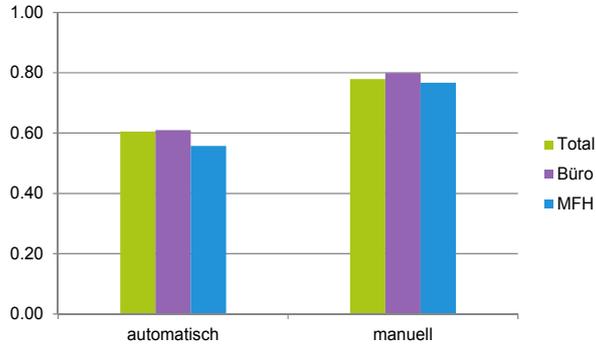


Abbildung 9 Art der Steuerung

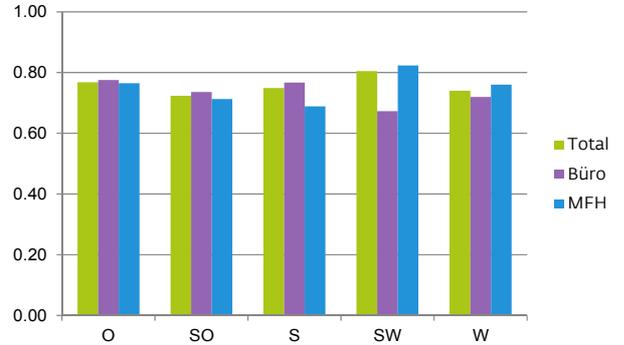


Abbildung 12 Orientierung der Fassade

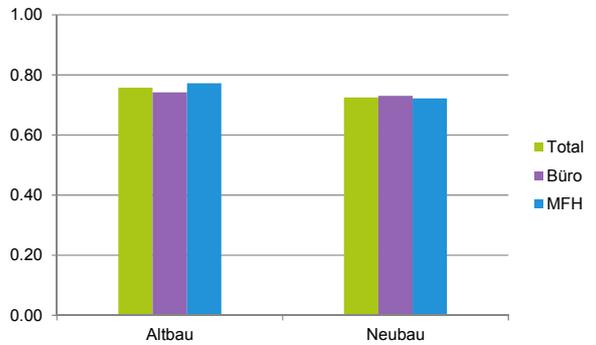


Abbildung 10 Alter des Gebäudes

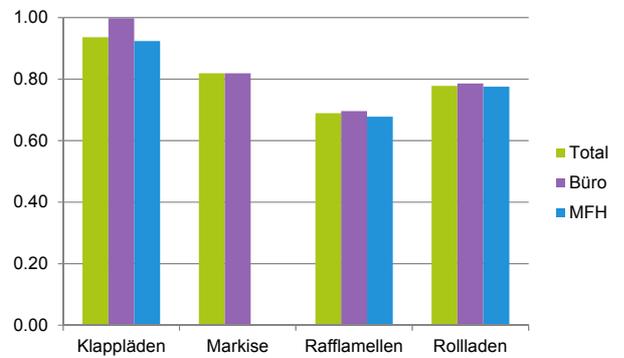


Abbildung 13 Art des Behangs

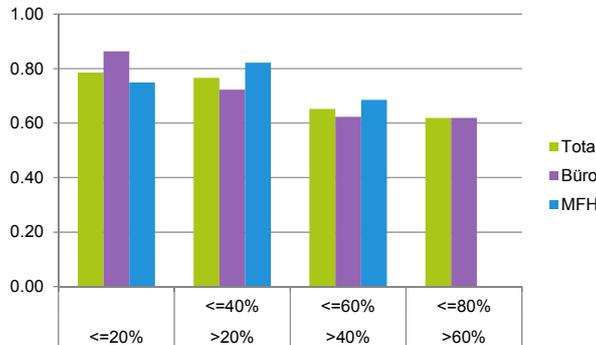


Abbildung 11 Glasanteil der Fassade

Für die Herleitung der Verschattungsfaktoren Sonnenschutz werden nur die Einflussgrössen „Glasanteil der Fassade“ und „Art der Steuerung“ weiter berücksichtigt. Auf eine Unterscheidung nach Behangart wird aus folgenden Gründen verzichtet:

- Die Anzahl Gebäude mit Markisen (n=4) und Klappläden (n=6) ist für eine belastbare Auswertung zu klein.
- Die Anzahl der Gebäude mit Rollläden wäre genügend (n=25), jedoch werden Rollläden primär in Sanierungen eingesetzt. In Neubauten werden Rollläden laut Aussage eines Fassadenherstellers kaum mehr verbaut.



Tabelle 11 zeigt die zusammengefassten Verschattungsfaktoren nach Art der Steuerung und Glasanteil. Bei automatisch gesteuerten Sonnenschutzsystemen hängen die Verschattungsfaktoren erwartungsgemäss nicht vom Glasanteil ab. Die Automatik aktiviert den Sonnenschutz sobald direkte Solarstrahlung auf die Fassade trifft. Es resultiert ein vom Glasanteil unabhängiger Verschattungsfaktor Sonnenschutz von rund 0.60 (total, gerundet).

Bei manuell gesteuertem Sonnenschutz zeigt sich eine Tendenz zu mehr Verschattung (d.h. kleinere Verschattungsfaktoren) je höher der Glasanteil ist (Korrelationskoeffizient 0.75). Für Gebäude mit Glasanteil bis 40% kann ein Verschattungsfaktor von 0.80 (total, gerundet) abgeleitet werden. Für Gebäude mit Glasanteil über 40% ein Verschattungsfaktor von 0.70 (total, gerundet).

Für MFH mit manuell gesteuertem Sonnenschutz mit einem Glasanteil bis 20% werden in Tabelle 11 fünf Ausreisser ausgeklammert und somit nur 14 von 19 Gebäuden berücksichtigt. Bei diesen Gebäuden wurden aufgrund von Umgebungslärm, verstärkter Solareinstrahlung (Berggebiet) oder spezieller Nutzung (nur Schlafzimmer) sehr hohe Verschattungsanteile gemessen, welche die Resultate insgesamt verzerren. Ohne diese fünf Gebäude ergibt sich ein mittlerer Verschattungsfaktor von 0.84 für manuell gesteuerte MFH mit Glasanteil der Fassade bis 20% und ein totaler mittlerer Verschattungsfaktor von 0.85 für beide Nutzungen (Büro, MFH). Der Messwert für alle 19 Gebäude wird zusätzlich in Klammern angegeben.

Tabelle 11 Verschattungsfaktoren nach Art der Steuerung und Glasanteil der Fassade

	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Glasanteil der Fassade	automatisch				
< 20%				0	0
21 - 40%	0.58	0.58		5	0
41 – 60%	0.57	0.58	0.56	3	1
> 60%	0.62	0.62		2	0
Glasanteil der Fassade	manuell				
< 20%	0.85	0.86	0.84	9	14
21 - 40%	0.81	0.80	0.82	9	11
41 – 60%	0.69	0.68	0.71	4	5
> 60%				0	0



6.2 Vorschlag Verschattungsfaktoren Sonnenschutz für SIA 380/1

Die gemessenen Verschattungsfaktoren aus Tabelle 11 sind in Tabelle 12 gerundet und linearisiert dargestellt. Auf Verschattungsfaktoren für eine automatische Steuerung bei MFH wird verzichtet, da zu wenige Gebäude in der Messprobe waren und eine automatische Steuerung bei Wohngebäuden auch in Neubauten nur in Ausnahmefällen erwünscht ist (siehe auch Kap. 8.2).

Tabelle 12 Für die Berechnung nach SIA 380/1 vorgeschlagene Verschattungsfaktoren Sonnenschutz bei einem Energiedurchlassgrad $g_{tot} < 0.1$

Glasanteil der Fassade	MFH, Büro	Büro	Büro
	manuell	manuell	automatisch
< 20%	0.85	0.85	Kein Messwerte
21 - 40%	0.80	0.80	0.60
41 – 60%	0.70	0.70	0.60
> 60%	Keine Messwerte		0.60

Die Verschattungsfaktoren in Tabelle 12 gelten für Sonnenschutzsysteme mit einem sehr tiefen Energiedurchlassgrad (g_{tot} -Wert). Bei Sonnenschutzsystemen mit einem g_{tot} -Wert > 0.1 sind die vorgeschlagenen Verschattungsfaktoren gemäss Gleichung (9) anzupassen.

Tabelle 13 Für die Berechnung nach SIA 380/1 vorgeschlagene Verschattungsfaktoren Sonnenschutz bei einem Energiedurchlassgrad $g_{tot} = 0.15$, $F_c = 0.3$

Glasanteil der Fassade	MFH	Büro	Büro
	manuell	manuell	automatisch
< 20%	0.90	0.90	Kein Messwerte
21 - 40%	0.86	0.86	0.72
41 – 60%	0.79	0.79	0.72
> 60%	Keine Messwerte		0.72

Tabelle 14 Für die Berechnung nach SIA 380/1 vorgeschlagene Verschattungsfaktoren Sonnenschutz bei einem Energiedurchlassgrad $g_{tot} = 0.30$, $F_c = 0.6$

Glasanteil der Fassade	MFH	Büro	Büro
	manuell	manuell	automatisch
< 20%	0.94	0.94	Kein Messwerte
21 - 40%	0.92	0.92	0.84
41 – 60%	0.88	0.88	0.84
> 60%	Keine Messwerte		0.84

Die Auswirkung der Verschattungsfaktoren Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf werden im folgenden Kapitel 7 jeweils mit den minimalen und maximalen Verschattungsfaktoren pro Gebäudekategorie und mit einem Energiedurchlassgrad $g_{tot} < 0.1$ berechnet:



Für Wohngebäude (Kategorie I: MFH):

- a) 0.85 für Glasanteile bis 20%
- b) 0.70 für Glasanteile über 40%

Für Bürogebäude (Kategorie III: Verwaltung):

- c) 0.85 für manuelle Steuerung
- d) 0.60 für automatische Steuerung



7 Auswirkung auf den Heizwärmebedarf

7.1 Vorgehen

Zur Berechnung der Auswirkungen der in Kapitel 6.2 hergeleiteten Verschattungsfaktoren Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf von Wohn- und Bürogebäuden wird das MuKE-Tool, Version 2.14, der kantonalen Energiefachstellen verwendet. In der Gebäudedatenbank des Tools befinden sich insgesamt 300 Gebäude, davon 74 Mehrfamilienhäuser und 60 Verwaltungsgebäude.

Bei der Berechnung werden nur Gebäude mit MuKE-Standard ab 2008 berücksichtigt, weil seitdem verschärfte Wärmeschutzanforderungen gelten. 32 Mehrfamilienhäuser und 16 Verwaltungsgebäude in der Datenbank erfüllen diese Standards.

Der pro Gebäude berechnete Heizwärmebedarf wird unter anderem abhängig vom Glasanteil der Fassade ausgewertet. Da der Glasanteil im Tool keine Eingabegrösse darstellt, wird er aus den Grössen „Fensterfläche“ und „Fassadenfläche inkl. Fenster“ sowie den jeweiligen „Abminderungsfaktoren für Fensterrahmen“ berechnet. Die Gebäudekategorie I: MFH weist im Durchschnitt einen Glasanteil von 26% auf, die Gebäudekategorie III: Verwaltung 49% (siehe Tabelle 15). Die maximalen Glasanteile der Fassade in der Datenbankgebäude liegen bei 60% (MFH) und 81% (Verwaltung). Abbildung 14 zeigt die Glasanteile mit den dazugehörigen g-Werten aus der Datenbank.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs (Q_h) erfolgt einerseits mit dem Standardwert für den Aussenluftvolumenstrom von $0.70 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ und andererseits unter der Annahme einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung mit einem reduzierten thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstrom ($Q_{h,\text{eff}}$) berechnet. Wo nicht anders hinterlegt, werden die Gebäude mit einer mechanischen Lüftung und einem thermisch wirksamen Standardluftvolumenstrom von $0.26 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ gerechnet. Dies entspricht dem Standardluftwechsel von $0.70 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ bei einem Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung von 80%. Abweichende Luftwechselraten sind in Tabelle 15 zusammen mit einigen anderen Parametern zusammengefasst.

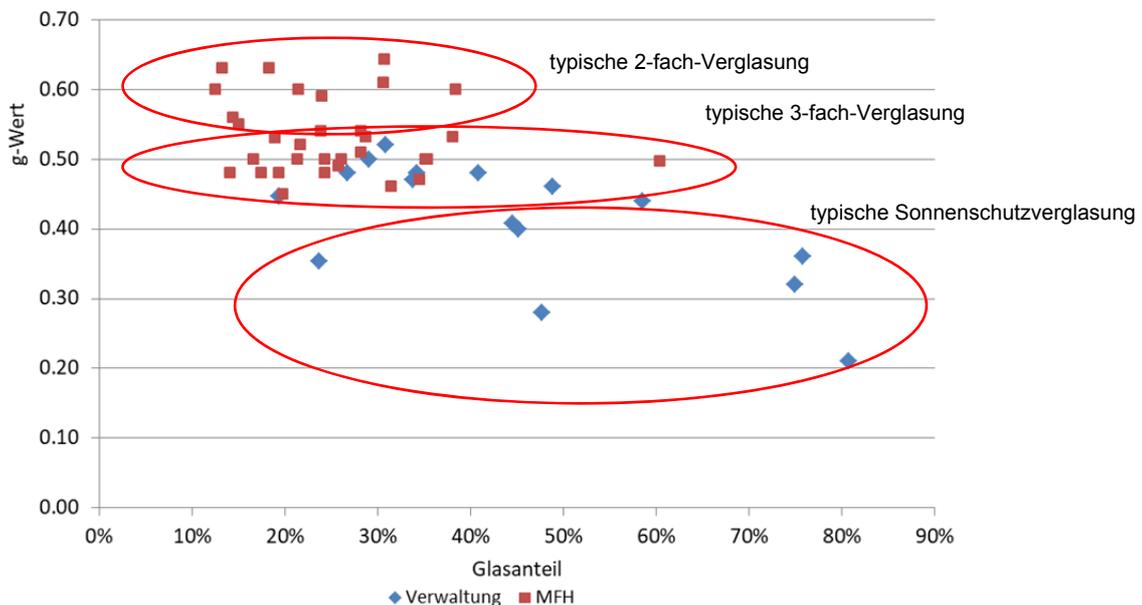


Abbildung 14 Glasanteile und zugehörige g-Werte der betrachteten Datenbank-Gebäude



Tabelle 15 Statistik einiger Gebäudedatenbank-Parameter

	MFH	Büro
Anzahl Gebäude	32	16
g-Werte Glas		
Min	0.45	0.21
Mittel	0.53	0.41
Max	0.64	0.52
Berechneter Glasanteile der Fassade		
Min	13%	27%
Mittel	26%	49%
Max	60%	81%
Aussenluftvolumenstrom, m3/(m2h)		
Standard	0.7	0.7
Standard effektiv thermisch wirksam (WRG 80%)	0.26	0.26
Nicht-Standard effektiv thermisch wirksam	0.19 - 0.31	0.30 - 0.54

Es gibt zwei Möglichkeiten die zusätzliche Verschattung durch Sonnenschutzsysteme im MuKEN-Tool zu berücksichtigen. Die Herleitung erfolgt in den beiden nächsten Abschnitten.

7.1.1 Rechenvariante 1

Hier wird ein effektiver Energiedurchlassgrad g_{eff} ($= g_{Glas} * f_{s,sh}$) aus den obigen Verschattungsfaktoren und dem mittleren g-Wert der Verglasung aller Gebäude der jeweiligen Gebäudekategorie berechnet (Eingabe siehe Abbildung 15). Der Mehrverbrauch des Heizwärmebedarfs wird im Vergleich zum Fall ohne zusätzliche Verschattung berechnet, wobei für den g-Wert wiederum der Mittelwert der g-Werte aller Gebäude der jeweiligen Kategorie verwendet wird (mit Baustandard ab MuKEN 2008). Daraus entsteht eine für alle Gebäude gleiche, prozentuale Reduktion der solaren Wärmeeinträge.

Klimastation: Zürich SMA 2028 Gebäudekategorie: Wohnen MFH

U- und g-Werte:

Bauteil:	Bauteil gegen:	U-Werte: Aussenklima oder < 2 m im Erdreich	U-Werte unbeheizte Räume oder >= 2 m im Erdreich	g-Werte
Wand/Fassade	<input type="checkbox"/>			
Boden	<input type="checkbox"/>			
Decke/Dach	<input type="checkbox"/>			
Wand, Boden, Decke			<input type="checkbox"/>	
Wand/Fassade mit Flächenheizung	<input type="checkbox"/>			
Boden mit Flächenheizung	<input type="checkbox"/>			
Decke/Dach mit Flächenheizung	<input type="checkbox"/>			
Wand, Boden, Decke mit Flächenheizung			<input type="checkbox"/>	
Fenster, Fenstertüren und Türen	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0.53
Fenster mit vorgelagerten Heizkörpern	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/> 0.53
Tore (Türen grösser als 6 m ²)	<input type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/> 0.53
Storenkasten	<input type="checkbox"/>			

Abbildung 15 Rechenvariante 1: Eingabe konstanter g-Werte ohne bzw. mit Berücksichtigung der Verschattungsfaktoren Sonnenschutz

7.1.2 Rechenvariante 2

Im Unterschied zu Variante 1 wird mit objektspezifischen g-Werten der Verglasung gerechnet. Die Eingabe der Verschattungsfaktoren Sonnenschutz erfolgt wie in Abbildung 16 gezeigt über eine



Tabelle mit Korrekturfaktoren. Auf eine Differenzierung der Verschattungsfaktoren pro Monat wird verzichtet (siehe Anhang in Kap. 11.1).

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Korrekturfaktor therm. wirks. Aussenluft-Vol.strom und Strom Lüftung [-]	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verschattungsfaktor Korrektur Horizont $F_{S1,korr}$ [-]												
horizontal S	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
horizontal E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
horizontal W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
horizontal N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S / SW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E / SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W / NW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N / NE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verschattungsfaktor Benutzer Sonnenschutz $F_{SS,korr}$ [-]												
horizontal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S / SW	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
E / SE	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
W / NW	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
N / NE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verschattungsfaktor Korrektur Überhang $F_{S2,korr}$ [-]												
S / SW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E / SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W / NW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N / NE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Verschattungsfaktor Korrektur Seitenblende $F_{S3,korr}$ [-]												
S / SW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
E / SE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W / NW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N / NE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Abbildung 16 Rechenvariante 2: Monatsfahrplan mit konstanten Verschattungsfaktoren Sonnenschutz



7.2 Resultate Variante 1

Die Resultate der Rechenvariante 1 sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Im Durchschnitt erhöht sich der Heizwärmebedarf mit den zusätzlichen Verschattungsfaktoren bei MFH um 7 – 15%, der effektive Heizwärmebedarf um 9 – 20%. Dies entspricht einem Mehrverbrauch von rund 1 - 3 kWh/m².

Bei Verwaltungsgebäuden erhöht sich der Heizwärmebedarf im Durchschnitt um 8 – 23% (ohne Extremwerte 7 – 20%) und der effektive Heizwärmebedarf um 12 bis 36% (ohne Extremwerte 9 – 26%), was einem Mehrverbrauch von rund 1 – 5 kWh/m² entspricht.

Der Einfluss einer Verschattung ist besonders bei den Verwaltungsgebäuden mit hohem Glasanteil auf der Südseite hoch, da dort die prozentuale Reduktion der Solargewinne besonders stark ins Gewicht fällt. Zudem haben einzelne Verwaltungsgebäude in der Datenbank sehr tiefe g-Werte der Verglasung von 0.21 bis 0.36 (Sonnenschutzglas), so dass in „Realität“ bei diesen Gebäuden nicht so hohe solare Wärmeeinträge stattfinden wie mit der Rechenvariante 1 mit einem mittleren g-Wert von 0.41 angenommen (Mittelwert Verwaltung aus der Tool-Datenbank). Zusätzlich sind diese Gebäude sehr gut wärmegeklämt und weisen im Nachweis nach SIA 380/1 bereits einen tiefen Heizwärmebedarf von 10-20 kWh/m² auf. Dadurch wird das Verhältnis Q_s/Q_h in Rechenvariante 1 überproportional hoch und damit auch die Reduktion durch zusätzliche Verschattung. Dies ist der Grund für den hohen maximalen zusätzlichen Heizwärmebedarf von 52, resp. 112% in der Kategorie Verwaltung.

Tabelle 16 Zusammenfassung Resultate Rechenvariante 1

	MFH		Büro	
Verschattungsfaktor	0.85	0.70	0.85	0.60
Mittelwert g_{Glas} -Wert	0.53		0.41	
g_{Glas} -Wert* Verschattungsfaktor	0.45	0.39	0.35	0.25
Zusätzlicher Heizwärmebedarf (Q_h) - Standardvolumenstrom				
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Min	0.6	1.2	0.8	2.2
Mittel	1.6	3.3	1.7	4.8
Max	2.5	5.5	2.7	7.8
Min	2%	4%	4%	12%
Mittel	7%	15%	8%	23%
Max	14%	31%	17%	52%
Zusätzlicher eff. Heizwärmebedarf ($Q_{h,\text{eff}}$) - inkl. therm. wirksamer Volumenstrom				
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Min	0.5	1.0	0.4	1.3
Mittel	1.2	2.5	1.3	3.8
Max	2.0	4.3	2.1	6.3
Min	2%	5%	6%	17%
Mittel	9%	20%	12%	36%
Max	18%	39%	36%	112%



7.2.1 Resultate MFH

Der Heizwärmebedarf wird in Abbildung 17 über der Gebäudehüllzahl aufgetragen. Der Grenzwert für Neubauten wird abhängig von der Gebäudehüllzahl berechnet und ist als rote Linie eingezeichnet. Abgesehen von einem Gebäude halten alle den Grenzwert trotz zusätzlicher Verschattung weiter ein.

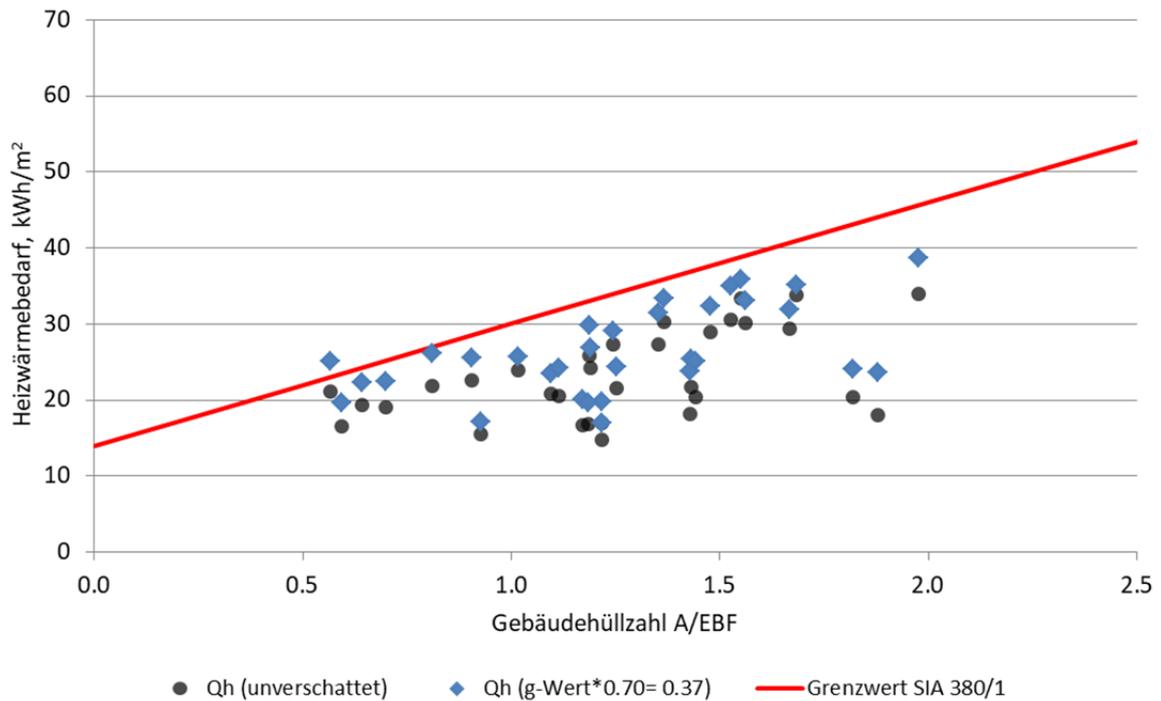


Abbildung 17 MFH (Variante 1): Heizwärmebedarf ohne Verschattung und mit Verschattungsfaktor 0.70

Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen den prozentualen Mehrbedarf an Heizwärme im Vergleich zur Berechnung ohne zusätzliche Verschattung durch den Sonnenschutz. Die Abhängigkeit von Q_s/Q_h ist linear, da sich in Rechenvariante 1 die solaren Wärmeeinträge proportional zum Heizwärmebedarf reduzieren.

Im Gegensatz dazu ist die Abhängigkeit vom Glasanteil nicht gegeben. Der Heizwärmebedarf hängt nebst Glasanteil von zusätzlichen Faktoren wie Transmissionsverluste, Lüftungsverluste, interne Gewinne und unterschiedliche Aufteilung der Glasflächen je Orientierung ab.

Der Ausnutzungsgrad η_G der Wärmeeinträge spielt auch eine Rolle. Jedoch beträgt er für die Wintermonate in der Heizperiode nahezu 1, was einer vollständigen Ausnutzung der Wärmeeinträge entspricht.

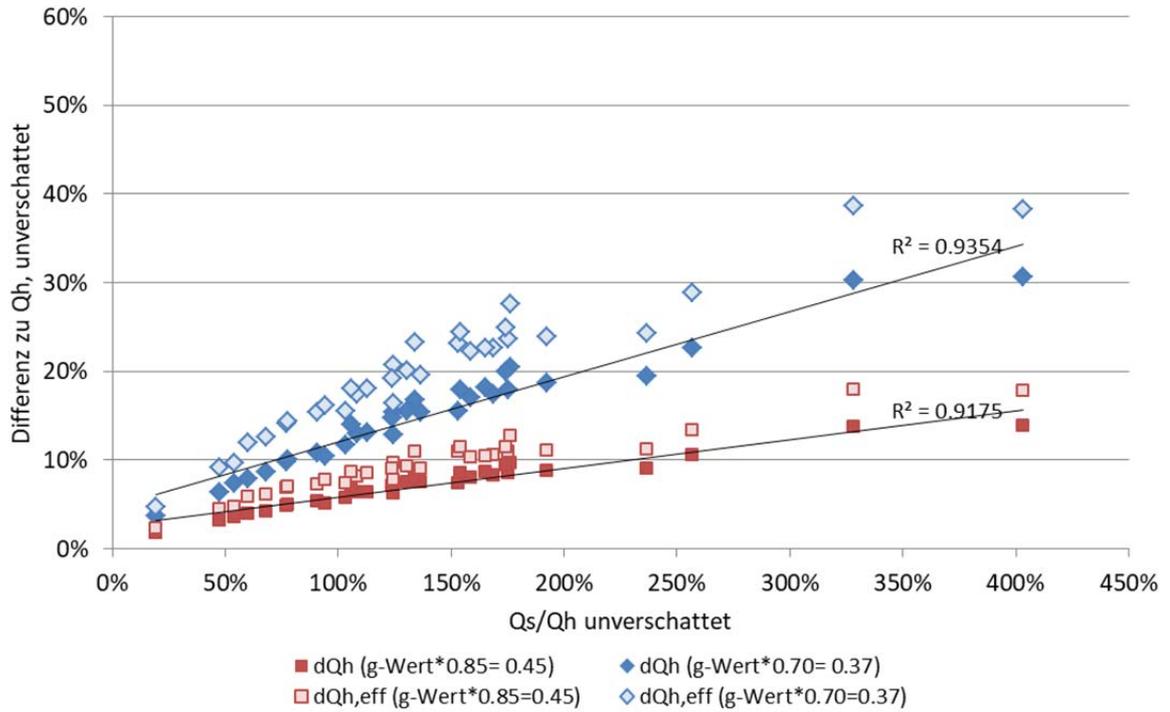


Abbildung 18 MFH (Variante1): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Verhältnis Q_s/Q_h

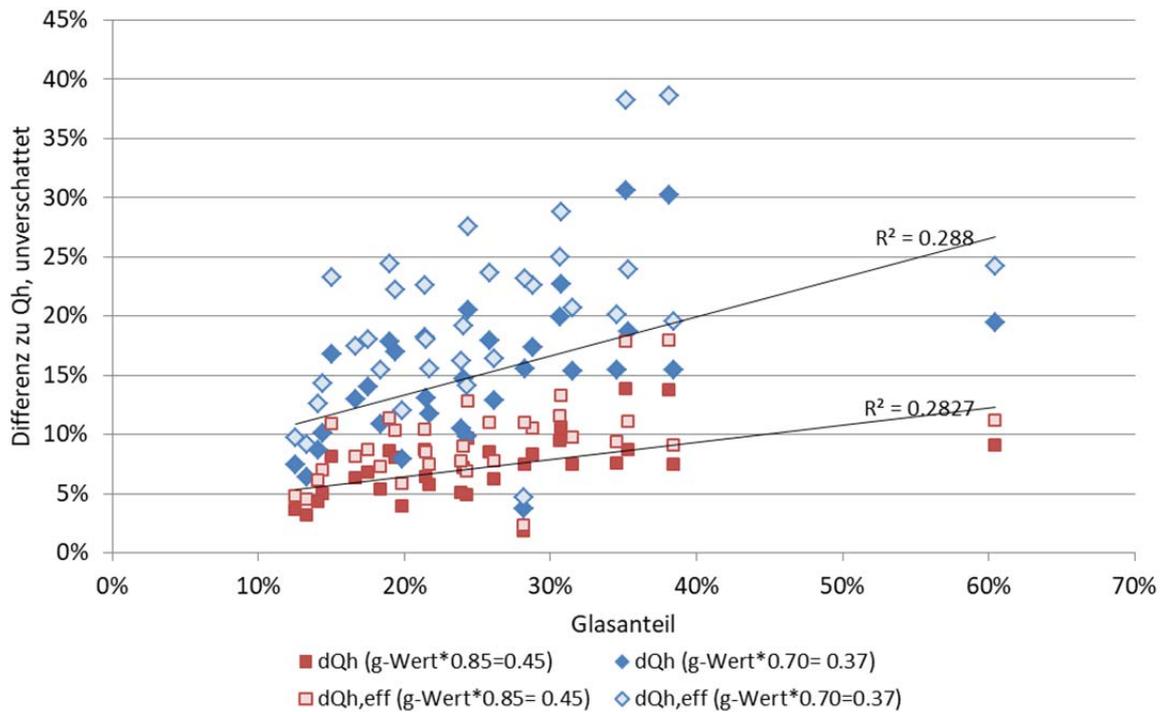


Abbildung 19 MFH (Variante 1): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Glasanteil der Fassade



7.2.2 Resultate Bürogebäude

Die Resultate für Variante 1 der Kategorie Verwaltung (Büro) sind in Abbildung 20 bis Abbildung 22 abgebildet. Auch mit Verschattungsfaktor 0.6 würden alle Gebäude den Grenzwert nach SIA 380/1 noch unterschreiten. Im Hinblick auf die Glasanteile, die sich zwischen 20 und 80% bewegen, besteht ein mittlerer Zusammenhang zum Heizwärmebedarf-Mehrverbrauch ($R^2 = 0.5$). Im Unterschied zu den Resultaten der MFH ist der Zusammenhang stärker, weil die solaren Wärmeeinträge einen grösseren Anteil an der Wärmebilanz ausmachen.

Bei zwei Gebäuden ist dieser Zusammenhang so extrem, dass der zusätzliche Heizwärmebedarf Q_h und $Q_{h,eff}$ zwischen 50 bis 112% beträgt. Diese beiden Gebäude haben einen sehr hohen Glasanteil von 75 – 80%, wovon ein grosser Teil der Fensterfläche nach Süden orientiert ist.

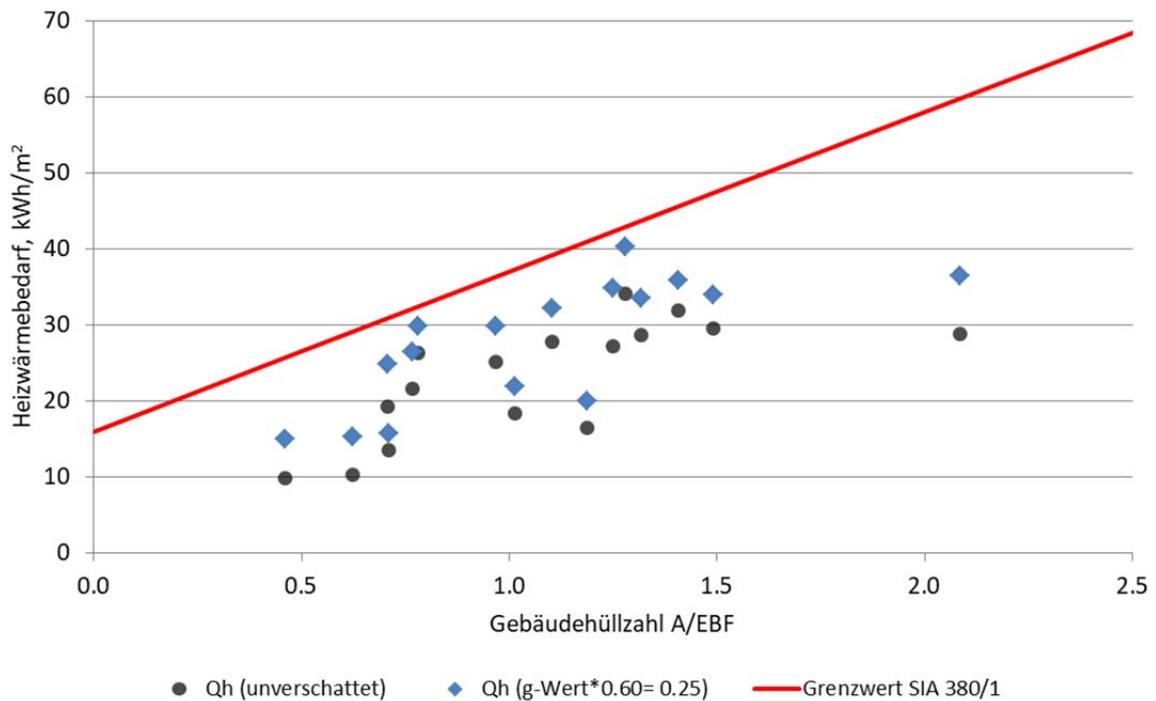


Abbildung 20 Büro (Variante 1): Heizwärmebedarf ohne Verschattung und mit Verschattungsfaktor 0.60

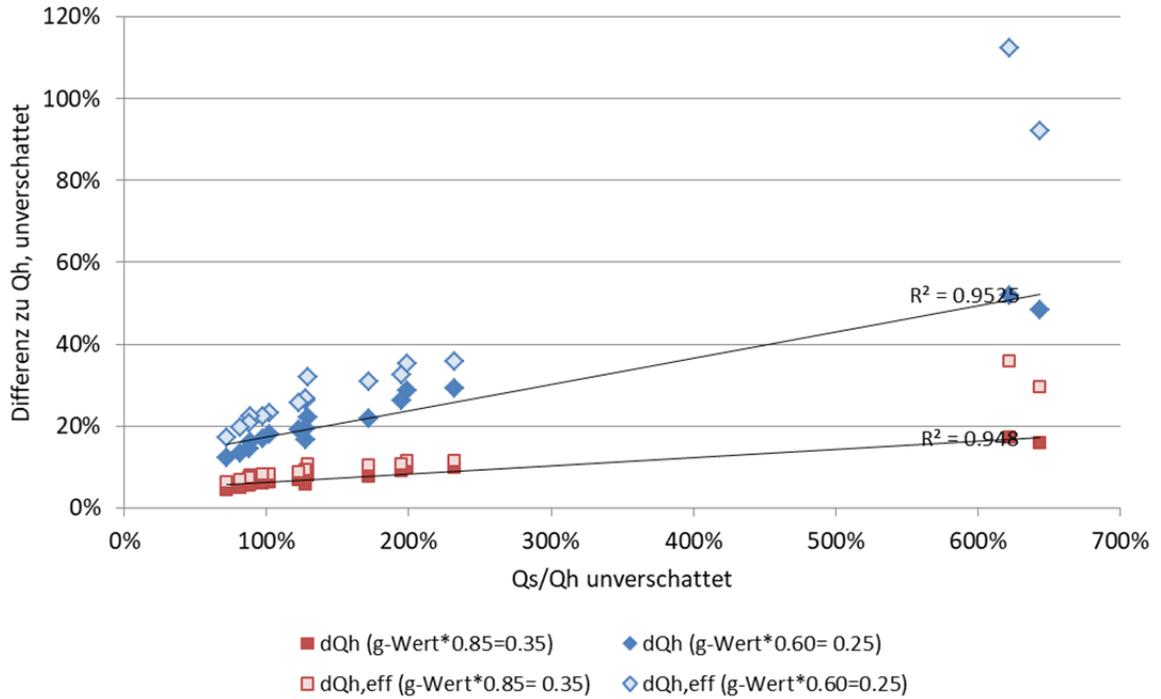


Abbildung 21 Büro (Variante 1): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Verhältnis Q_s/Q_h

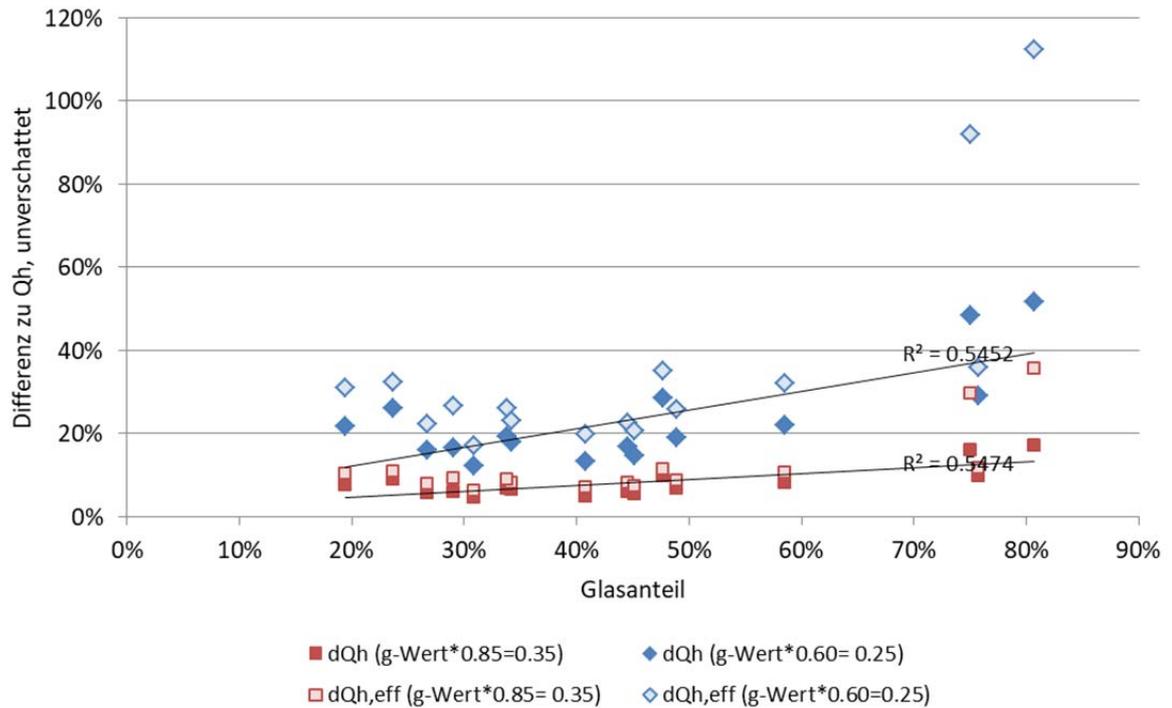


Abbildung 22 Büro (Variante 1): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Glasanteil der Fassade



7.3 Resultate Variante 2

Tabelle 17 fasst die Resultate aus der Rechenvariante 2 mit objektspezifischen g-Werten und Verschattungsfaktoren zusammen.

Für MFH sind die Resultate aus Variante 2 sehr ähnlich wie die aus Variante 1. Dies liegt an den sehr nahe beieinanderliegenden g-Werten und Glasanteilen, welche bei beiden Varianten zu ähnlichen solaren Wärmeeinträgen führen.

Für Bürogebäude zeigt sich ein deutlicher Unterschied von Variante 2 zu Variante 1. Dies liegt an der grossen Streuung der objektspezifischen g-Werte und Glasanteile im Vergleich zu denjenigen für MFH, welche nahe beieinanderlagen. Durch diese grosse Streuung weichen die Resultate aus der Berechnung mit objektspezifischen auch etwas von den Resultaten mit den mittleren g-Werten ab. Im Durchschnitt ist der zusätzliche Heizwärmebedarf für Bürogebäude aber ähnlich in beiden Rechenvarianten.

Im Durchschnitt erhöht sich der Heizwärmebedarf mit den zusätzlichen Verschattungsfaktoren bei MFH um 6 – 18%, der effektive Heizwärmebedarf um 8 – 23%. Dies entspricht einem Mehrverbrauch von 1 - 4 kWh/m² (gerundet).

Bei Bürogebäuden erhöht sich der Heizwärmebedarf im Durchschnitt ebenfalls um 6 – 18% und der effektive Heizwärmebedarf um 9 bis 25%, was ebenfalls einem Mehrverbrauch von 1 – 4 kWh/m² (gerundet) entspricht.

Tabelle 17 Zusammenfassung Resultate Variante 2

	MFH		Büro	
Verschattungsfaktor	0.85	0.70	0.85	0.60
Zusätzlicher Heizwärmebedarf (Q_h) - Standardvolumenstrom				
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Min	0.5	1.5	0.7	2.1
Mittel	1.3	3.8	1.4	4.0
Max	2.5	7.8	2.0	5.6
Min	2%	5%	4%	11%
Mittel	6%	18%	6%	18%
Max	14%	43%	11%	32%
Zusätzlicher eff. Heizwärmebedarf (Q_{h,eff}) - inkl. therm. wirksamer Volumenstrom				
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Min	0.33	0.93	0.42	1.19
Mittel	1.00	2.93	1.09	3.13
Max	1.86	5.69	1.78	5.07
Min	2%	6%	6%	15%
Mittel	8%	23%	9%	25%
Max	18%	55%	18%	51%



7.3.1 Resultate MFH

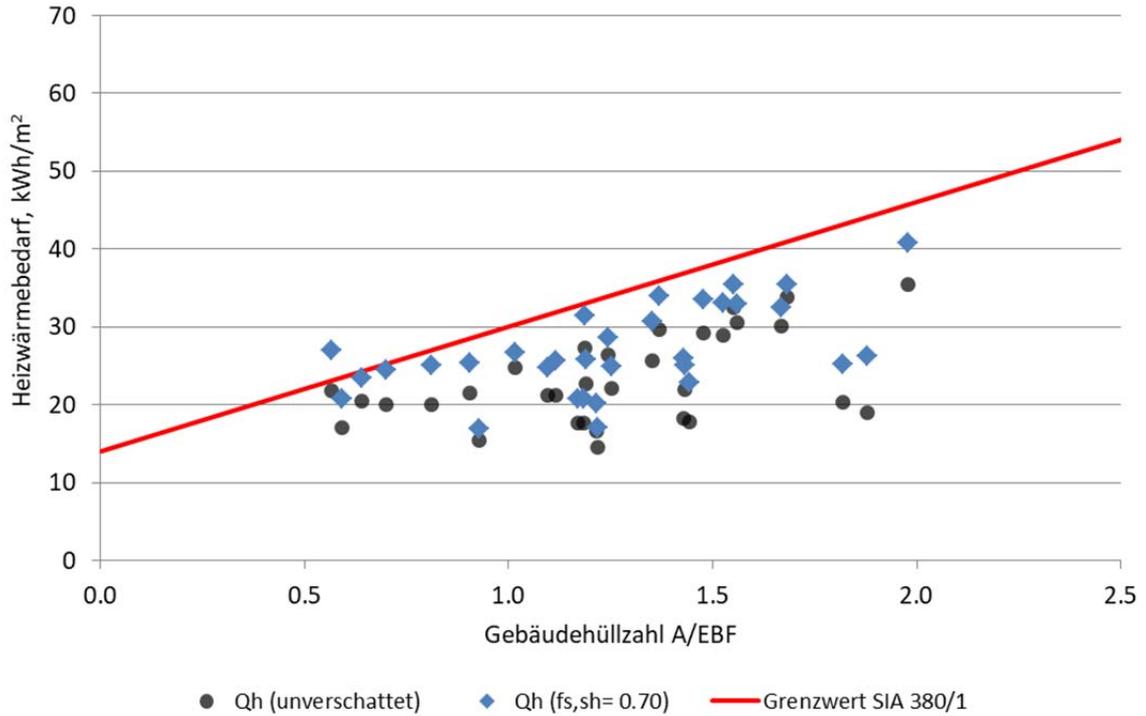


Abbildung 23 MFH (Variante 2): Heizwärmebedarf ohne Verschattung und mit Verschattungsfaktor 0.70

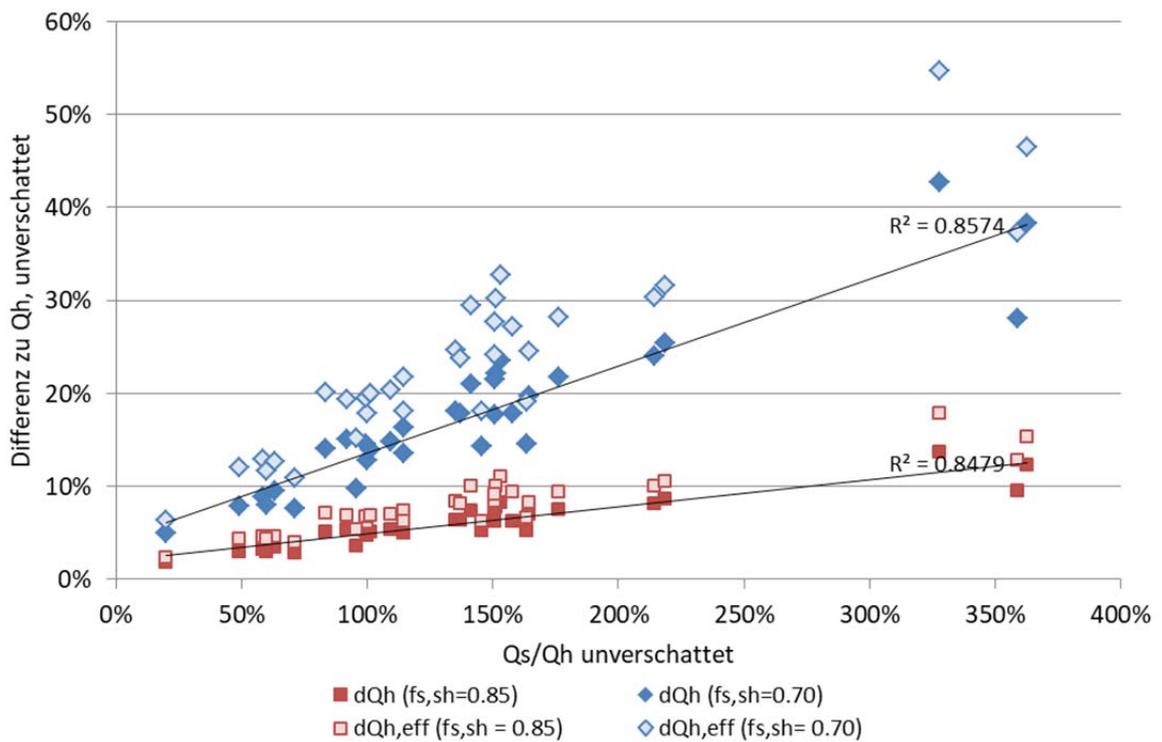


Abbildung 24 MFH (Variante 2): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Verhältnis Q_s/Q_h

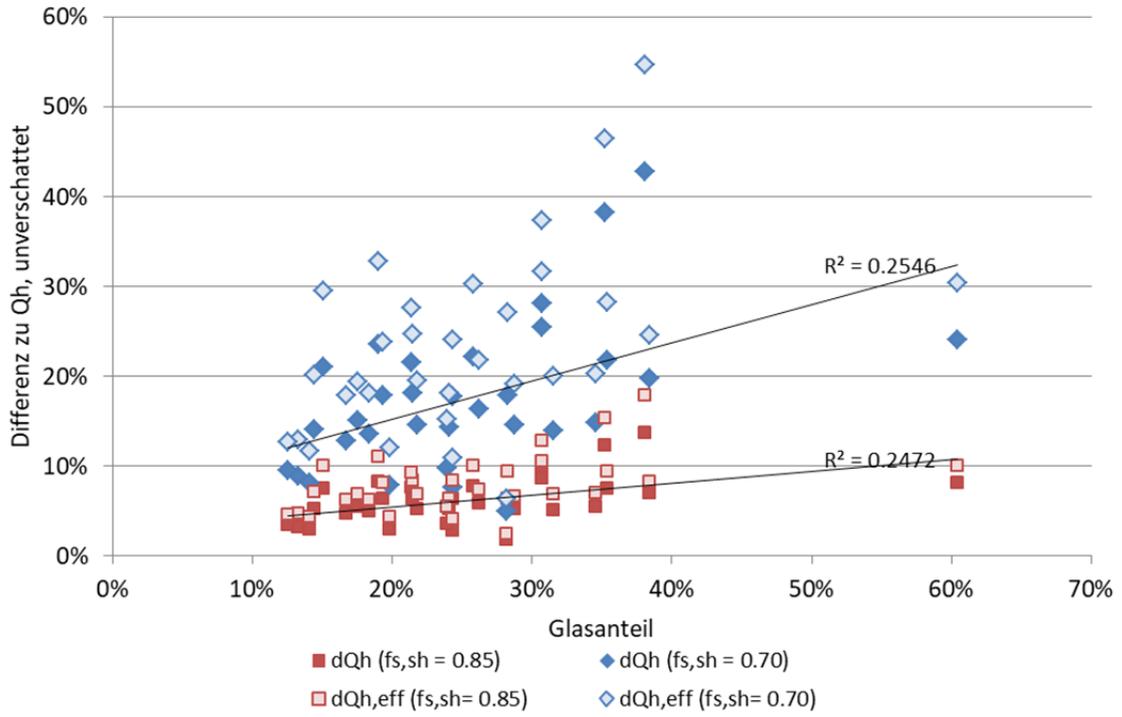


Abbildung 25 MFH (Variante 2): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Glasanteil der Fassade

7.3.2 Resultate Bürogebäude

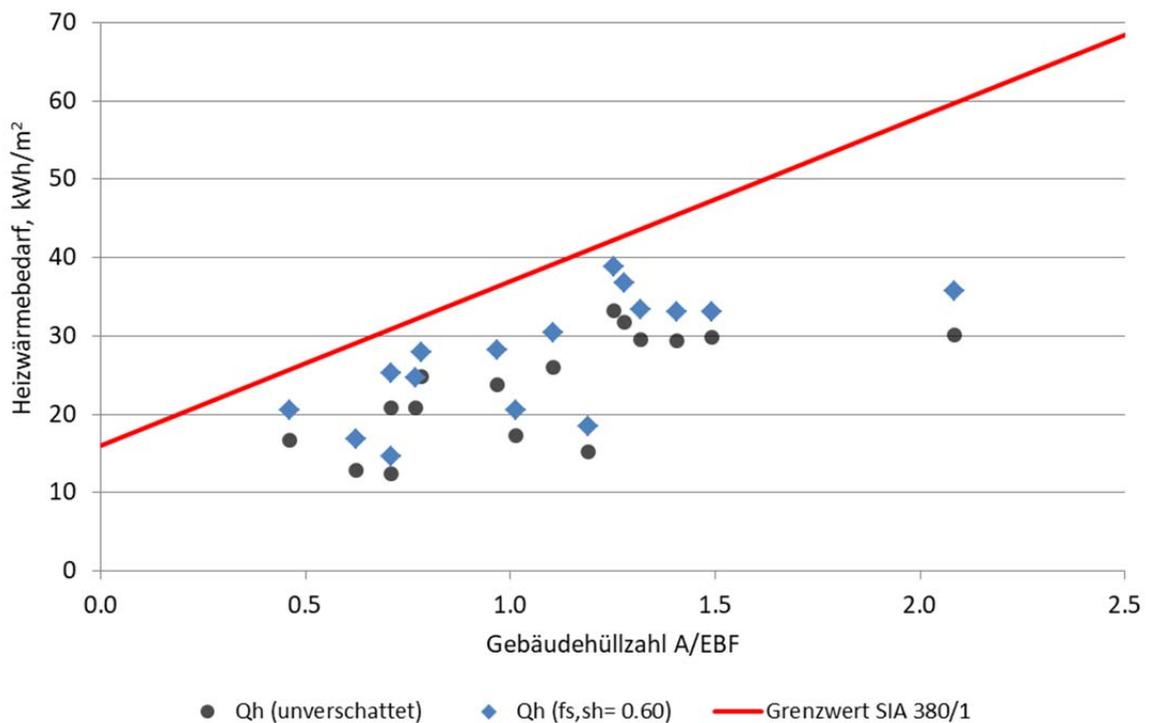


Abbildung 26 Büro (Variante 2): Heizwärmebedarf ohne Verschattung und mit Verschattungsfaktor 0.60

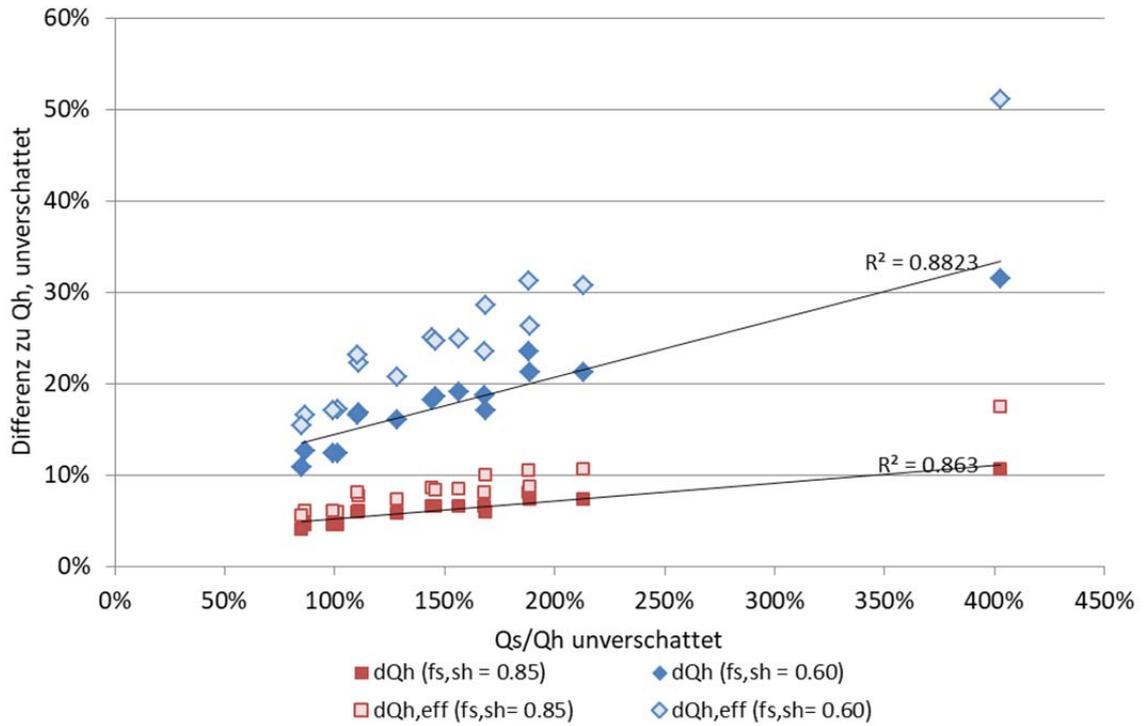


Abbildung 27 Büro (Variante 2): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Verhältnis Q_s/Q_h

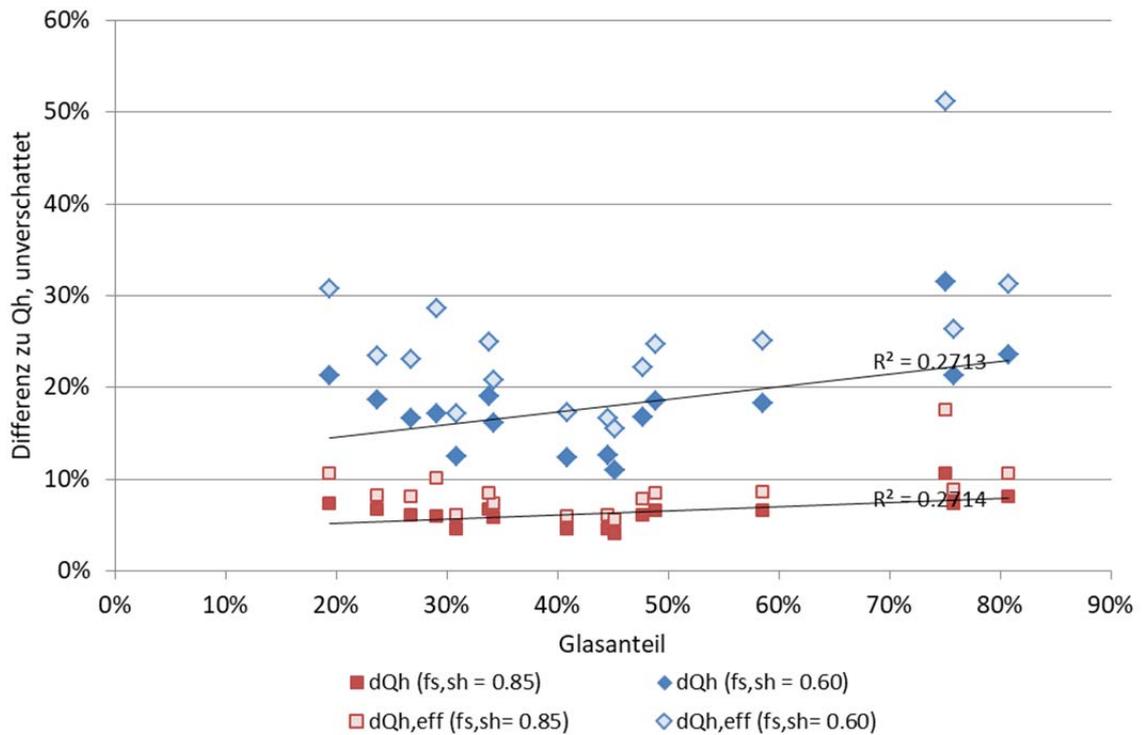


Abbildung 28 Büro (Variante 2): Zusätzlicher Heizwärmebedarf abhängig vom Glasanteil der Fassade



7.3.3 Fallbeispiel Bürogebäude

Für ein Neubau Bürogebäude (Minergie Nachweis 2009) aus der MuKE-Tool Datenbank, mit einem mittleren Fassadenglasanteil von 59%, einem g-Wert der Verglasung von 0.44 und einer Energiebezugsfläche von 9'000 m² wurde eine monatliche Bilanz der solaren und internen Wärmeeinträge sowie des Heizwärmebedarfs erstellt.

In Abbildung 29 sind die Wärmeeinträge dargestellt. Die Wärmeeinträge sind einmal ohne und einmal mit Verschattungsfaktor Sonnenschutz gerechnet. Als Verschattungsfaktor Sonnenschutz wurde $f_{s,sh} = 0.6$ gewählt.

Die Variante mit Verschattungsfaktor Sonnenschutz hat leicht höhere interne Wärmeeinträge, da dort aufgrund der verminderten solaren Wärmeeinträge der Ausnutzungsgrad der Wärmeeinträge in den Übergangszeiten März - Mai und Sept - Okt geringfügig höher ist und somit auch der Anteil der internen Wärmeeinträge an den gesamten Wärmeeinträgen.

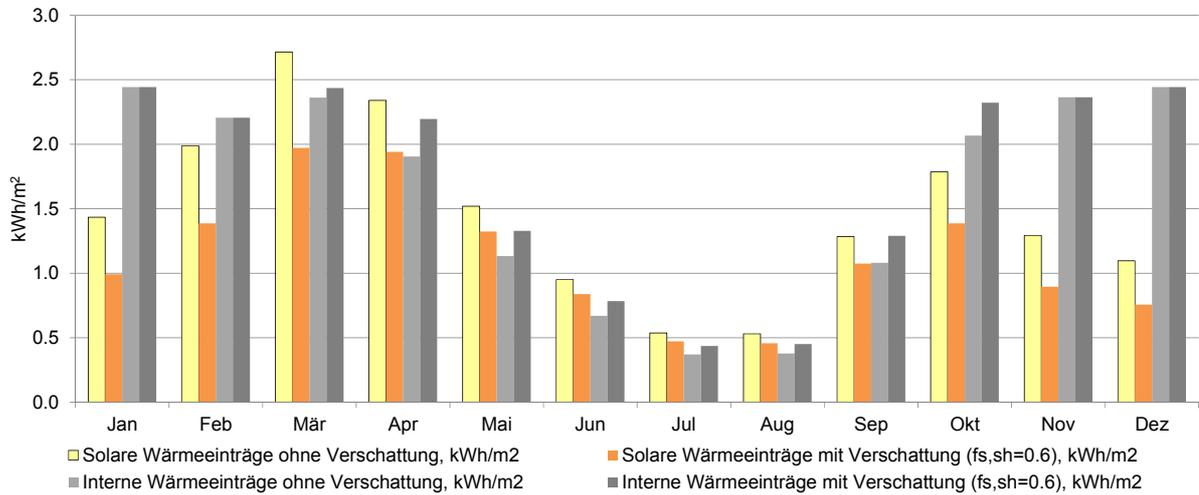


Abbildung 29 Monatliche Wärmeeinträge mit und ohne Verschattung durch Sonnenschutz

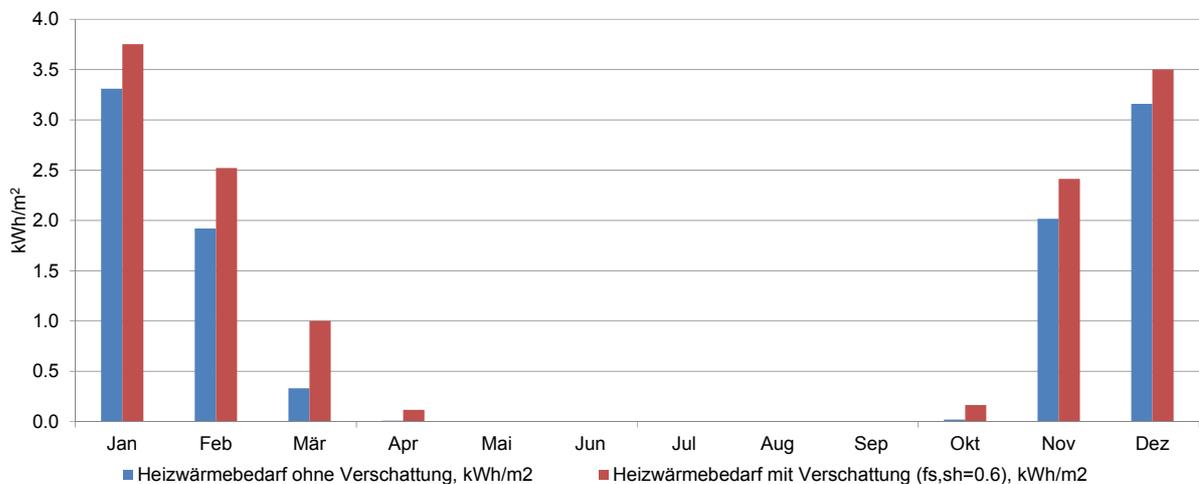


Abbildung 30 Monatlicher Heizwärmebedarf nach SIA 380/1 mit und ohne Verschattung durch Sonnenschutz



Die solaren Wärmeeinträge werden während der Heizperiode (Okt – Apr) bei einem Verschattungsfaktor Sonnenschutz von 0.60 um durchschnittlich 22% reduziert. Der zusätzliche Heizwärmebedarf pro Jahr beträgt 25% bzw. 2.7 kWh/m².

Tabelle 18 Auswirkung der Verschattung durch Sonnenschutz auf die monatlichen solaren Wärmeeinträge und den Heizwärmebedarf

	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Solare Wärmeeinträge ohne Verschattung, kWh/m ²	1.4	2.0	2.7	2.3	1.5	1.0	0.5	0.5	1.3	1.8	1.3	1.1	18.8
Interne Wärmeeinträge ohne Verschattung, kWh/m ²	2.4	2.2	2.4	1.9	1.1	0.7	0.4	0.4	1.1	2.1	2.4	2.4	18.0
Solare Wärmeeinträge mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6), kWh/m ²	1.0	1.4	2.0	1.9	1.3	0.8	0.5	0.5	1.1	1.4	0.9	0.8	14.7
Interne Wärmeeinträge mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6), kWh/m ²	2.4	2.2	2.4	2.2	1.3	0.8	0.4	0.5	1.3	2.3	2.4	2.4	19.5
Reduktion solare Gewinne (inkl. Ausnutzungsgrad)	31%	30%	27%	17%	13%	12%	12%	14%	16%	22%	31%	31%	22%
	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Heizwärmebedarf ohne Verschattung, kWh/m ²	3.3	1.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	3.2	10.8
Heizwärmebedarf mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6), kWh/m ²	3.8	2.5	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.4	3.5	13.5
Absoluter Mehrbedarf, kWh/m ²	0.4	0.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.3	2.7

Tabelle 19 Ausnutzungsgrade mit und ohne Verschattung Sonnenschutz

Ausnutzungsgrad für solare und interne Wärmeeinträge ohne Verschattung	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6)	1.00	1.00	0.97	0.81	0.46	0.28	0.15	0.15	0.46	0.85	1.00	1.00	0.63
	1.00	1.00	1.00	0.93	0.54	0.33	0.18	0.18	0.55	0.95	1.00	1.00	0.68
Ausnutzungsgrad für solare Wärmeeinträge ohne Verschattung	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6)	1.00	1.00	0.97	0.81	0.46	0.28	0.15	0.15	0.46	0.85	1.00	1.00	0.63
	0.69	0.70	0.70	0.67	0.40	0.25	0.13	0.13	0.38	0.66	0.69	0.69	0.49
Ausnutzungsgrad für interne Wärmeeinträge ohne Verschattung	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
mit Verschattung (f _{s,sh} =0.6)	1.00	1.00	1.00	0.93	0.54	0.33	0.18	0.18	0.55	0.95	1.00	1.00	0.68
	1.00	1.00	1.00	0.93	0.54	0.33	0.18	0.18	0.55	0.95	1.00	1.00	0.68



7.4 Zusammenfassung Berechnung nach SIA 380/1

Die Berechnung mit dem MuKE-Tool hat den Einfluss einer zusätzlichen Verschattung durch einen aussenliegenden Sonnenschutz auf den Heizwärmebedarf an 32 MFH und 16 Bürogebäuden aufgezeigt. Für die Berücksichtigung in SIA 380/1 werden nur die Ergebnisse der Berechnungsvariante 2 herangezogen. Dies weil die Variante 2 auf projektspezifischen g-Werten der Verglasung beruht und dadurch die Tendenz widerspiegelt, dass stark verglaste Gebäude oft tiefere g-Werte aufweisen als wenig verglaste Gebäude (siehe Abbildung 14).

Tabelle 20 fasst den mittleren zusätzlichen Heizwärmebedarf, berechnet mit Standard-Aussenluftvolumenstrom (ΔQ_h), für die ermittelten Verschattungsfaktoren zusammen. Der mittlere zusätzliche „effektive“ Heizwärmebedarf ($\Delta Q_{h,eff}$), berechnet unter Berücksichtigung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und des dadurch verminderten thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstroms, ist in Tabelle 21 wiedergegeben.

Tabelle 20 Zusammenfassung der Resultate, mittlerer zusätzlicher Heizwärmebedarf mit Verschattung

	MFH		Büro	
Verschattungsfaktor Sonnenschutz	0.85	0.70	0.85	0.60
	6%	18%	6%	18%
Zusätzlicher Heizwärmebedarf ΔQ_h	1.3 kWh/m ²	3.8 kWh/m ²	1.4 kWh/m ²	4.0 kWh/m ²

Tabelle 21 Zusammenfassung der Resultate, mittlerer zusätzlicher Heizwärmebedarf mit Verschattung unter Berücksichtigung des thermisch wirksamen Aussenluftvolumenstroms

	MFH		Büro	
Verschattungsfaktor Sonnenschutz	0.85	0.70	0.85	0.60
	8%	23%	9%	25%
Zusätzlicher Heizwärmebedarf $\Delta Q_{h,eff}$	1.0 kWh/m ²	2.9 kWh/m ²	1.1 kWh/m ²	3.1 kWh/m ²



8 Optimierungspotential

8.1 Ausgangslage und Ziel

Die Berechnungen in Kap. 7 haben gezeigt, dass bei Gebäuden mit automatischem Sonnenschutz im Mittel eine Zunahme des Heizwärmebedarfs im Bereich von 18 – 25% resultieren kann. Im Extremfall (kompakte, sehr gut wärmegeämmte Gebäude mit hohem Glasanteil) kann der effektive Heizwärmebedarf theoretisch sogar um mehr als 100% zunehmen (siehe Tabelle 16, rechts unten). Dies gilt für einfache Sonnenschutzsteuerungen, die ausschliesslich die direkte Solarstrahlung pro Fassade als Steuergrösse verwenden.

Ziel ist nun, das Potential zur Maximierung der solaren Wärmeeinträge im Winter durch eine entsprechend optimierte automatische Steuerung des Sonnenschutzes abzuschätzen. Dabei ist von zentraler Bedeutung, dass sich der Nutzer nicht eingeschränkt oder gestört fühlt und die optimierte Steuerung regelmässig von Hand übersteuert oder dauerhaft deaktiviert.

8.2 Wohnen

Bei Mehrfamilienhäusern scheint das Optimierungspotential insgesamt eher gering und eine automatische Regelung stösst auf Akzeptanzprobleme, solange Personen anwesend sind. Durch Aktivierung ausschliesslich bei Abwesenheit über einen Zentralschalter (z.B. gekoppelt an eine Alarmanlage) wäre eine automatische Regelung des Sonnenschutzes hingegen auch im Wohnbereich denkbar.

Bei Anwesenheit könnte zudem ein Ampelsystem implementiert werden, das die Raumtemperatur und die Solarstrahlung misst und dem Nutzer anzeigt, wann es sich lohnt, den Sonnenschutz hochzufahren. Jedoch hatten solche Ampelsysteme in der Vergangenheit wenig Erfolg gezeigt, wenn die Nutzer den Mehrwert für den thermischen Komfort nicht verstanden oder solange er sich wohl fühlt (Ackerly & Brager, 2012).

Die Regelung bei Abwesenheit hätte bei vollberufstätigen Ein- oder Zweipersonenhaushalten das Potential an fünf von sieben Wochentagen (70%) die solaren Wärmeeinträge zu optimieren. Noch höher könnte das Optimierungspotential bei Zweitwohnungen ausfallen, sofern diese im Winter nur selten genutzt und trotzdem beheizt werden.

8.3 Büro

Bei Bürogebäuden ist eine zentrale Steuerung von Rafflamellen bereits gängige Praxis. Nachts sowie übers Wochenende werden die Storen geschlossen, um Transmissionsverluste zu reduzieren.

Bei Anwesenheit wäre eine Regelung nötig, welche das Tageslicht, die Blendung und die Raumtemperatur einbezieht. Solche Systeme werden jedoch nur dann akzeptiert, wenn die Regelparameter für den Nutzer transparent sind und er sie bei Bedarf übersteuern kann. Zudem stossen häufige Bewegungen des Sonnenschutzes auf Akzeptanzprobleme.

Auch im Bürobereich ist die Akzeptanz einer automatischen Regelung des Sonnenschutzes zur Maximierung der solaren Wärmeeinträge im Winter daher primär bei Abwesenheit der Nutzer



gegeben. Eine Optimierung der solaren Wärmeeinträge ist somit in der Regel auf das Wochenende, also auf rund 30% der Zeit beschränkt. In Einzel- und Zweierbüros könnte zusätzlich ein Präsenzmelder an eine dezentrale Steuerung gekoppelt und das Optimierungspotential auf über 30% erhöht werden.

Tabelle 22 Optimierte Verschattungsfaktoren Sonnenschutz

	MFH		Büro	
Optimierungsfaktor $F_{sh,opt}$	70%		30%	
Steuerung	manuell	manuell	manuell	automatisch
Glasanteil Fassade	bis 20%	über 40%	bis 20%	unabhängig
Verschattungsfaktor Sonnenschutz ($f_{s,sh}$)	0.85	0.70	0.85	0.60
Verschattungsfaktor Sonnensch. optimiert ($f_{s,sh,opt}$)	0.96	0.91	0.90	0.72
Formel: $f_{s,sh,opt} = 1 - a_{sh} (1 - F_{sh,opt})$				



9 Schlussfolgerungen

Die im vorliegenden Projekt messtechnisch ermittelten Verschattungsfaktoren für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen liegen, je nach Glasanteil der Fassade und Art der Sonnenschutzsteuerung im Bereich von 0.85 bis 0.60. Im Unterschied zu anderen Studien, die Verschattungsfaktoren rein analytisch aufgrund von durchschnittlichen Solarstrahlungsdaten ableiten, resultieren mit dem im vorliegenden Projekt gewählten Ansatz tendenziell höhere Verschattungsfaktoren. D.h. die solaren Wärmeeinträge werden aufgrund des realen Nutzerverhaltens durch Sonnenschutzeinrichtungen weniger stark reduziert, als rein analytisch anzunehmen wäre. Dies trifft auch bei automatisch gesteuerten Sonnenschutzsystemen zu, da die Nutzer die von der Steuerung vorgewählte Sonnenschutzstellung oft übersteuern. Wenn der Energiedurchlassgrad g_{tot} von Verglasung und Sonnenschutz deutlich über 0.1 liegt, fallen die Verschattungsfaktoren Sonnenschutz noch höher aus.

Die messtechnisch ermittelten Verschattungsfaktoren sind zudem, im Unterschied zu den analytisch berechneten Verschattungsfaktoren, nicht von der Orientierung der Fassade abhängig. Auch die Gebäudekategorie (MFH, Büro) oder das Alter der Gebäude hatten bei den untersuchten Objekten keine signifikante Auswirkung auf die Verschattungsfaktoren. Dies ermöglicht verhältnismässig einfache Verschattungsfaktoren Sonnenschutz, die nur vom Glasanteil der Fassade und von der Art der Steuerung (manuell, automatisch) abhängig sind.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs unter Berücksichtigung der ermittelten Verschattungsfaktoren Sonnenschutz ergibt einen Mehrverbrauch von 6% bis 18% bzw. rund 1 bis 4 kWh/m². Dieser verhältnismässig geringe Mehrverbrauch kumuliert sich mit anderen Einflussfaktoren, wie z.B. der Raumtemperatur und dem Aussenluftvolumenstrom, die in der Summe dazu führen, dass der bei Neubauten gemessene Heizwärmeverbrauch oft 50% bis mehr als 100% über dem nach SIA 380/1 berechneten Heizwärmebedarf liegt.

Daher wird vorgeschlagen, im Berechnungsmodell SIA 380/1 zukünftig Verschattungsfaktoren für den Sonnenschutz einzuführen. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Steuerung manuell oder automatisch erfolgt. Bei manueller Steuerung war der gemessene Verschattungsfaktor kleiner als bei Gebäuden mit automatisch gesteuertem Sonnenschutz. Somit werden die solaren Wärmeeinträge bei automatisch gesteuertem Sonnenschutz stärker reduziert. Abklärungen bei einem grossen Hersteller zeigten, dass sich solare Wärmeeinträge im Winter mit intelligenter Steuerung trotzdem optimieren und der Heizwärmeverbrauch senken lassen. Das vorliegende Projekt schlägt ebenfalls einen einfachen Ansatz für die Berücksichtigung einer optimierten automatischen Sonnenschutzsteuerung vor.



10 Literatur

- Ackerly, K., & Brager, G. (2012). Title: Window Signaling Systems: Control Strategies & Occupant Behavior Window Signaling Systems: Control Strategies & Occupant Behavior. Retrieved from <http://escholarship.org/uc/item/42q6f5gm>
- Atif, M. R., Love, J. a, & Littlefair, P. (1997). Daylighting Monitoring Protocols & Procedures for Buildings. A Report of IEA Task, 21(October), 1–97. <https://doi.org/10.1080/09613210802243159>
- Bellia, L., De Falco, F., & Minichiello, F. (2013). Effects of solar shading devices on energy requirements of standalone office buildings for Italian climates. *Applied Thermal Engineering*, 54(1), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039>
- Correia da Silva, P., Leal, V., & Andersen, M. (2015). Occupants' behaviour in energy simulation tools: lessons from a field monitoring campaign regarding lighting and shading control. *Journal of Building Performance Simulation*, 8(5), 338–358. <https://doi.org/10.1080/19401493.2014.953583>
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., ... Glazer, J. (2001). EnergyPlus : Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program EnergyPlus : creating a new-generation building energy simulation program, 33, 319–331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Day, J., Theodorson, J., & Van Den Wymelenberg, K. (2012). Understanding controls, behaviors and satisfaction in the daylight perimeter office: A daylight design case study. *Journal of Interior Design*, 37(1), 17–34. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1668.2011.01068.x>
- DIN EN 14500 (2008). Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung EN 14500:2008
- DIN EN ISO 52022-1 (2017). Energieeffizienz von Gebäuden - Wärmetechnische, solare und tageslichtbezogene Eigenschaften von Bauteilen und Bauelementen - Teil 1: Vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasungen (ISO 52022-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 52022-1:2017
- EN 13363-1 (2003). Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Teil 1: Vereinfachtes Verfahren; Deutsche Fassung EN 13363-1:2003+A1:2007
- EN ISO 13790 (2008). Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space (heating and cooling (seit 2017 ersetzt durch EN-ISO 52016-1 (2017)))
- EN-ISO 52016-1 (2017). Energetische Bewertung von Gebäuden - Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie fühlbare und latente Heizlasten - Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO 52016-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 52016-1:2017
- Foster, M., & Oreszczyn, T. (2001). Occupant control of passive systems: The use of Venetian blinds. *Building and Environment*, 36(2), 149–155. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00074-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00074-8)
- Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728–742. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.001>
- Grynning, S., Lolli, N., Wågø, S., & Risholt, B. (2017). Solar Shading in Low Energy Office Buildings - Design Strategy and User Perception. *Journal of Daylighting*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.15627/jd.2017.1>
- Grynning, S., Time, B., & Matusiak, B. (2014). Solar shading control strategies in cold climates - Heating, cooling demand and daylight availability in office spaces. *Solar Energy*, 107(7465), 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.06.007>
- Haldi, F., & Robinson, D. (2009). A COMPREHENSIVE STOCHASTIC MODEL OF WINDOW USAGE : THEORY AND VALIDATION Solar Energy and Building Physics Laboratory , Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne ,. In *A comprehensive stochastic model of window usage: Theory and validation* (pp. 545–552).
- Haug, I. (2001). *Energietransport durch Sonnenschutzsysteme und Lichtlenkelemente*. Düsseldorf: VDI.



- Hoffmann, C. (2017). *Offene Fragen beim Einsatz der SIA 380/1 als Prognoseinstrument bei Bestandsgebäuden (Wohnbauten)*. Bern. Retrieved from <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36891>
- Inkarojrit, V. (2005). *Balancing comfort: occupants' control of window blinds in private offices*. University of California, Berkeley. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/3rd2f2bg>
- Inoue, T., Kawase, T., Ibamoto, T., Takakusa, S., & Matsuo, Y. (1988). The development of an optimal control system for window shading devices based on investigations in office buildings. *ASHRAE Transactions*, *94*, 1034–1049. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Karjalainen, S. (2013). Should it be automatic or manual - The occupant's perspective on the design of domestic control systems. *Energy and Buildings*, *65*, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.05.043>
- Karlsen, L., Heiselberg, P., & Bryn, I. (2015). Occupant satisfaction with two blind control strategies: Slats closed and slats in cut-off position. *Solar Energy*, *115*, 166–179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.02.031>
- Karlsen, L., Heiselberg, P., Bryn, I., & Johra, H. (2016). Solar shading control strategy for office buildings in cold climate. *Energy and Buildings*, *118*(130), 316–328. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.014>
- Kim, J. H., Park, Y. J., Yeo, M. S., & Kim, K. W. (2009). An experimental study on the environmental performance of the automated blind in summer. *Building and Environment*, *44*(7), 1517–1527. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.08.006>
- Koo, S. Y., Yeo, M. S., & Kim, K. W. (2010). Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings. *Building and Environment*, *45*(6), 1508–1520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.014>
- Kulemann, C. (2004). *Blendschutz SIA 380/1 - Berechnung monatliche Solargewinne*. Zürich. Inkl. Aktennotiz der Kommission SIA 380/1 vom 29.11.2004
- Lamy, H. (2015). *Sonnenschutz für energieeffiziente Gebäude*. Zaventem, Belgien. Retrieved from www.es-so.com
- Lemon Consult AG. (2009). *Energieoptimierter Einsatz von Sonnen- und Blendschutz in Bürogebäuden*. Zürich.
- Loutzenhiser, P. G., Manz, H., Carl, S., Simmler, H., & Maxwell, G. M. (2008). Empirical validations of solar gain models for a glazing unit with exterior and interior blind assemblies. *Energy and Buildings*, *40*(3), 330–340. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.034>
- Mahdavi, A., Mohammadi, A., Kabir, E., & Lambeva, L. (2008). Occupants' operation of lighting and shading systems in office buildings. *Journal of Building Performance Simulation*, *1*(1), 57–65. <https://doi.org/10.1080/19401490801906502>
- Newsham, G. R. (1994). Manual Control of Window Blinds and Electric Lighting: Implications for Comfort and Energy Consumption. *Indoor Environment*, *3*(3), 135–144. <https://doi.org/10.1177/1420326X9400300307>
- Nicol, F., Wilson, M., & Chiancarella, C. (2006). Using field measurements of desktop illuminance in European offices to investigate its dependence on outdoor conditions and its effect on occupant satisfaction, and the use of lights and blinds. *Energy and Buildings*, *38*(7), 802–813. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.014>
- Nielsen, M. V., Svendsen, S., & Jensen, L. B. (2011). Quantifying the potential of automated dynamic solar shading in office buildings through integrated simulations of energy and daylight. *Solar Energy*, *85*(5), 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.01.010>
- Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. C. (2010). Research on heating and cooling requirements of buildings with solar louvre devices. *Advances in Building Energy Research*, *4*(1), 1–21. <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0401>
- Pigg, S., Eilers, M., & Reed, J. (1996). Behavioral aspects of lighting and occupancy sensors in private offices : A case study of a university office building. *Proceedings of ACEEE Summer Study*, 161–170.
- Poirazis, H., Blomsterberg, Å., & Wall, M. (2008). Energy simulations for glazed office buildings in Sweden. *Energy and Buildings*, *40*(7), 1161–1170. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.011>
- Polinder, H., Schweiker, M., Van der Aa, A., Schakib-Ekbatan, K., Fabi, V., Andersen, R., ... Wagner, A. (2013). *Final Report Annex 53 - Occupant behavior and modeling (Separate Document Volume II)*. Retrieved from http://www.iea-ebc.org/fileadmin/user_upload/images/Pictures/EBC_Annex_53_Appendix_Volume_2.pdf



- Rea, M. S. (1984). Window blind occlusion: a pilot study. *Building and Environment*, 19(2), 133–137. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(84\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0360-1323(84)90038-6)
- Reinhart, C. F. (2004). Lightswitch-2002: A model for manual and automated control of electric lighting and blinds. *Solar Energy*, 77(1), 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.003>
- Reinhart, C. F., & Wienold, J. (2011). The daylighting dashboard - A simulation-based design analysis for daylight spaces. *Building and Environment*, 46(2), 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.08.001>
- Reinhart, C., & Voss, K. (2003). Monitoring manual control of electric lighting and blinds. *Lighting Research & Technology*, 35(3), 243–258. <https://doi.org/10.1191/1365782803li064oa>
- Rittener, Y. (2015). *Sonnenschutz und Blendschutz: das starke Duo zur Energieeinsparung*. Volketswil.
- Rubin, a. I., Collins, B. L., & Tibbott, R. L. (1978). Window blinds as a potential energy saver-a case study. *NBS Building Science Series*, 112, 89. Retrieved from <https://www.ncjrs.gov/pdffiles1/Digitization/64368NCJRS.pdf>
- Sadeghi, S. A., Karava, P., Konstantzos, I., & Tzempelikos, A. (2016). Occupant interactions with shading and lighting systems using different control interfaces: A pilot field study. *Building and Environment*, 97, 177–195. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.008>
- Schoch, T. (2009). *EnEV 2009 und DIN V 18599: Nichtwohnbau Kompaktdarstellung, Kommentar, Praxisbeispiele*. Beuth Verlag.
- Shen, E., Hu, J., & Patel, M. (2014). Energy and visual comfort analysis of lighting and daylight control strategies. *Building and Environment*, 78, 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.028>
- SIA 387/4 (2017). *Elektrizität in Gebäuden - Beleuchtung: Berechnung und Anforderungen*. SIA 2017
- Simmler, H. (2003). Messung und Simulation von transparenten Bauteilen mit Sonnenschutz. *Messtechnik*, (September 2004), 1–8.
- Société Estia SA. (2014). *Performance globale en éclairage/Global lighting performance*. Bern.
- Strachan, P. (2000). *ESP-r: Summary of Validation Studies. Technical Report*. Glasgow. Retrieved from <http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/validation.pdf>
- Sukru Tokel, H. (2006). *User Control Actions in Buildings: A Case Study of Shading Haydar Sukru Tokel*. TU Wien. Retrieved from http://papers.cumincad.org/data/works/att/bsct_tokel.content.06892.pdf
- Sutter, Y., Dumortier, D., & Fontoynt, M. (2006). The use of shading systems in VDU task offices: A pilot study. *Energy and Buildings*, 38(7), 780–789. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.010>
- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 51(2012), 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.008>
- van Hooff, T., Blocken, B., Timmermans, H. J. P., & Hensen, J. L. M. (2016). Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. *Energy*, 94, 811–820. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.036>
- van Moeseke, G., Bruyère, I., & De Herde, A. (2007). Impact of control rules on the efficiency of shading devices and free cooling for office buildings. *Building and Environment*, 42(2), 784–793. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.015>
- Zhang, Y., & Barrett, P. (2012). Factors influencing occupants' blind-control behaviour in a naturally ventilated office building. *Building and Environment*, 54, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.016>



11 Anhang

11.1 Monatliche Verschattungsfaktoren

Von der Begleitgruppe wurde angeregt abzuklären, ob die Anteile der Solarenergie während Stunden mit und Stunden ohne direkte Sonneneinstrahlung je nach Monat stark variieren und daher monatliche Verschattungsfaktoren anzuwenden wären. Eine Auswertung für die Monate Oktober, Januar und März ergibt, dass die Anteile der Solarenergie während Stunden mit und Stunden ohne direkte Sonneneinstrahlung zwar variieren (siehe Tabelle 23), der Einfluss auf die gewichteten Verschattungsfaktoren jedoch insgesamt gering ist (siehe Tabelle 24).

$$f_{S,sh} = f_{S,sh,dir} \cdot b_{150} + f_{S,sh,diff} \cdot (1 - b_{150})$$

Wobei

$$f_{S,sh,dir} = 1 - a_{sh,dir} \cdot b_{150}$$

$$f_{S,sh,diff} = 1 - a_{sh,diff} \cdot (1 - b_{150})$$

Die Ursache für den geringen Unterschied liegt in den bei vielen Gebäuden sehr nahe beieinanderliegenden Verschattungsfaktoren bei Direkt- und Diffusstrahlung (siehe Tabelle 24 oben). Auf monatliche Verschattungsfaktoren wird daher verzichtet.

Tabelle 23 Energieanteile zur Gewichtung über unterschiedliche Zeiträume berechnet

Energieanteile Direktstrahlung > 150 W/m²				
	Heizperiode	Oktober	Januar	März
O	40%	54%	17%	54%
S	70%	80%	73%	71%
W	41%	36%	34%	52%

Energieanteile Diffusstrahlung				
	Heizperiode	Oktober	Januar	März
O	60%	46%	83%	46%
S	30%	20%	27%	29%
W	59%	64%	66%	48%



Tabelle 24 Anteil verschattete Fenster bei Direkt- und Diffusstrahlung (oben) und gewichtete Verschattungsfaktoren (unten)

1- Anteil verschatteter Fenster bei Direktstrahlung > 150 W/m²

	Total	Büro	MFH	Anzahl Büros	Anzahl MFH
O	0.73	0.71	0.74	3	7
SO	0.69	0.69	0.69	4	5
S	0.73	0.74	0.68	10	3
SW	0.80	0.67	0.82	1	7
W	0.71	0.68	0.74	14	14

1- Anteil verschatteter Fenster bei Direktstrahlung < 150 W/m²

	Total	Büro	MFH	Anzahl Büros	Anzahl MFH
O	0.79	0.82	0.78	3	7
SO	0.78	0.82	0.75	4	5
S	0.80	0.83	0.72	10	3
SW	0.81	0.67	0.83	1	7
W	0.76	0.75	0.77	14	14

Gewichtete Verschattungsfaktoren

	Heizperiode	Oktober	Januar	März
O	0.77	0.76	0.78	0.76
S	0.75	0.74	0.75	0.75
W	0.74	0.74	0.74	0.73



11.2 Zeitliche Dynamik des Sonnenschutzes

Da in der Literatur immer wieder erwähnt wird, dass Gebäudenutzer oft sehr träge auf veränderliche Umweltbedingungen reagieren, wurde aus den Messresultaten der Verschattungsmessung die zeitliche Veränderung der Verschattungszustände ausgewertet, woraus eine mittlere Anzahl Bewegungen pro Fenster und Tag entsteht. Die Resultate der Auswertung sind in dargestellt. Automatisch gesteuerten Rafflamellen an Bürogebäuden werden ungefähr dreimal häufiger bewegt als manuell gesteuerte. Andere Faktoren scheinen für die Dynamik zumindest auf den ersten Blick keine Rolle zu spielen. Das Messintervall von 3h und max. 3 Aufnahmen pro Tag bieten aber auch keine hohe Auflösung. Bewegungen der Lamellenwinkel wurden ebenfalls nicht erfasst.

Tabelle 25 Anzahl Bewegungen pro Fenster und Tag

automatisch					
Orientierung	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
O				0	0
SO	0.47	0.47		1	0
S	0.33	0.33		4	0
SW				0	0
W	0.39	0.35	0.61	5	1

manuell					
Orientierung	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
O	0.10	0.10	0.10	3	7
SO	0.18	0.14	0.20	3	5
S	0.14	0.12	0.17	6	3
SW	0.12	0.17	0.12	1	7
W	0.12	0.10	0.14	9	13

automatisch					
Glasanteil	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
<=20%				0	0
>20%	<=40%	0.29		5	0
>40%	<=60%	0.36	0.61	3	1
>60%	<=80%	0.62	0.62	2	0

manuell					
Glasanteil	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
<=20%	0.11	0.07	0.13	9	19
>20%	<=40%	0.14	0.15	9	11
>40%	<=60%	0.15	0.13	4	5
>60%	<=80%			0	0

automatisch					
Behang Art	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Klappläden				0	0
Markise	0.47	0.47		1	0
Rafflamellen	0.37	0.34	0.61	9	1
Rollläden				0	0

manuell					
Behang Art	Total	Büro	MFH	Anzahl Büro	Anzahl MFH
Klappläden	0.03	0.00	0.04	1	5
Markise	0.13	0.13		3	0
Rafflamellen	0.16	0.12	0.19	11	12
Rollläden	0.12	0.11	0.13	7	18