

Aktivierung von Blend- und Sonnenschutzsystemen

Energetische Bewertung von Gebäuden

Thema: Aktivierung von Blend- und Sonnenschutzsystemen

Arbeitsbericht, 12. Dezember 2008
 Markus Lichtmeß

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Aufgabenstellung	3
2	Berechnungen	3
2.1	Solare Gewinne in den thermischen Energiebilanzen	3
2.2	Energiebilanz für Beleuchtungsstrombedarf	5
2.3	Rechenmodell	7
2.3.1	Analyse auf der Basis stündlicher Strahlungsdaten	8
2.3.2	Berechnung der Strahlungsdaten	10
2.3.3	Aktivierungsparameter beweglicher Sonnenschutzsysteme	12
2.3.3.1	Nutzereinfluss	12
2.3.3.2	Zeitanteile	15
2.3.3.3	Einstrahlungsintensität	17
2.3.3.4	Beschreibung des Rechenmodells	17
3	Auswirkungen auf die Energiebilanz	27
3.1	Auswirkungen auf den wirksamen Energiedurchlassgrad, g_{eff}	27
3.2	Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf	30
3.2.1	Vergleichszone: Klassenraum	32
3.2.1.1	Daylight 1-2-3	32
3.2.1.2	ParaSol	33
3.2.1.3	EnerCalC – DIN V 18599	35
3.2.2	Vergleichszone: Büro	36
3.2.2.1	Daylight 1-2-3	36
3.2.2.2	ParaSol	38
3.2.2.3	EnerCalC - DIN V 18599	39
3.2.3	Dämmstandard und Heizwärmebedarf	40
3.2.4	Ergebnisinterpretation von Daylight 1-2-3, ParaSol und EnerCalC	42
3.3	Primärenergetische Auswirkungen	43
4	Auswertung	47
5	Literatur	52
6	Anhang	55
6.1	Visualisierung der reinen Strahlungsdaten für eine Südfassade	55
6.2	Monatliche relative einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängige Aktivierungsgrade von beweglichen Sonnen- und Blendschutzsystemen	56
6.3	Auswertung der Strahlungsdaten	59

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Bewegliche Sonnenschutzsysteme übernehmen in der Praxis auch oft die Funktion des Blendschutzes. Der Schutz vor Blendung soll jedoch nicht nur während der Sommerperiode wirken, sondern diese Funktionalität wird auch in der Übergangszeit und in der Winterperiode gefordert. Somit haben die Sonnen- und Blendschutzsysteme gleichermaßen Auswirkungen auf den Energiebedarf für Kühlung, Heizwärme und Beleuchtung [29] [35] [37].

In der aktuellen DIN V 18599 wird diesem Zusammenhang in den Energiebilanzen Rechnung getragen, indem die Aktivierung beweglicher Sonnenschutzsysteme in den Bilanzgleichungen über den gesamten Jahreszeitraum berücksichtigt wird [3]. Die in DIN V 18599 angegebenen Aktivierungsparameter für bewegliche Sonnenschutzsysteme wurden mithilfe instationärer Simulationsrechnungen ermittelt und basieren im Wesentlichen auf Steueralgorithmen, die wiederum im Wesentlichen in Abhängigkeit von Einstrahlungsdaten das Schaltverhalten von Sonnenschutzsystemen regeln [38] [39].

Das Ziel dieser Studie ist die Bestimmung angepasster Aktivierungsparameter für bewegliche Sonnenschutzsysteme unter Anwendung eines Schaltverhaltens, das eine typische Nutzung einbezieht. Es wird ein vereinfachtes Rechenmodell konzipiert, anhand dessen die Aktivierungszeiträume von Blend- und Sonnenschutzsystemen ebenfalls auf der Basis stündlicher Einstrahlungsdaten berechnet werden. Die in DIN V 18599 formulierten Ansätze werden insbesondere im Hinblick auf die Höhe des bilanzierten Heizwärmebedarfs bewertet.

2 Berechnungen

In den folgenden Abschnitten werden die Bilanzierungsansätze, welche die Aktivierungszeiten beweglicher Blend- und Sonnenschutzsysteme berücksichtigen, erläutert. Dabei werden in DIN V 18599 ([2] und [3]) unterschiedliche Ansätze verfolgt, die indirekt aneinander gekoppelt sind. Auf Zonenebene erfolgt die Bilanzierung des Heizwärme-, des Kühlenergiebedarfs sowie des Strombedarfs für Beleuchtung unter Berücksichtigung aktivierter beweglicher Blend- und Sonnenschutzsysteme.

2.1 Solare Gewinne in den thermischen Energiebilanzen

Werden Sonnenschutzsysteme auch als Blendschutz eingesetzt, was häufig bei Jalousiesystemen der Fall ist, verringern sie die in der Heizperiode einfallenden solaren Gewinne. In dieser Zeit kann je nach Raum- und Fenstergeometrie als auch in Abhängigkeit der Entfernung zum Fenster das Blendkriterium überschritten werden, weshalb diese Systeme auch innerhalb der Heizperiode aktiviert werden. In neueren Energiebilanzierungsverfahren, wie z. B. nach DIN V 18599, wird diesem Umstand Rechnung getragen [17]. Die solaren Gewinne für die thermischen Energiebilanzen berechnen sich nach [2] gemäß folgender Gleichung:

$$Q_{S,tr} = F_F \cdot A \cdot g_{eff} \cdot I_S \cdot t \quad (1)$$

mit

$Q_{S,tr}$	kWh/d	solare Wärmeeinträge durch Fenster oder transparente Bauteile
F_F	-	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil, wenn nicht genauer bekannt (= 0,7)
A	m ²	Fläche des Bauteils (in der Regel das lichte Rohbaumaß)
g_{eff}	-	wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
t	h	Dauer des Berechnungsschrittes (t = 24 h)
I_S	W/m ²	mittlere solare Einstrahlung im Bilanzmonat nach [4]

Der wirksame Energiedurchlassgrad g_{eff} berücksichtigt ein Aktivierungsverhalten von Sonnenschutz- und Blendschutzsystemen gleichermaßen. Variable Sonnenschutzsysteme werden, anders als in den Berechnungsansätzen in DIN V 4108-6 und DIN EN 832, über einen wirksamen Energiedurchlassgrad bewertet, welcher nach [2] gemäß folgender Beziehung ermittelt wird.

$$g_{eff} = F_W \cdot F_V \cdot \min \left(\frac{a \cdot g_{tot} + (1-a) \cdot g_{\perp}}{F_S \cdot g_{\perp}} \right) \quad (2)$$

mit

F_W	-	Abminderungsfaktor für nichtsenkrechten Strahlungseinfall (= 0,9)
F_V	-	Abminderungsfaktor für Verschmutzung, gemäß [4] (in der Regel 0,9; für Wohnnutzung 1,0)
F_S	-	Abminderungsfaktor für Verschattung, bei üblichen Anwendungsfällen (= 0,9)
a	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen
g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung nach EN 13363-1/2
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung nach DIN EN 410

Mit einem Parameter (a) wird für den Bilanzzeitraum, entweder Sommer oder Winter, ein aktivierter Sonnenschutz berücksichtigt. Für den übrigen Teil ($1 - a$) des jeweiligen Jahres-Bilanzzeitraumes wird der Sonnenschutz als nicht aktiviert berücksichtigt, und es wirkt lediglich der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g_{\perp} . Wird die Summe beider Teile größer als der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung ohne Sonnenschutzvorrichtung, jedoch unter Berücksichtigung der Verschattungssituation, so ist dieser Wert zu verwenden. Ist der durch die bauliche Verschattung berechnete Energiedurchlass ($F_S \times g_{\perp}$) geringer als der durch das Sonnenschutzsystem ermittelte Wert, so ist dieser Wert anzusetzen. Die a -Faktoren werden in DIN V 18599, Teil 2 für die Jahreszeitabschnitte Winter (Oktober bis März) und Sommer (April bis September) differenziert angegeben. Folgende Tabellen zeigen die in [2] aufgeführten a -Parameter zur Bestimmung des wirksamen Energiedurchlassgrads g_{eff} in Abhängigkeit der Art der Steuerung, der Neigung und der Orientierung mit Sonnen- und Blendschutz ausgestatteter Flächen. Diese Zahlenwerte entsprechen den relativen Gewichtungsanteilen geschlossener Sonnenschutzsysteme für den jeweiligen Jahres-Bilanzzeitraum und berücksichtigen neben Zeitanteilen auch die Intensität der solaren Einstrahlung.

Tabelle 1: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen manuell- oder zeitgesteuerten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2

	Periode	NORD	NO/NW	OST/WEST	SW/SO	SÜD
90°, senkrecht	Winter	0,00	0,00	0,34	0,63	0,71
	Sommer	0,00	0,13	0,39	0,56	0,67
60°	Winter	0,00	0,01	0,36	0,63	0,69
	Sommer	0,03	0,33	0,54	0,68	0,76
45°	Winter	0,00	0,02	0,34	0,59	0,66
	Sommer	0,30	0,46	0,61	0,72	0,78
30°	Winter	0,00	0,05	0,32	0,53	0,60
	Sommer	0,55	0,60	0,67	0,74	0,78
0°, horizontal	Winter			0,24		
	Sommer			0,74		

Tabelle 2: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen strahlungsabhängig gesteuerten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2

	Periode	NORD	NO/NW	OST/WEST	SW/SO	SÜD
90°, senkrecht	Winter	0,00	0,03	0,45	0,71	0,77
	Sommer	0,10	0,49	0,70	0,77	0,79
60°	Winter	0,00	0,05	0,48	0,70	0,75
	Sommer	0,43	0,69	0,81	0,86	0,88
45°	Winter	0,01	0,08	0,47	0,67	0,72
	Sommer	0,64	0,77	0,84	0,88	0,90
30°	Winter	0,05	0,14	0,45	0,62	0,67
	Sommer	0,80	0,83	0,87	0,89	0,90
0°, horizontal	Winter			0,42		
	Sommer			0,89		

2.2 Energiebilanz für Beleuchtungsstrombedarf

Die zeitlich diskrete Berücksichtigung von aktivierten Sonnen- und Blendschutzsystemen wird, neben der Berechnung der solaren Gewinne, auch für die Tageslichtversorgung genutzt. In DIN V 18599 ist dies im Teil 4 - Berechnung des Beleuchtungsstrombedarfs - umgesetzt. Der für einen Berechnungsbereich erforderliche Energieaufwand zur Beleuchtung ist gemäß [3] nach folgender Gleichung definiert.

$$Q_{l,b,n,j} = p_j \cdot (A_{TL,j} \cdot (t_{\text{eff,TagTL},j} + t_{\text{eff,Nacht},j}) + A_{KTL,j} \cdot (t_{\text{eff,TagKTL},j} + t_{\text{eff,Nacht},j})) \quad (3)$$

Für den tageslichtversorgten Bereich ist folgender Term relevant. Hierbei berechnet sich die mit Tageslicht versorgte Fläche $A_{TL,j}$ aus der Raum- und Fenstergeometrie, unter Berücksichtigung von Verschattung und Fenstereigenschaften.

$$A_{TL,j} \cdot (t_{\text{eff,TagTL},j} + t_{\text{eff,Nacht},j}) \quad (4)$$

Die effektive Betriebszeit während der Nachtstunden wird unter Berücksichtigung der Präsenz in der Zone und des Nachtstundenanteils der Betriebszeit ermittelt. Der

Zeitanteil der Nachtstunden innerhalb der Betriebszeit ist in DIN V 18599, Teil 10 für unterschiedliche Nutzungen im jeweiligen Nutzungsprofil hinterlegt.

$$t_{\text{eff,Nacht},j} = t_{\text{Nacht},n} \cdot F_{\text{Prä},j} \quad (5)$$

Die effektive Betriebszeit im tageslichtversorgten Bereich j zur Tageszeit ergibt sich aus folgender Gleichung. Dabei entspricht $t_{\text{Tag},n}$ der Tagesbetriebszeit und $F_{\text{Prä},j}$ berücksichtigt die Präsenz.

$$t_{\text{eff,Tag,TL},j} = t_{\text{Tag},n} \cdot F_{\text{TL},j} \cdot F_{\text{Prä},j} \quad (6)$$

Der Teilbetriebsfaktor $F_{\text{TL},j}$ ist eine wesentliche Größe zur Bewertung lichttechnischer Eigenschaften von Fassaden, in der sich indirekt unter anderem auch die Aktivierungszeiten von Blend- und Sonnenschutzsystemen widerspiegeln. $F_{\text{TL},j}$ ist nach folgender Beziehung zu ermitteln.

$$F_{\text{TL},j} = 1 - C_{\text{TL,Vers},j} \cdot C_{\text{TL,kon},j} \quad (7)$$

Dabei wird das tageslichtabhängige Beleuchtungskontrollsystem über den Faktor $C_{\text{TL,kon},j}$ berücksichtigt. Der Tageslichtversorgungsfaktor $C_{\text{TL,Vers},j}$ bewertet die zeitliche Gewichtung des orientierungsabhängigen Auftretens der zwei unterschiedlichen Fassadenzustände; das heißt Sonnen- und/oder Blendschutz aktiv und nicht aktiv. Die Tageslichtversorgungsfaktoren sind von den lichttechnischen Eigenschaften, wie Transmissionsgrad der Fassade, Klassifizierung der Tageslichtversorgung, Beleuchtungsstärke und Orientierung, der Fassade abhängig und jeweils mit und ohne Berücksichtigung von Sonnen- und/oder Blendschutz zu ermitteln. Für Sonnen- und Blendschutzsysteme sind vier Systemlösungen vorgesehen. Der Tageslichtversorgungsfaktor wird nach folgender Gleichung ermittelt.

$$C_{\text{TL,Vers},j} = t_{\text{rel,TL,SNA},j} \cdot C_{\text{TL,Vers,SNA},j} + t_{\text{rel,TL,SA},j} \cdot C_{\text{TL,Vers,SA},j} \quad (8)$$

mit

$Q_{l,b,n,j}$	kWh/a	Nutzenergiebereich für Beleuchtung in einer Zone n
p	W/m ²	spezifische elektrische Bewertungsleistung
A_{TL}	m ²	Teilfläche des Bereichs, der mit Tageslicht versorgt ist
A_{KL}	m ²	Teilfläche des Bereichs, der nicht mit Tageslicht versorgt ist
$t_{\text{eff,Tag,TL}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im tageslichtversorgten Bereich
$t_{\text{eff,Nacht}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems zur Nachtzeit
$t_{\text{eff,Tag,KTL}}$	h/a	effektive Betriebszeit des Beleuchtungssystems im nicht tageslichtversorgten Bereich
$t_{\text{Nacht},n}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Nachtzeit
$F_{\text{Prä}}$	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Präsenz
$t_{\text{Tag},n}$	h/a	Betriebszeit einer Zone zur Tagzeit
F_{TL}	-	Teilbetriebsfaktor zur Berücksichtigung der Tageslichtversorgung
$C_{\text{TL,Vers}}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor
$C_{\text{TL,kon}}$	-	Faktor zur Berücksichtigung des tageslichtabhängigen Beleuchtungskontrollsystems
$C_{\text{TL,Vers,SNA}}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten nicht aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
$C_{\text{TL,Vers,SN}}$	-	Tageslichtversorgungsfaktor zu Zeiten aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutzes
$t_{\text{rel,TL,SNA},j}$	-	Zeitanteil eines nicht aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
$t_{\text{rel,TL,SA},j}$	-	Zeitanteil eines aktivierten Blend- und/oder Sonnenschutzes
j	-	Laufindex für einen Berechnungsbereich

Die Zeitanteile für aktivierten und nicht aktivierten Sonnen- und/oder Blendschutz $t_{rel,TL,SA,j}$ und $t_{rel,TL,SNA,j}$ sind nach folgender Tabelle zu verwenden. Die Summe aus $t_{rel,TL,SA,j}$ und $t_{rel,TL,SNA,j}$ ist 1.

Tabelle 3: Relative Zeiten bei nicht aktiviertem und aktiviertem Sonnen- und/oder Blendschutz in Abhängigkeit der Fassadenorientierung

	SÜD	OST/WEST	NORD
$t_{rel,TL,SNA,j}$ Sonnenschutz und/oder Blendschutz nicht aktiviert	0,67	0,80	1,00
$t_{rel,TL,SA,j}$ Sonnenschutz und/oder Blendschutz aktiviert	0,33	0,20	0,00

Da das Berechnungsverfahren nach [3] auf einer Jahresanalyse beruht, sind die in Tabelle 3 gezeigten Werte als Ganzjahreswerte zu interpretieren und somit nicht direkt mit den Werten aus [2] vergleichbar. Tabelle 4 zeigt die Zeitanteile aktivierter und nicht aktivierter Sonnenschutzsysteme für die Haupthimmelsrichtungen nach [2] und [3].

Tabelle 4: Vergleich der Zeitanteile für aktivierte Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen nach DIN V 18599, Teil 2 und 4

	Teil 4 ¹ thermische Berechnung				Teil 2 lichttechnische Berechnung	
	aktiviert Winter	nicht aktiviert Winter	aktiviert Sommer	nicht aktiviert Sommer	aktiviert ganzjährig	nicht aktiviert ganzjährig
Süden	0,71	0,29	0,67	0,33	0,33	0,67
Westen	0,34	0,66	0,39	0,61	0,20	0,80
Osten	0,34	0,66	0,39	0,61	0,20	0,80
Norden	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Horizont	0,24	0,76	0,74	0,26	-	-

2.3 Rechenmodell

In der thermischen Energiebilanz nach [2] unterscheiden sich die Aktivierungsparameter zur Bewertung von beweglichen Sonnenschutzsystemen für den Winter- und Sommerfall und die Südorientierung nicht wesentlich. Bei einem senkrechten Südfenster ist der Aktivierungsparameter eines geschlossenen Sonnenschutzes im Winter etwas größer angegeben als im Sommer. Die Berechnung des wirksamen Energiedurchlassgrades g_{eff} erfolgt für den Sommerbereich (April bis September) und für den Winterbereich (Oktober bis März) für die Bilanzen Nichtnutztag/Nutztag und Heizwärme/Kälte. Eine Differenzierung zwischen Nutztag und Nichtnutztag wird bei der Berücksichtigung der relativen Aktivierungsparameter von Sonnenschutzanteilen nicht gemacht. Die Aktivierungsparameter gelten für alle Bilanzen gleichermaßen. Es werden zwei Systeme unterschieden. Bei den unter „manueller Betrieb“ angegebenen Aktivierungsparametern

¹ Als Vergleich wurden die Zeitanteile nach Tabelle 1: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen manuell- oder zeitgesteuerten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2, verwendet.

erfolgt die Steuerung des Sonnenschutzes nur während der Nutzungs- bzw. Verkehrszeit. Beim automatischen Betrieb wird der Sonnenschutz auch außerhalb der Nutzungszeit gesteuert [38].

2.3.1 Analyse auf der Basis stündlicher Strahlungsdaten

Die Klimadaten, die in DIN V 18599 unter anderem bei der Berechnung der Aktivierungsparameter beweglicher Sonnenschutzsysteme berücksichtigt werden, repräsentieren einen mittleren Standort in Deutschland [4]. Datenbasis für die eigenen Berechnungen sind gemessene horizontale Direkt- und Diffusstrahlungen $I_{dir,hor}$ und $I_{diff,hor}$ für den Standort Frankfurt am Main, welche der Klimadatenbank Meteonorm² entnommen sind. Dabei lassen sich die Strahlungen auf beliebig geneigte Flächen bestimmen. Die Umrechnung von horizontal gemessener Strahlung auf senkrechte Einstrahlung auf eine geneigte Ebene erfolgt mit einem in Meteonorm verwendeten Algorithmus. Im Folgenden werden die theoretischen Grundlagen zur Berechnung der erforderlichen Strahlungsdaten aufgeführt, welche für die weiteren Berechnungen erforderlich sind. Nach dem Modell von *Liu* und *Jordan* [25] wird die Gesamtstrahlung in einen direkten und indirekten Anteil zerlegt (vgl. auch [31]).

$$I_{ges,gen} = I_{dir,gen} + I_{diff,gen} + I_{refl,gen} \quad (9)$$

Die direkte Strahlung auf die Ebene wird entsprechend dem Sonnenhöhenwinkel γ_s und dem Einfallswinkel auf die geneigte Fläche θ_{gen} bestimmt [31].

$$I_{dir,gen} = I_{dir,hor} \cdot \frac{\cos \theta_{gen}}{\sin \gamma_s} \quad (10)$$

mit

γ_s	°	Sonnenhöhenwinkel
θ_{gen}	°	Einfallswinkel auf geneigte Fläche
$I_{diff,hor}$	W	diffuse horizontale Einstrahlung
$I_{dir,hor}$	W	direkte horizontale Einstrahlung
$I_{ges,gen}$	W	Gesamteinstrahlung auf eine geneigte Fläche
$I_{dir,gen}$	W	direkte Einstrahlung auf eine geneigte Fläche
$I_{diff,gen}$	W	diffuse Einstrahlung auf eine geneigte Fläche
$I_{refl,gen}$	W	reflektierte Einstrahlung auf eine geneigte Fläche

Der diffuse Anteil senkrecht zur Ebene wird unter Berücksichtigung des *Perez*-Himmelsmodells ermittelt [26]. Es gibt mehrere Modelle zur Bestimmung des diffusen Strahlungsanteils auf geneigte Flächen. Das Modell von *Perez* zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit aus [31] und *"wurde mit dem Anspruch entwickelt, sowohl verschiedene Bewölkungszustände als auch eine weltweite Einsetzbarkeit zu gewährleisten. Es berücksichtigt circumsolare Strahlung³, Horizontaufhellung⁴ und*

² METEONORM ist eine globale Klimadatenbank kombiniert mit einem Wettergenerator. Die Software ermöglicht sowohl die Berechnung von langjährigen und aktuellen Monatsmittelwerten als auch von Stundenwerten eines typischen Jahres.

³ Die Strahlungsintensität ist in Richtung der direkten Strahlung am höchsten und nimmt für davon abweichende Einstrahlungswinkel stark ab.

⁴ Erhöhte Strahlungsintensität am Horizontband.

isotrope Strahlung⁵. Die Gewichtung erfolgt über sogenannte „reduced brightness coefficient“, die empirisch bestimmt werden. Sie sind eine Funktion der Helligkeit (sky clearness) und der Klarheit (sky brightness) des Himmels. Die resultierenden Koeffizienten können an die klimatischen Verhältnisse angepasst werden“ [23].

Das Perez-Modell teilt die Hemisphäre in drei geometrische Bereiche ein (zitiert aus [11]):

- 1) Die Kuppelzone mit dem Hauptteil der Diffusstrahlung ist der isotrope Teil des Halbraums.
- 2) Der anisotrope Anteil der Circumsolarzone kommt durch Vorwärtsstreuung an Aerosolen zustande und wird mithilfe eines multiplikativen Faktors F_1 zur Kuppelzone ins Verhältnis gesetzt.
- 3) Die Horizontzone liefert den zweiten Faktor F_2 als Ausdruck der Anisotropie der Diffusstrahlung. Sie entsteht durch mehrfache Rayleightstreuung und rückwärtige Streuung bei klarer Atmosphäre.

In der Software Meteororm erfolgt die Berechnung nach folgender Gleichung ([28], vgl. auch [31]).

$$I_{\text{diff,gen}} = \underbrace{I_{\text{diff,hor}} \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - F_1) \cdot (1 + \cos \gamma_E)}_{\text{isotrop}} + \underbrace{I_{\text{diff,hor}} \cdot F_1 \cdot \frac{\cos \theta_{\text{gen}}}{\cos \gamma_s}}_{\text{circumsolar}} + \underbrace{I_{\text{diff,hor}} \cdot F_2 \cdot \sin \gamma_E}_{\text{horizontal}} \quad (11)$$

wobei

$$\cos \theta_{\text{gen}} > 0 \text{ und } \cos \gamma_s > 0,087$$

mit

γ_E	°	Winkel der geneigten Fläche
θ_{gen}	°	Einfallswinkel auf geneigte Fläche

Bei der Berechnung der Bodenreflektion genügt ein isotroper Ansatz. Berechnungen mit anisotropen Ansätzen ergeben nur vernachlässigbare Verbesserungen der Genauigkeit [31]. Für eine geneigte Ebene mit einem Neigungswinkel γ_E lässt sich die vom Boden reflektierte Strahlung $I_{\text{refl,gen}}$ mithilfe des Albedo-Wertes aus der horizontalen Einstrahlung $I_{\text{ges,hor}}$ berechnen. Die diffuse reflektierte Strahlung berechnet sich wie folgt:

$$I_{\text{refl,gen}} = I_{\text{ges,hor}} \cdot \rho \cdot \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos \gamma_E) \quad (12)$$

mit

ρ	-	Albedo-Wert
$I_{\text{ges,hor}}$	W	gesamte horizontale Einstrahlung

⁵ Strahlung, die in alle Richtungen des dreidimensionalen Raumes gleichmäßig abgestrahlt wird.

Der Albedo-Wert ρ hat einen großen Einfluss auf die Berechnung. Er lässt sich z.B. anhand der Beschreibung der umgebenden Bodenbeschaffenheit bestimmen [31]. Ist die Umgebung nicht bekannt, kann nach [31] der Wert 0,2 verwendet werden. Im verwendeten Berechnungsmodell der Software Meteonorm wird der Albedo-Wert in Abhängigkeit der Temperatur berechnet. Die Abhängigkeiten wurden für unterschiedliche Standorte erfolgreich validiert [28]. Es erfolgt eine Unterteilung in Gebiete mit großem Schneeaufkommen und in Gebiete mit normalen Bedingungen. Zur Definition eines „großen Schneeaufkommens“ sind nach [28] zwei Bedingungen formuliert.

- 1) mittlere Temperatur in drei Wintermonaten $< -3^\circ \text{C}$,
- 2) Summe der Niederschläge im Winter für drei Monate $> 150 \text{ mm}$.

Für Gebiete mit großem Schneeaufkommen:

$$\rho = 0,618 - 0,044 \cdot T_a \quad \text{wobei } 0,2 \leq \rho \leq 0,8 \quad (13)$$

Für alle restlichen Gebiete:

$$\rho = 0,423 - 0,042 \cdot T_a \quad \text{wobei } 0,2 \leq \rho \leq 0,8 \quad (14)$$

2.3.2 Berechnung der Strahlungsdaten

Nachstehende Abbildungen zeigen die berechneten diffusen und direkten Strahlungsdaten für die horizontal und die vertikal orientierten Flächen der vier Haupthimmelsrichtungen und für Zwischenorientierungen für den Standort Frankfurt am Main (nach den in Abschnitt 2.3 aufgeführten Berechnungsmethoden). Bei Südorientierung, kann im Winter und in der Übergangszeit die Direkteinstrahlung den größeren Anteil an der Gesamteinstrahlung ausmachen. Infolgedessen ist in dieser Zeit tendenziell mit höheren Aktivierungszeiten beweglicher Sonnenschutzsysteme zu rechnen. Bei Nordorientierung ist der direkte Strahlungsanteil am geringsten. Die maximale Einstrahlung (diffus und direkt) liegt für hiesige Breitengrade für die Nordorientierung bei etwa 250 W/m^2 . Vergleicht man die globalen Helligkeitsdaten mit den horizontalen Strahlungsdaten, kann für den Bereich der diffusen und direkten Daten eine ähnliche Ausprägung festgestellt werden.

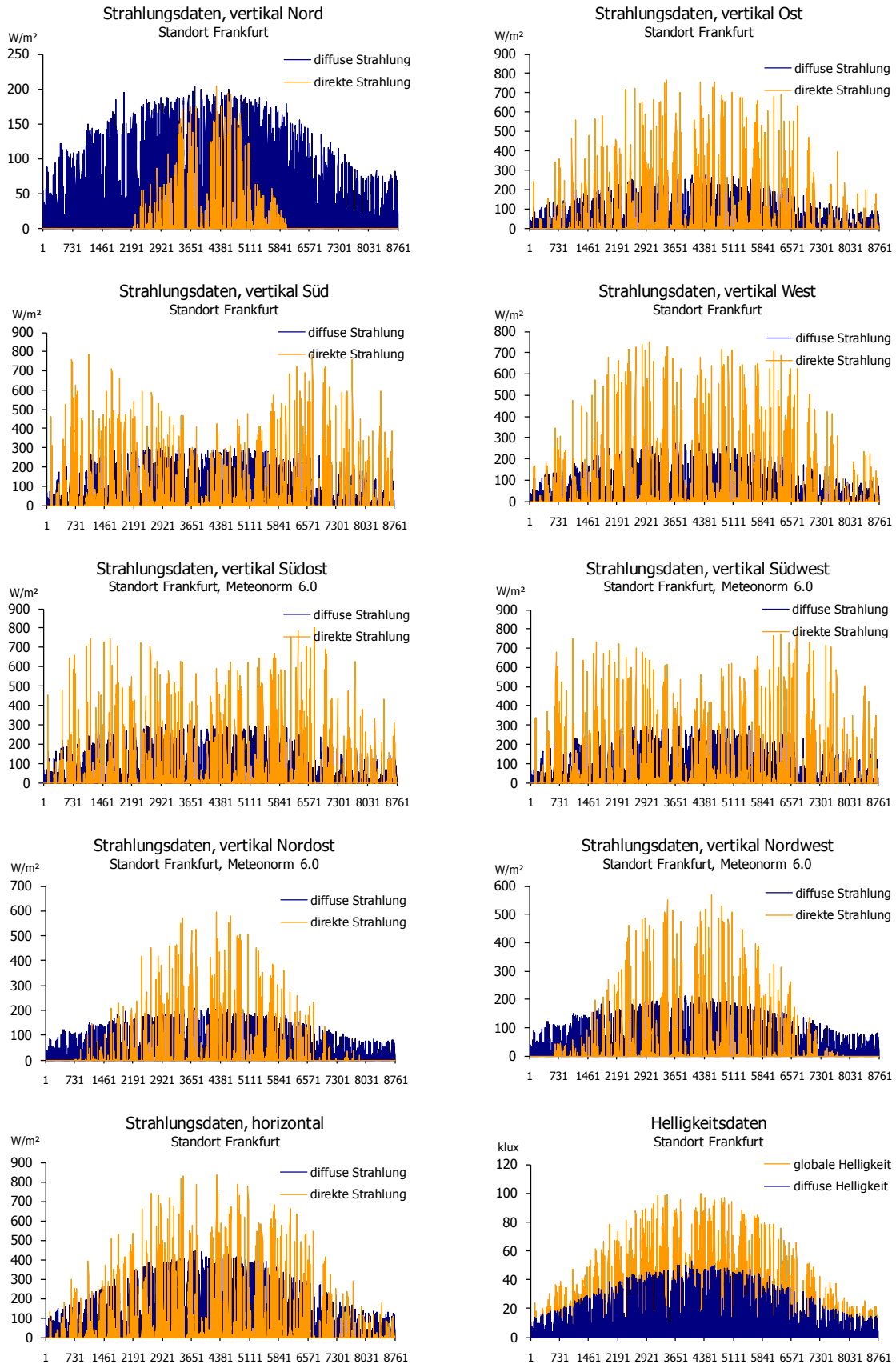


Abbildung 1: Strahlungsdaten für den Standort Frankfurt am Main, berechnet nach Abschnitt 2.3.1

2.3.3 Aktivierungsparameter beweglicher Sonnenschutzsysteme

Nach [7] sind Blendschutzsysteme Komponenten, die störende Helligkeiten, die von der Sonne und dem Himmel verursacht werden, so weit reduzieren, dass keine Blendung mehr auftritt. Ein Sonnenschutz hat hingegen die Hauptaufgabe, solare Einstrahlungen in den Innenraum zu begrenzen, um Temperaturen oder den Kühlenergiebedarf zu begrenzen. Es gibt Systeme, die beide Aufgaben erfüllen, dies sind häufig Jalousiesysteme [7].

2.3.3.1 Nutzereinfluss

Die Wirksamkeit eines Blend- und/oder Sonnenschutzsystems ist zum einen von seinen technischen Eigenschaften abhängig, zum anderen spielt die Bedienung der Systeme – also das Nutzerverhalten – eine wesentliche Rolle. Bei der Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden steht die Analyse und energetische Bewertung des Gebäudes und der dort verwendeten Anlagentechnik im Vordergrund. Die Berechnungsmodelle sollen den Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Lüften und Beleuchten realitätsnah voraussagen. Dabei erscheint es sinnvoll, das Nutzerverhalten zu berücksichtigen, um sich realen Bedingungen so gut wie möglich zu nähern. Das Nutzerverhalten selbst darf jedoch keine Stellgröße oder Variable bei der Bilanzierung sein. Dies hätte zur Folge, dass die eigentliche technische Bewertung eines Gebäudes in Bezug auf dessen Energieeffizienz verfälscht würde. Da Sonnen- und Blendschutzsysteme einen wesentlichen Einfluss auf den Energiebedarf von Gebäuden haben, ist es sinnvoll, diese Auswirkungen in der Energiebilanzierung mit zu berücksichtigen. Die thermisch relevanten technischen Eigenschaften eines Sonnenschutzes werden durch den Energiedurchlassgrad definiert. Der Einfluss des Nutzers auf die Energiebilanz wird durch die Häufigkeit der Benutzung des Systems gekennzeichnet. In der Vergangenheit wurden Sonnenschutzsysteme im Sommer als vollständig geschlossen und im Winter als vollständig geöffnet betrachtet. Das wäre jeweils der optimale Fall. Bei der Berechnung der Tageslichtversorgung wurde der Blendschutz meist nicht berücksichtigt. Bei der Planung sollte jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass ein Sonnenschutz ständig geschlossen oder ständig geöffnet ist. Dies gilt gleichermaßen für den Winter- und den Sommerfall.

Untersuchungen zum Nutzerverhalten zeigen, dass der Sichtkontakt nach außen als sehr wichtig empfunden wird. Bei der Befragung von mehreren Testpersonen im Rahmen von Nutzerversuchen stuften etwa 49 % die Sichtverbindung nach außen als „sehr wichtig“ ein. 34 % der Befragten empfanden den Sichtkontakt als „eher wichtig“, die restlichen 17 % stuften die Sichtverbindung als „ganz unwichtig“ und als „eher unwichtig“ zu fast gleichen Teilen ein [6] [7]. Dieser Zusammenhang sollte bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Insbesondere lässt sich daraus interpretieren, dass permanent geschlossene oder geöffnete Sonnen- und Blendschutzsysteme unrealistische Annahmen für die Praxis darstellen. Ebenso kann von einer „Aktivierungsschwelle“ zur Bedienung des Sonnenschutzes ausgegangen werden, da die Aktivierung eines Sonnenschutzes immer einen Kompromiss zwischen visuellem Kontakt nach außen und dem Schutz vor Blendung oder vor Überhitzung darstellt. Dies ist neben dem Kühlenergiebedarf

insbesondere auch für die Heizwärmebilanz relevant, da ein aktivierter Sonnenschutz zudem in Konkurrenz zu gewollten solaren Gewinnen steht.

In [33] werden von *Kuhn, Bühler* und *Platzer* effektive Energiedurchlassgrade für Fassaden und die daraus resultierenden solaren Wärmeeinträge durch die Systeme auf monatlicher Basis angegeben. Es werden zwei unterschiedliche Regelstrategien (cut-off und closed) unterschieden. Zur Ermittlung der Werte liegt ein Fassadenmodell zugrunde, das den Sonnenschutz aktiviert, sobald die Fassade direkt bestrahlt wird. Der Schwellenwert zur Aktivierung liegt durch das Kriterium „direkte Einstrahlung vorhanden“ relativ niedrig. Über den gesamten Jahreszeitraum wird direkte Strahlung durch ein aktiviertes Blend- und Sonnenschutzsystem ausgeblendet. Dadurch ergeben sich auch innerhalb der Heizperiode sehr hohe Aktivierungsanteile beweglicher Sonnenschutzsysteme. Dieses Modell erscheint im Hinblick auf die Berücksichtigung eines typischen Nutzerverhaltens (eingeschlossen sind dabei auch unterschiedliche Nutzungsarten) und zur Übertragung auf alle marktgängigen und unterschiedlichen Systeme (differenziert winkelabhängige Systeme, wie Raffstores, Markisen, innen liegende Systeme etc.) als sehr radikal.

In [24] wurde von *Rea* mithilfe fotografischer Analysen das Benutzerverhalten von Sonnenschutzsystemen untersucht. Die Analysen zeigten, dass viele Nutzer den Sonnenschutz auch als Blendschutz nutzen, um direkte Einstrahlungen zu verringern. In diesem Zusammenhang wurde ein mittlerer fassadenbezogener Schließgrad von Sonnenschutzsystemen ermittelt, der die Parameter Himmelsrichtung (Ost, Süd und West) und Bewölkungszustand (bedeckter und klarer Himmel) berücksichtigt. Die Auswertung ergab einen mittleren fassadenbezogenen Schließgrad von etwa 59 %, bei relativ geringen Unterschieden hinsichtlich der Orientierung und des Himmelszustandes.

Bei der Entwicklung des Lightswitch-Modells werden in [37] und [41] von *Reinhart, Bourgeois* und *Dubrous* Steuerungsstrategien formuliert, mithilfe derer das Aktivierungsverhalten von Sonnenschutzsystemen abgebildet werden kann. Eingabegrößen sind die Nutzeranwesenheit und die minimale Beleuchtungsstärke am Arbeitsplatz. Die Größen werden mit in Feldstudien beobachteten Verhaltensmustern verknüpft, um den Status des Kunstlichtes und des Blendschutzes zu jedem Zeitpunkt des Jahres vorauszusagen. Es werden drei unterschiedliche Systeme beschrieben. Diese werden für Jalousiesysteme formuliert und berücksichtigen auch die Winkelstellung von Lamellen, die dafür sorgen sollen, dass direktes Sonnenlicht ausgeblendet wird (Cut-off-Betrieb). Folgend werden die Steuerungen beschrieben, wobei die jeweilige Lamellenstellung unberücksichtigt bleibt.

Tabelle 5: Unterschiedliche Systeme zur Steuerung von Sonnen- und Blendschutzsystemen

automatisiertes Jalousiesteuerungssystem	Der Sonnenschutz wird automatisch geschlossen, sobald die eingehende direkte Einstrahlung $> 50 \text{ W/m}^2$ auf dem Arbeitsplatz ist. Der Sonnenschutz wird bei Unterschreitung der Einstrahlung automatisch geöffnet. Dies ist eine ideale Steuerung, mit welcher die Tageslichtnutzung maximiert wird, es sei denn das Blendkriterium wird erreicht.
dynamische händische Jalousiesteuerung	Der Sonnenschutz wird manuell aktiviert, sobald die direkte Einstrahlung $> 50 \text{ W/m}^2$ auf dem Arbeitsplatz ist. Der Sonnenschutz wird im Laufe des Tages nicht wieder geöffnet, d. h., der Schließungsgrad des Sonnenschutzes steigt bis zum Maximalwert an. Der Sonnenschutz wird einmal täglich am Morgen nach Ankunft geöffnet.
statische Steuerung	Der Sonnenschutz ist dauerhaft aktiviert. Dieses Szenario beschreibt einen Nutzer, der den Sonnenschutz selten bedient.

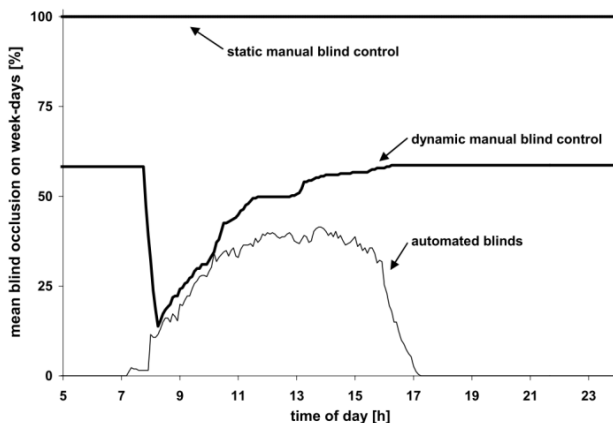


Abbildung 2: Mittlerer Schließungsgrad eines Sonnenschutzes in Abhängigkeit der Steuerungsart und der Tageszeit; Quelle [37]

Nebensiehende Abbildung zeigt das von *Reinhart* und *Voss* in [37] und [21] beschriebene Modell für drei unterschiedliche Steuerungen von Sonnenschutzsystemen an einem typischen Wochentag. Gezeigt wird der Schließungsgrad des Sonnenschutzes in Anhängigkeit von dessen Steuerung. Dabei erscheinen das „dynamisch manuelle“ und das „automatische“ Modell am besten für die praktische Anwendung geeignet. Das Modell des „Nichtbedienens“ erscheint, unter Einbeziehung der Wichtigkeit des visuellen Kontaktes zur Außenwelt, eher ungeeignet für die energetische Bilanzierung unter realitätsnahen Bedingungen.

In [21] wird von *Voss* die nutzerabhängige Aktivierung des Blendschutzes als Funktion der Eindringtiefe der Solarstrahlung in den Raum abgeleitet. Nach [7] werden die Ergebnisse von *Wienold* so interpretiert, dass im Wesentlichen die Sonne als Blendquelle gesehen wird, der (helle) Himmel in der Praxis weitaus weniger als störend empfunden wird. Zur Vermeidung von Blendung wird die mittlere Leuchtdichte, für den Fall hochwertiger Monitore, in der Regel auf $1\,000$ bis $2\,000 \text{ cd/m}^2$ begrenzt. In [7] werden von *Wienold* jedoch neue Tendenzen beschrieben, dass Leuchtdichten $>4\,000 \text{ cd/m}^2$ für gut entspiegelte Flachbildschirme akzeptiert werden. Ebenso zeigt sich, dass die störende Lichtsituation meist durch Direktblendung von der Fassade verursacht wird.

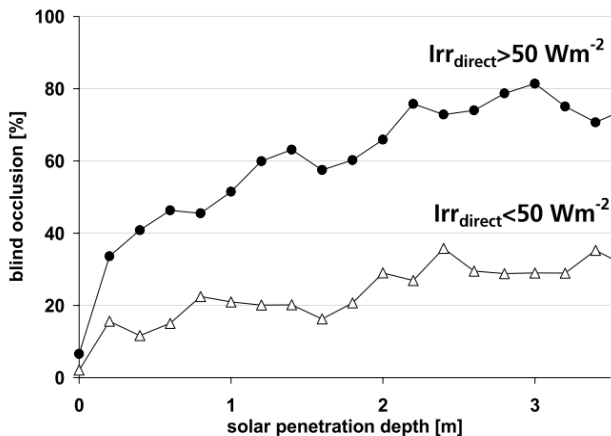


Abbildung 3: Schließungsgrad eines Sonnenschutzes in Abhängigkeit der Raumtiefe und der direkten Einstrahlung [37]

In [21] wird der Zusammenhang zwischen Höhe der direkten Einstrahlung, Raumtiefe und Schließegrad des Sonnenschutzes untersucht. Neben dem Sonnenschutz wurde auch der Nutzereinfluss auf die elektrische Beleuchtung untersucht. Bei tiefer im Raum liegenden Arbeitsplätzen können je nach Anordnung der transparenten Flächen und Sichtwinkel des Nutzers stärkere Kontrastunterschiede im Sichtfeld auftreten, die ein Aktivieren des Sonnen- oder Blendschutzes auslösen. Es zeigt sich, dass die Höhe der direkten Einstrahlung einen Einfluss auf dieses Aktivierungsverhalten hat. Ab direkten Einstrahlungen oberhalb von 50 W/m^2 in den Raum werden Sonnen- und Blendschutzsysteme deutlich häufiger aktiviert.

Für die lichttechnisch motivierte Bedienung des Sonnen- und Blendschutzes wird die Häufigkeit einer direkten Einstrahlung oberhalb eines Niveaus von 50 W/m^2 ermittelt. Im Rechenmodell wird neben der Höhe bzw. der Häufigkeit der direkten Einstrahlung auch ein mittlerer Schließungsgrad α_{SS} berücksichtigt. Dabei wird eine solare Eindringtiefe von 2 m angesetzt, was einen mittleren Schließungsgrad α_{SS} von etwa 60 % ergibt.

2.3.3.2 Zeitanteile

In [13] zeigt *de Boer*, dass sich das Modell nach DIN 5034 mit häufig getroffenen Annahmen bezüglich der thermisch-energetisch motivierten Aktivierungen der Sonnenschutzeinrichtungen deckt. Teilweise werden die Systeme, insbesondere für den sommerlichen Wärmeschutz, auch in Abhängigkeit von der Gesamtbestrahlungsstärke, die auf die Fassade wirkt, betätigt. Übliche Einschaltkriterien für Sonnenschutzsysteme liegen zwischen 150 und 200 W/m^2 Gesamteinstrahlung [17][19].

Für das Rechenmodell wird die Gesamtnutzzeit anhand von typischen Nutzungsbedingungen bei Nichtwohngebäuden abgeleitet. Die nach DIN V 18599, Teil 2 [2] zu verwendenden Aktivierungsparameter gelten für alle Nutzungsprofile, die in DIN V 18599, Teil 10 angegeben sind [4]. Die mittlere Nutzungszeit für alle Nutzungsprofile beträgt rund 11 h. Dies entspricht auch der häufig zugrunde gelegten Büronutzung. Für die Berechnung der Zeitanteile wird im Rechenmodell deshalb ein Wochenprofil mit einer üblichen Betriebszeit verwendet. Die Büronutzung reicht von 7:00 bis 18:00 Uhr. Da eine Vollbelegung des Gebäudes um 7:00 Uhr in der Regel nicht zu erwarten ist und damit kein fassadenweiter aktiver Eingriff eines Nutzers erfolgen kann, wird der Berechnungsstartzeitpunkt mit 8:00 Uhr angenommen; somit verringert sich die Gesamtstundenzahl der Betrachtungsperiode etwas. Die analysierte Nutzungsdauer beträgt $2\,610 \text{ h/a}$, bei 10 Nutzungsstunden pro Tag (8:00 bis 18.00 Uhr); bei 261

Arbeitstagen pro Jahr. Die Bestimmung der Häufigkeit bestimmter auftretender Strahlungsschwellwerte für die beschriebenen Zeitabschnitte erfolgt nach folgendem Rechenmodell:

- Berechnung der Häufigkeit auftretender Einstrahlungen $>50 \text{ W/m}^2$ für das gesamte Jahr, $H_{50,o}$

$$H_{50,o} = \sum_{h=1}^{8760} x_{o,h} \quad \text{h/a}$$

für $x_{o,h} = 1$ wenn $I_{\text{dir}} > 50 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$

für $x_{o,h} = 0$ wenn $I_{\text{dir}} \leq 50 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$

- Berechnung der Häufigkeit auftretender Einstrahlungen $>150 \text{ W/m}^2$ für das gesamte Jahr, $H_{150,o}$

$$H_{150,o} = \sum_{h=1}^{8760} x_{o,h} \quad \text{h/a}$$

für $x_{o,h} = 1$ wenn $I_{\text{ges}} > 150 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$

für $x_{o,h} = 0$ wenn $I_{\text{ges}} \leq 150 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$

- Berechnung der Häufigkeit auftretender Einstrahlungen $>200 \text{ W/m}^2$ für das gesamte Jahr, $H_{200,o}$

$$H_{200,o} = \sum_{h=1}^{8760} x_{o,h} \quad \text{h/a}$$

für $x_{o,h} = 1$ wenn $I_{\text{ges}} > 200 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$

für $x_{o,h} = 0$ wenn $I_{\text{ges}} \leq 200 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$

mit

H	h	Häufigkeit in Stunden pro Jahr
x_o	-	Stunden im Betrachtungszeitraum
I_{dir}	W/m^2	direkte Einstrahlung auf eine vertikale Fläche
I_{ges}	W/m^2	Gesamtstrahlung auf eine vertikale Fläche, je nach Orientierung
o	-	Index für die Orientierung (Süd, West, Ost, Nord, Südwest, Südost, Nordwest, Nordost, Horizontal)
\wedge	-	und (logisch und, konjunktiv)
\vee	-	oder (logisch oder, disjunktiv)
h	h	Stunden im Jahr
h_d	h	Stunden am Tag d
1-8760	h	Zeitraum eines Jahres

Abbildung 4 zeigt die Anzahl der Jahresstunden innerhalb der Nutzzeit, in denen die Gesamtstrahlungsstärken von 50 W/m^2 (direkte Einstrahlung) je 150 W/m^2 und 200 W/m^2 (gesamte Einstrahlung) überschritten werden. Es gilt jeweils das Einstrahlungskriterium unterhalb der Abbildung.

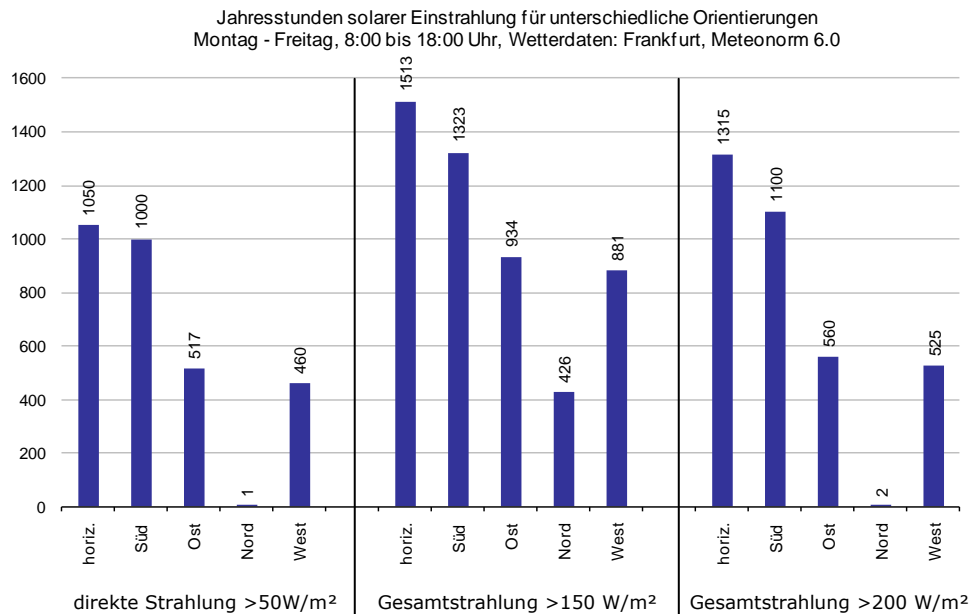


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Häufigkeit unterschiedlicher Einstrahlungsniveaus für verschiedene Orientierungen

Es zeigt sich, dass die Häufigkeiten der Überschreitung der Einstrahlungskriterien für die Gesamtstrahlung $>200 \text{ W/m}^2$ und die direkte Strahlung $>50 \text{ W/m}^2$ in den Orientierungen Süd, Nord, West und Ost in etwa gleich groß sind. Bei horizontaler Ausrichtung ist die Häufigkeit der Gesamteinstrahlung etwas höher als die der direkten Einstrahlung. Ebenso werden Gesamteinstrahlungen $>150 \text{ W/m}^2$ in allen Orientierungen etwas häufiger überschritten. Es kann über den Jahresverlauf somit von ähnlichen lichttechnisch und thermisch motivierten Aktivierungen des Sonnen- bzw. Blendschutzes ausgegangen werden. Das zeitliche Auftreten der verschiedenen Einstrahlungsarten und -intensitäten kann jedoch variieren, weshalb für die Berechnung der Aktivierungszeiträume beide Kriterien herangezogen werden.

2.3.3.3 Einstrahlungsintensität

Das in [39] von *David, Rouvel* und *Wenning* entwickelte Modell zur Bewertung von beweglichen Sonnenschutzmaßnahmen berücksichtigt neben der rein zeitlichen Gewichtung des Sonnenschutzes auch die Intensität der Solarstrahlung während der Aktivierung des Sonnenschutzes. Hierzu wurden umfangreiche Simulationsrechnungen ausgewertet, um einen Korrekturalgorithmus für den Abminderungsfaktor zu bestimmen, der diese zeitliche und intensitätsmäßige Gewichtung für den variablen Sonnenschutz beinhaltet. Der Berechnung liegt ein ganzjähriges Einstrahlungskriterium von 300 W/m^2 (direkt und diffus) als Schwellenwert zum Schließen des Sonnenschutzes zugrunde [39], was auch den Einstrahlungsbedingungen nach EN 13790 entspricht [40].

2.3.3.4 Beschreibung des Rechenmodells

In der Heizperiode ist eine Überwärmung des Gebäudes durch solare Wärmequellen nicht zu erwarten, weshalb die thermisch motivierte Aktivierung (direkte und diffuse Einstrahlung) nur in der Sommerperiode mitberücksichtigt werden muss. Im Winterzeitraum liegen lediglich lichttechnische Beweggründe zur Aktivierung von Blend-

und Sonnenschutzsystemen vor (direkte Einstrahlung). Im verwendeten Rechenmodell wird daher in eine reine lichttechnisch motivierte und eine thermisch- und lichttechnisch motivierte Aktivierung unterschieden.

Das erste Schaltkriterium ist die direkte Einstrahlung zur Blendungsbewertung mit einem Schwellenwert von 50 W/m^2 , welches nach [21] im Rauminnenen bestimmt wurde. Da im Rechenmodell stündliche Wetter- bzw. Einstrahlungsdaten verwendet werden, muss die dort angegebene direkte Einstrahlung noch um den Transmissionsgrad der Verglasung τ_{D65} korrigiert werden. Im Rechenmodell wird eine Zweifach-Mehrscheibenisolierverglasung mit einem Lichttransmissionsgrad von $\tau_{D65} = 0,78$ angesetzt.⁶

$$I_{\text{dir}} = I_{\text{dir,e}} \cdot \tau_{D65} \quad (15)$$

mit

I_{dir}	W/m^2	direkte Einstrahlung hinter der Verglasung
$I_{\text{dir,e}}$	W/m^2	direkte Einstrahlung vor der Verglasung
τ_{D65}	-	Lichttransmissionsgrad der Verglasung

Neben dem Einstrahlungskriterium wird auch der mittlere Schließgrad des Sonnenschutzes α_{SS} in der Bilanzzeit berücksichtigt. Für die lichttechnisch motivierte Aktivierung wird eine manuelle Steuerung des Blend- und Sonnenschutzes angesetzt. Eine rein intensitätsabhängige Steuerung für den Blendschutz erscheint aufgrund der einerseits sehr unterschiedlichen Zusammenhänge zwischen direkter Einstrahlung, Raumtiefe und Nutzerverhalten als zu radikal. In Anlehnung an die Untersuchung nach [21] wird der Schwellenwert zur Aktivierung mit 50 W/m^2 und ein mittlerer Schließgrad α_{SS} von 60 % berücksichtigt. Über diesen Zusammenhang wird neben den äußeren Einstrahlungsbedingungen auch ein typisches Nutzerverhalten berücksichtigt.

Für den Sommerfall wird eine reine intensitätsabhängige Steuerung des Sonnenschutzes angesetzt, um einer Überwärmung im Gebäude vorzubeugen. Der mittlere Schließgrad des Sonnenschutzes wird für diesen Zeitraum mit 90 % angenommen, da insbesondere für neue Gebäude ein automatischer Betrieb unterstellt wird. Für die weitere Analyse wird das zweite Gesamteinstrahlkriterium in der Sommerperiode nach [17] mit 180 W/m^2 als praxisbezogene Größe berücksichtigt.⁷ Tabelle 6 zeigt die bei der Berechnung der Aktivierungszeitanteile von Sonnenschutzsystemen verwendeten Parameter.

⁶ Der Lichttransmissionsgrad τ_{D65} entspricht einer Zweifach-Mehrscheibenverglasung, Verglasung nach DIN V 18599-2, Tab. 5.

⁷ Als Aktivierungskriterium wird 180 W/m^2 Gesamteinstrahlung verwendet. Die Höhe der Einstrahlung aus [17] deckt sich mit eigenen Erfahrungen von realisierten und in der Praxis gut funktionierenden Steuerungssystemen von Sonnenschutzanlagen.

Tabelle 6: Randparameter zur Berechnung zeit- und einstrahlungsabhängiger Parameter beweglicher Sonnenschutzvorrichtungen

direkte Einstrahlung	>50 W/m ² (direkte Strahlung als Blendkriterium im Raum; gesamtes Jahr. Unter Berücksichtigung des Lichttransmissionsgrades der Verglasung $\tau_{65} = 0,78$ entspricht das einer direkten solaren Einstrahlung von 64,1 W/m ²).
Gesamteinstrahlung	>180 W/m ² (Gesamteinstrahlung (diffus und direkt) zur Begrenzung der solaren Einstrahlung, in der Sommerperiode, April bis September)
Öffnungsgrad des Sonnenschutzes	Schließgrad des Sonnenschutzes bei lichttechnisch motivierter manueller Aktivierung in den Wintermonaten $\alpha_{SS} = 0,6$; Schließgrad des Sonnenschutzes bei thermisch motivierter Aktivierung mittels einer automatischen Steuerung $\alpha_{SS} = 0,9$
Tageszeitfenster	Beginn der Nutzung 8:00 Uhr, Ende der Nutzung 18:00 Uhr
Monatszeitfenster	Jahresbilanz, Winter von Oktober bis März, Sommer von April bis September

Analyse für die Tageslichtbilanz

Das in [13] von *de Boer* entwickelte Verfahren zur Bewertung der Tageslichtbeleuchtung und des Kunstlichteinsatzes in Verwaltungsbauten berücksichtigt die zeitliche Aktivierung des Sonnen- bzw. Blendschutzes im Jahresverlauf. Es ist die Grundlage des Rechenverfahrens nach DIN V 18599-4. Für die Bewertung sind relative Zeitanteile aktivierter Systeme erforderlich. Im verwendeten Rechenmodell wird die Häufigkeit $h_{SS,t}$ für die in Tabelle 6 beschriebenen Randparameter bestimmt.

- Berechnung der relativen Häufigkeit auftretender Einstrahlungen für das gesamte Jahr, $h_{SS,t}$

$$h_{SS,t} = \frac{\sum_{h=1}^{8760} x_{o,h}}{\sum_{h=1}^{8760} x_{e,h}} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{für } x_{e,h} &= 1 && \text{wenn } h_d \geq 8 \wedge h_d < 18 \\ \text{für } x_{e,h} &= 1 && \text{wenn } h_d < 8 \vee h_d \geq 18 \\ \text{für } x_{o,h} &= 1 && \text{wenn } I_{dir} > 50 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18 \\ \text{für } x_{o,h} &= 0 && \text{wenn } I_{dir} \leq 50 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18 \end{aligned}$$

Analyse für die thermische Bilanz

Neben der reinen zeitlichen Gewichtung muss für die thermische Bilanz auch die Intensität der Einstrahlung bei Aktivierung des Sonnen- und Blendschutzes berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere für das Winterhalbjahr wichtig, da das zeitliche Auftreten hoher Einstrahlungen im Tagesverlauf auf kürzere Zeitfenster begrenzt ist. Diese Bewertung wird im Rechenmodell über den Faktor h_{SS} beschrieben und entspricht dem relativen einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängigen Aktivierungsgrad des Blend- und Sonnenschutzes im Betrachtungszeitraum. Er berücksichtigt die verschiedenen Einstrahlungskriterien, das betrachtete Zeitfenster und den Schließgrad des Sonnenschutzes nach den Randbedingungen von Tabelle 6. Da die Energiebilanz nach DIN V 18599 monatsweise erfolgt, ist eine Aggregation der Stundenwerte auf Monatsmittelwerte erforderlich.

Sonnenschutzmaßnahmen werden über den F_C -Wert bewertet, der als Abminderungsfaktor den Grad der Reduktion der solaren Einstrahlungen angibt. Hat F_C einen Wert von 1, so bedeutet dies, dass kein Sonnenschutz vorhanden oder aktiviert ist. Bei einer vollständigen Reduktion der solaren Einstrahlungen wird $F_C = 0$. Demnach nehmen Sonnenschutzmaßnahmen Werte zwischen 0 und 1 an [7] [38] [39]. Der Gesamtenergiedurchlassgrad beschreibt die Gesamtminderung der solaren Einstrahlung unter Berücksichtigung von Verglasung und Sonnenschutz. Je nach Lage des Sonnenschutzes (innen oder außen) und nach Art der Verglasung wird der Energiedurchlassgrad unterschiedlich beeinflusst. Sonnenschutzmaßnahmen lassen sich deshalb nicht unabhängig von der Verglasung bewerten. Aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (Verglasung mit Sonnenschutz) lässt sich der F_C -Wert nach folgender Gleichung ableiten:

$$g_{tot} = F_C \cdot g_{\perp} \quad (17)$$

mit

g_{tot}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung inklusive Sonnenschutz nach EN 13363, Teil 1 und 2 bei senkrechtem Strahlungseinfall
F_C	-	Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes bei Aktivierung
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung nach DIN EN 410 bei senkrechtem Strahlungseinfall

Um den Einfluss eines einstrahlungsabhängigen Bedienens zu ermitteln, erfolgt die Auswertung in diesem Modell vereinfacht unter Beachtung eines über den Jahresverlauf konstanten g -Wertes. Die effektive Abminderung der solaren Einstrahlung entspricht dem Quotienten aus solarer Einstrahlung ohne aktivierten Sonnenschutz und der solaren Einstrahlung mit aktiviertem Sonnenschutz [38] [39].

$$F_{C,eff} = \frac{I_{m,SS}}{I_{o,SS}} \quad (18)$$

mit

$F_{C,eff}$	-	korrigierter Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes unter Berücksichtigung der Aktivierung
$I_{m,SS}$	kWh	Einstrahlung bei Berücksichtigung der Aktivierung des Sonnenschutzes
$I_{o,SS}$	kWh	Einstrahlung ohne Berücksichtigung der Aktivierung des Sonnenschutzes

Der effektive Abminderungsfaktor $F_{C,eff}$ muss ebenfalls zwischen dem F_C -Wert bei geschlossenem Sonnenschutz und dem F_C -Wert ohne Sonnenschutz liegen. Der effektive Abminderungsfaktor mit Berücksichtigung der Aktivierung $F_{C,eff}$ und der Abminderungsfaktor ohne Berücksichtigung der Aktivierung F_C stehen dabei nach [39] in einem linearen Zusammenhang. Nach [39] gilt für den effektive Abminderungsfaktor $F_{C,eff}$ analog folgende Beziehung:

$$F_{C,eff} = h_{ss} \cdot F_C + (1 - h_{ss}) \quad (19)$$

mit

$F_{C,eff}$	-	effektiver Abminderungsfaktor des Sonnenschutzes unter Berücksichtigung der Aktivierung
h_{ss}	-	Parameter zur Bewertung der Aktivierung des Sonnenschutzes nach DIN V 18599-2

Bei Ansatz eines idealen Sonnenschutzes, der durch einen F_C -Wert von 0 gekennzeichnet ist, entspricht $F_{C,eff}$ dem einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängigem Aktivierungsgrad des Sonnenschutzes h_{SS} und es gilt:

$$h_{SS} = 1 - F_{C,eff} = 1 - \frac{I_{m,SS}}{I_{o,SS}} \quad (20)$$

Im Rechenmodell wird h_{SS} für unterschiedliche Fälle unter Berücksichtigung der in Tabelle 6 aufgeführten Randbedingungen ermittelt. Es erfolgt eine Unterscheidung in Winter- und Sommerperiode. Die Werte der beiden Winterhalbjahre werden aggregiert.

- Relativer einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängiger Aktivierungsgrad des Blendschutzes in der Winterperiode, $h_{SS,w,1/2}$

$$h_{SS,w,1} = 1 - \frac{\left(\sum_{h=1}^{2160} x_{e,w,1,h} \cdot I_{ges,h} - \sum_{h=1}^{2160} x_{o,w,1,h} \cdot I_{ges,h} \cdot \alpha_{SS,w} \right)}{\sum_{h=1}^{2160} x_{e,w,1,h} \cdot I_{ges,h}} \quad (21)$$

für $x_{e,w,1,h} = 1$ wenn $h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{e,w,1,h} = 0$ wenn $h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 für $x_{o,w,1,h} = 1$ wenn $I_{dir} > 50 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{o,w,1,h} = 0$ wenn $I_{dir} \leq 50 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 mit $\alpha_{SS,w} = 0,6$

$$h_{SS,w,2} = 1 - \frac{\left(\sum_{h=6553}^{8760} x_{e,w,2,h} \cdot I_{ges,h} - \sum_{h=6553}^{8760} x_{o,w,2,h} \cdot I_{ges,h} \cdot \alpha_{SS,w} \right)}{\sum_{h=6553}^{8760} x_{e,w,2,h} \cdot I_{ges,h}} \quad (22)$$

für $x_{e,w,2,h} = 1$ wenn $h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{e,w,2,h} = 0$ wenn $h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 für $x_{o,w,2,h} = 1$ wenn $I_{dir} > 50 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{o,w,2,h} = 0$ wenn $I_{dir} \leq 50 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 mit $\alpha_{SS,w} = 0,6$

- Relativer einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängiger Aktivierungsgrad des Sonnen- und Blendschutzes in der Sommerperiode, $h_{SS,s}$

$$h_{SS,s} = 1 - \frac{\left(\sum_{h=2161}^{6552} x_{e,s,h} \cdot I_{ges,h} - \sum_{h=2161}^{6552} x_{o,s,h} \cdot I_{ges,h} \cdot \alpha_{SS,s} \right)}{\sum_{h=2161}^{6552} x_{e,s,h} \cdot I_{ges,h}} \quad (23)$$

für $x_{e,s,h} = 1$ wenn $h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{e,s,h} = 0$ wenn $h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 für $x_{o,s,h} = 1$ wenn $I_{dir} > 50 \text{ W/m}^2 \vee I_{ges} > 180 \text{ W/m}^2 \wedge h_d \geq 8 \wedge h_d < 18$
 für $x_{o,s,h} = 0$ wenn $I_{dir} \leq 50 \text{ W/m}^2 \vee I_{ges} \leq 180 \text{ W/m}^2 \vee h_d < 8 \vee h_d \geq 18$
 mit $\alpha_{SS,s} = 0,9$

mit

$I_{ges,h}$	W	direkte und diffuse Einstrahlung in der Jahresstunde h
x_o	-	Faktor zur Berücksichtigung der Nutzungszeit und der Einstrahlungskriterien
x_e	-	Faktor zur Berücksichtigung der Nutzungszeit
α_{SS}	-	Schließungsgrad des Sonnenschutzes
s	-	Index für die Sommerperiode
w	-	Index für die Winterperiode
h_d	h	Stunde am Tag d
h	h	Stunde im Jahr
1-2160	h	Zeitfenster der ersten Winterperiode im Jahr
2161-6552	h	Zeitfenster der Sommerperiode im Jahr
6553-8760	h	Zeitfenster der zweiten Winterperiode im Jahr

In folgender Abbildung wird das Rechenmodell schematisch dargestellt.

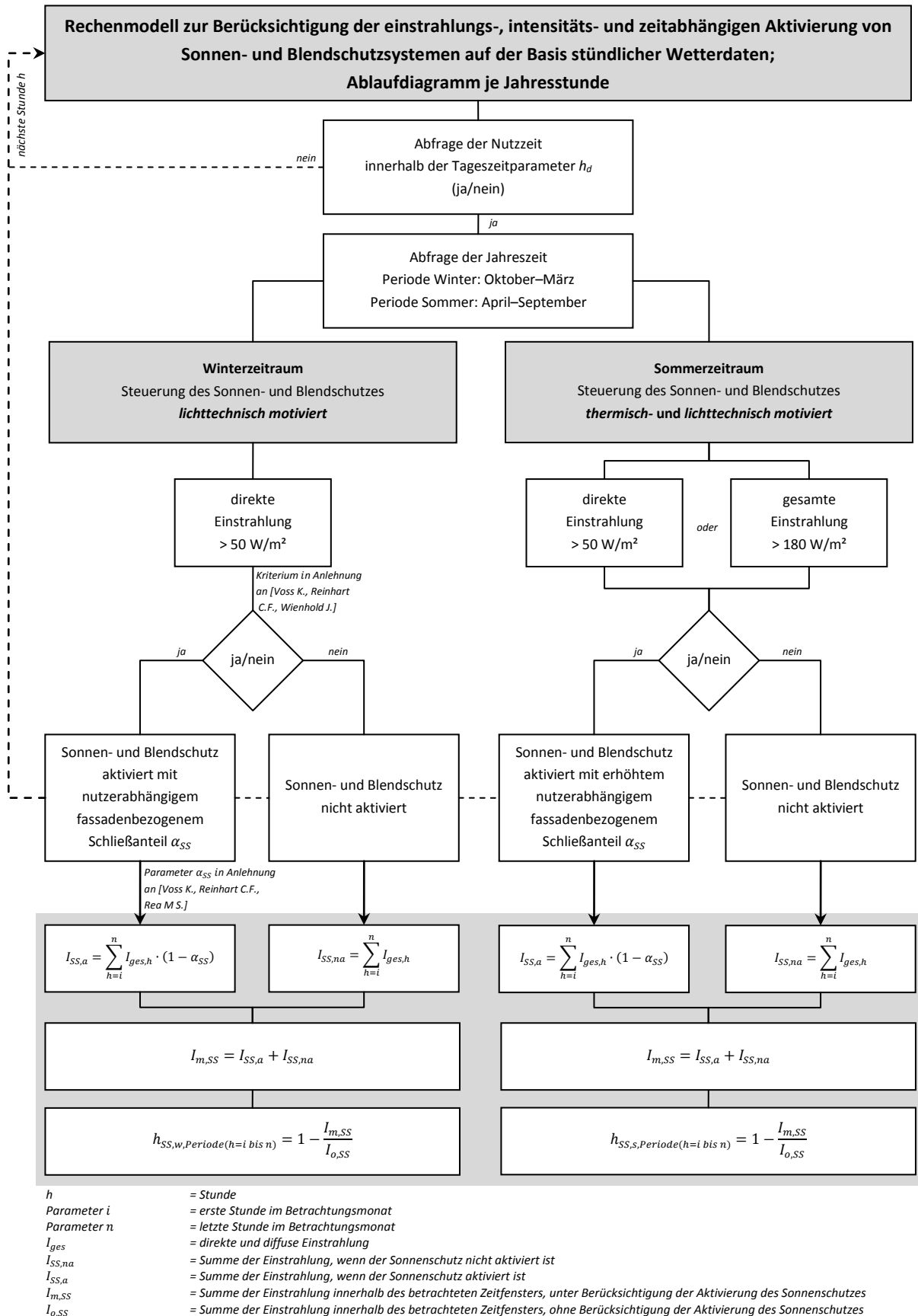


Abbildung 5: Schematische Darstellung des Rechenmodells

Abbildung 6 zeigt die berechneten Zeit- und Einstrahlungszeitanteile je Orientierung und Jahreszeitraum. Innerhalb der Sommerperiode sind die Schwellenwertüberschreitungen deutlich häufiger als in der Winterperiode.

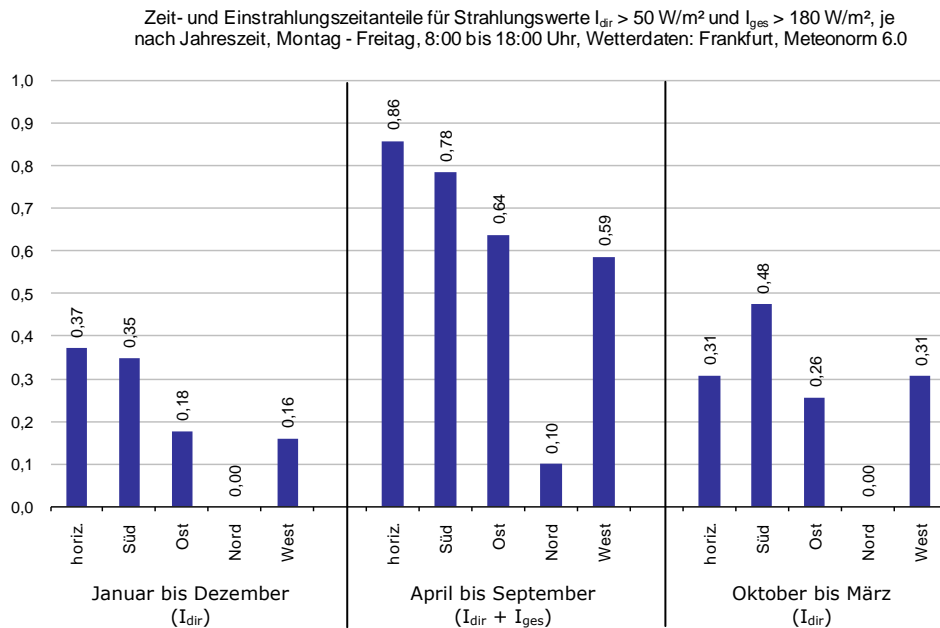


Abbildung 6: Zeit- und Einstrahlungszeitanteile für die jeweiligen Strahlungsbedingungen und Zeitperiode (Haupt-Himmelsrichtungen)

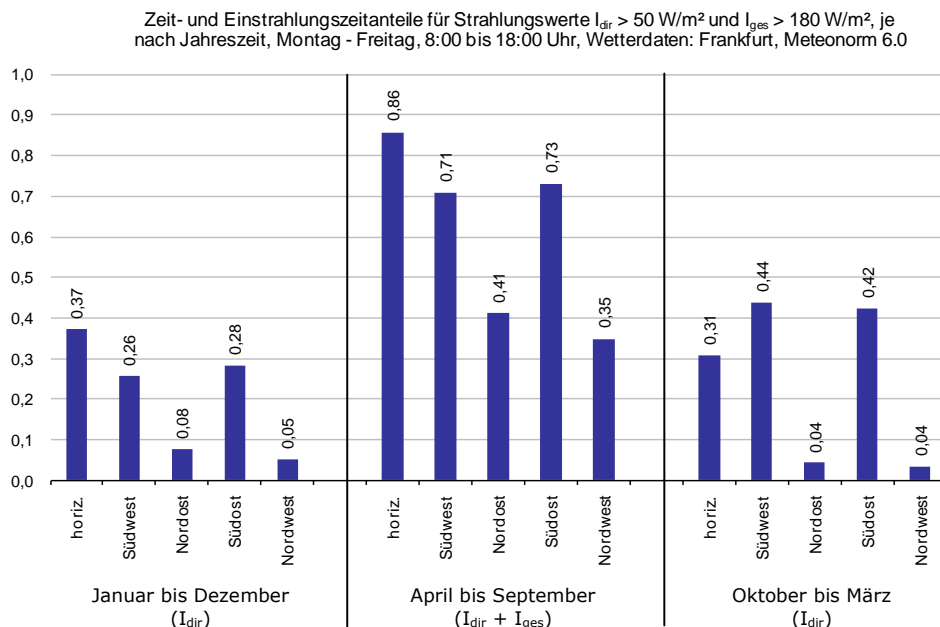


Abbildung 7: Zeit- und Einstrahlungszeitanteile für die jeweiligen Strahlungsbedingungen und Zeitperiode (Zwischenorientierungen)

Vergleicht man die Jahreswerte (linke Säulengruppe in Abbildung 6 und Abbildung 7) mit den Werten aus dem Beleuchtungsteil der DIN V 18599-4, kann man eine gute Übereinstimmung der relativen Zeitanteile für alle Orientierungen feststellen. In [20] ergaben Simulationsrechnungen für den Standort Frankfurt am Main relative Zeitanteile geschlossener Verschattung für einen südorientierten Raum von 0,35, was ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Berechnungen zeigt.

Tabelle 7: Vergleich der relativen Zeitanteile für aktivierte Sonnen- und Blendschutzvorrichtungen (mittlerer Jahreswert; bei der eigenen Berechnung nur Blendung durch Direktstrahlung betrachtet)

	DIN 18499-4	berechnet
Süden (0°, Azimut)	0,33	0,35
Westen (90°, Azimut)	0,20	0,16
Osten (-90°, Azimut)	0,20	0,18
Norden (180°, Azimut)	0,00	0,00

Nach Gleichung (2) werden bei der Energiebilanzierung nach DIN V 18599, Teil 2 die Aktivierungsparameter beweglicher Blend- und Sonnenschutzsysteme in der Winterperiode (Oktober bis März) und in der Sommerperiode (April bis September) unterschiedlich berücksichtigt. Die in Abbildung 6 dargestellten Werte unterscheiden sich ebenfalls hinsichtlich der Jahres-Bilanzperiode. In der Sommerperiode liegen, im Vergleich zu Systemen mit manueller Bedienung [2], sehr gute Übereinstimmungen vor. Die berechneten Zeitanteile aktiver Blend- und Sonnenschutzsysteme für die Winterperiode liegen unterhalb der in [2] als Rechenparameter vorgegebenen Werte der Aktivierungsparameter. In Tabelle 8 werden die nach Abschnitt 2.3.3 berechneten Zeitanteile den Aktivierungsparametern aus DIN V 18599, Teil 2 gegenübergestellt.

Tabelle 8: Vergleich der relativen einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängigen Aktivierungsgrade von Sonnenschutzsystemen

	DIN V 18499-2 ⁸ Sommer	berechnet Sommer	DIN V 18499-28 Winter	berechnet Winter
Horizont	0,89 (0,74)	0,86	0,42 (0,24)	0,31
Süden (0°, Azimut)	0,79 (0,67)	0,78	0,77 (0,71)	0,48
Westen (90°, Azimut)	0,70 (0,39)	0,59	0,45 (0,34)	0,31
Osten (-90°, Azimut)	0,70 (0,39)	0,64	0,45 (0,34)	0,26
Norden (180°, Azimut)	0,10 (0,00)	0,10	0,00 (0,00)	0,00
Südwest (45°, Azimut)	0,71 (0,63)	0,71	0,77 (0,56)	0,44
Südost (-45°, Azimut)	0,71 (0,63)	0,73	0,77 (0,56)	0,42
Nordwest (135°, Azimut)	0,49 (0,13)	0,35	0,03 (0,00)	0,04
Nordost (-135°, Azimut)	0,49 (0,13)	0,41	0,03 (0,00)	0,04

Der in DIN V 18599-2 für die Südorientierung ausgewiesene Aktivierungsparameter für geschlossene Sonnenschutzsysteme ist im Winter in etwa gleich hoch wie in der Sommerperiode. Für manuell gesteuerte Systeme ist der Aktivierungsparameter im Winter um etwa 4 % höher als im Sommer. Dies bedeutet eine deutliche Reduktion der solaren Wärmegewinne in der Heizenergiebilanz. Die Einstrahlungen bei Südorientierung

⁸ Als Vergleich wurden die Zeitanteile nach Tabelle 1: Parameter a zur Bewertung der Aktivierung von beweglichen, strahlungsabhängig geregelten Sonnenschutzvorrichtungen für verschiedene Flächenneigungen, DIN V 18599-2, verwendet. Die Klammerwerte entsprechen den Aktivierungsparametern für manuell- oder zeitgesteuerte Systeme.

sind infolge niedrigerer Sonnenstände im Winterhalbjahr größer als bei den anderen Orientierungen (vgl. Abbildung 1). Der Schwellenwert zur Aktivierung des Sonnenschutzes im Winter ($I_{dir} > 50 \text{ W/m}^2$) wird nicht häufiger als in 30 % der festgelegten Nutzungszeit überschritten. Unter Berücksichtigung einer Einstrahlungs-, Zeit-, und Strahlungsintensitätsgewichtung ergibt sich für die Südorientierung ein Parameter von 0,48.

Nach DIN V 18599 werden für Nutzungs- und Nichtnutzungstage die gleichen tabellierten Aktivierungsparameter herangezogen. Zumindest das lichttechnisch motivierte, manuelle Bedienen setzt jedoch einen Nutzer voraus. Außerhalb der Nutzungszeit ist demnach nicht von einer lichttechnisch motivierten Nutzung des Blendschutzes auszugehen. Dies ist insbesondere für die Winterperiode relevant, da im Rechenmodell für diesen Zeitraum nur diese Art der Aktivierung berücksichtigt wird. Zur Wochenendkorrektur wird deshalb ein Faktor β_{We} eingeführt, der eine Nichtaktivierung des Blendschutzes für diesen Zeitraum berücksichtigt. Moderne Sonnenschutzsteuerungen können die Präsenz des Nutzers in Gebäuden berücksichtigen und schalten den Sonnenschutz nach thermischen Kriterien, wenn kein Nutzer anwesend ist.⁹ Der relative einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängige Aktivierungsparameter des Blendschutzes in der Winterperiode $h_{SS,w}$ wird mit diesem Faktor korrigiert.

$$h_{SS,w,\beta} = h_{SS,w} \cdot \beta_{We} \quad (24)$$

wobei

$$\beta_{We} = \frac{d_{Wt}}{d_{Wt} + d_{We}} = \frac{261}{261 + 104} = 0,715 \quad (25)$$

mit

$h_{SS,w,\beta}$	-	relativer einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängiger Aktivierungsgrad des Sonnen- und Blendschutzes in der Winterperiode; gemittelt für die Nutzungs- und Nichtnutzungszeit
$h_{SS,w}$	-	relativer einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängiger Aktivierungsgrad des Sonnen- und Blendschutzes in der Winterperiode; für die Nutzungszeit
β_{We}	-	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Nichtaktivierung des Sonnenschutzes innerhalb Nichtnutzungstage (Wochenenden)
d_{Wt}	-	Wochentage; mit 261 Wochentagen pro Jahr
d_{We}	-	Wochenendtage; mit 104 Wochenendtagen pro Jahr

In Abbildung 8 werden die Zeit- und Aktivierungsanteile grafisch gegenübergestellt. Im Winterhalbjahr werden nach DIN V 18599-2 für Systeme, die einstrahlungsabhängig betrieben werden, durchschnittlich 35 bis 55 % höhere Aktivierungsparameter angegeben als die nach Abschnitt 2.3 berechneten Anteile.

⁹ Sonnenschutz in „cut-off“-Stellung wenn ein Nutzer anwesend ist. Sonnenschutz deaktiviert wenn sich das Gebäude im Heizbetrieb befindet bzw. Sonnenschutz aktiviert wenn sich das Gebäude im Kühlbetrieb befindet und kein Nutzer anwesend ist.

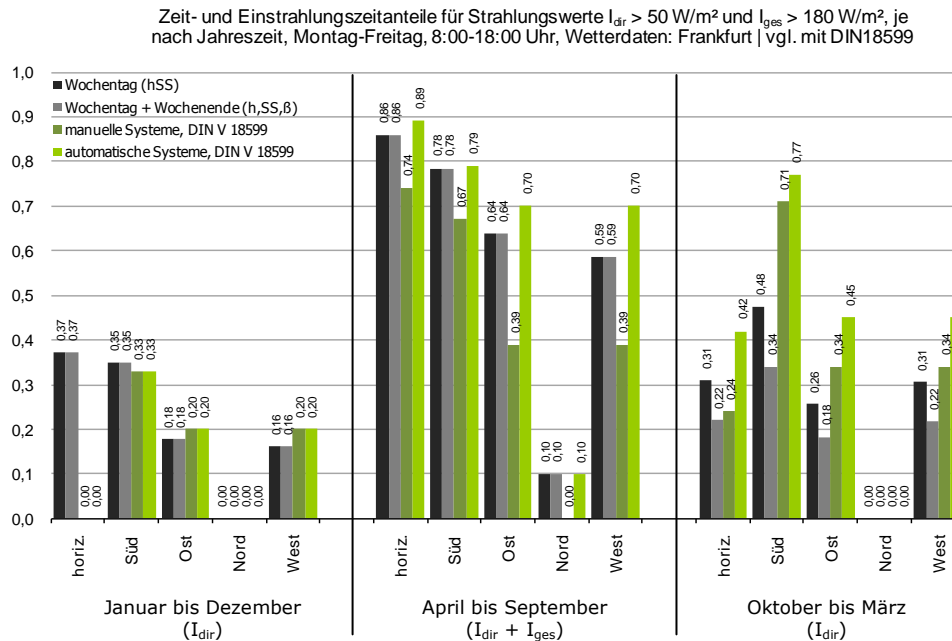


Abbildung 8: Vergleich der Zeitanteile aktivierter Sonnenschutzsysteme nach Abschnitt 2.3 und nach DIN V 18599-4 für Ganzjahreswerte und nach DIN V 18599-2 für Winter- und Sommerperiode.

3 Auswirkungen auf die Energiebilanz

Abweichungen zu den tabellierten Aktivierungsparametern nach DIN V 18599-2 sind insbesondere für den Winterzeitraum zu erwarten, da die Ansätze und Randbedingungen bei der Ermittlung dieser Werte unterschiedlich sind. Um letztlich die Auswirkungen auf die Energiebilanz zu untersuchen, wird der wirksame Energiedurchlassgrad nach Abschnitt 2.1, Gleichung (2) ermittelt. So können die Auswirkungen auf die Heiz- und Kühlenergiebilanz überprüft werden.

3.1 Auswirkungen auf den wirksamen Energiedurchlassgrad, g_{eff}

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11) sind die wirksamen Energiedurchlassgrade für je ein gleiches Fassadensystem mit unterschiedlichen Aktivierungsparametern zur Berücksichtigung von aktivierten Sonnenschutzsystemen berechnet. Dabei werden die in [2] angegebenen Möglichkeiten einer manuellen und/oder Zeitsteuerung sowie der strahlungsabhängigen Steuerung berücksichtigt. Bewertet werden die wirksamen Energiedurchlassgrade der Haupthimmelsrichtungen bei variierten Gesamenergiedurchlassgraden g_{tot} von Sonnenschutz und Verglasung.

Setzt man strahlungsabhängige, automatisch betriebene Sonnenschutzsysteme an, so verringern sich die wirksamen Energiedurchlassgrade in allen Orientierungen. Bei der Südorientierung nehmen die wirksamen Energiedurchlassgrade für den Sommer- und Winterfall einen fast identischen Verlauf. West- und ostorientierte Bereiche unterscheiden sich hinsichtlich der Jahreszeit deutlicher. Im Norden bewirken die relativen Aktivierungsparameter im Sommer einen leichten Abfall des wirksamen Energiedurchlassgrades, während sich im Winterjahreszeitraum keine Änderung ergibt.

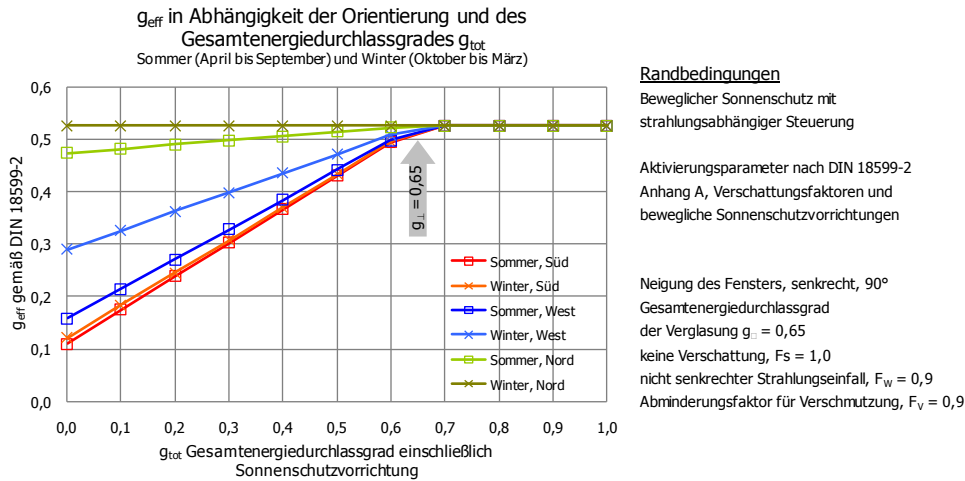


Abbildung 9: g_{eff} -Werte für unterschiedliche Orientierungen und g_{tot} -Werte, DIN V 18599-2, strahlungsabhängige Steuerung

Bei dem System „zeitabhängige und/oder manuelle Steuerung“ des Blend- und Sonnenschutzes berechnen sich die g_{eff} -Werte im Sommer und Winter auf ähnlichem Niveau. Setzt man einen sehr guten außen liegenden Sonnenschutz an ($g_{tot} < 0,05$) ergibt sich für die Südorientierung ein wirksamer Energiedurchlassgrad von etwa 0,2 für den Sommer- und Winterzeitraum (vgl. Abbildung 10). Das bedeutet aber auch, dass im Winter lediglich 20 % der möglichen solaren Energien in der Wärmebilanz berücksichtigt werden. Ein ähnlicher Verlauf lässt sich für die Orientierungen Osten und Westen beobachten. Hier liegen die berechneten Werte aufgrund geringerer Aktivierungsparameter insgesamt etwas höher, und es lässt sich eine leicht größere Differenz zwischen Winter- und Sommerhalbjahr beobachten.

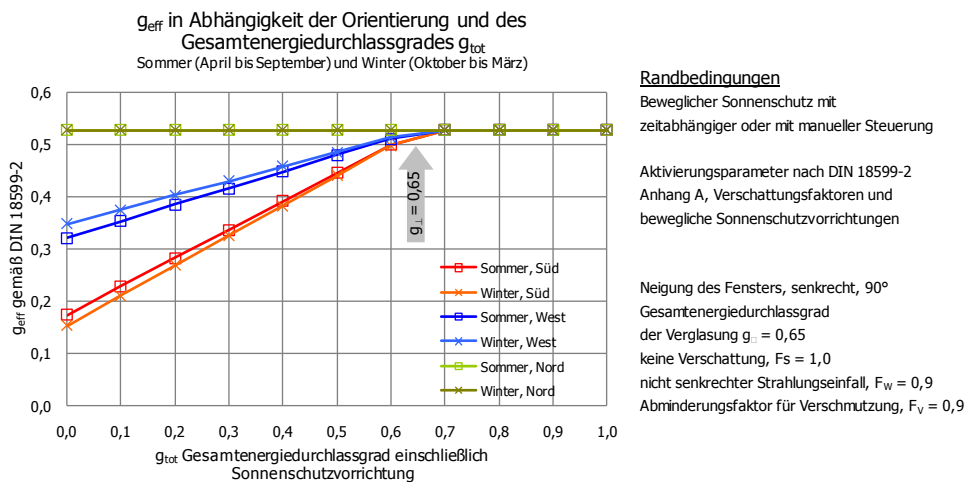


Abbildung 10: g_{eff} -Werte für unterschiedliche Orientierungen und g_{tot} -Werte, DIN V 18599-2, zeitabhängige oder manuelle Steuerung

Die wirksamen Energiedurchlassgrade mit berechneten Werten nach Abschnitt 2.3 zeigt Abbildung 11. Bei den Orientierungen Süd, West und Ost ergibt sich eine deutliche Unterscheidung zwischen Sommer- und Winterfall.

Die wirksamen Energiedurchlassgrade liegen für den Sommerfall über allen Orientierungen auf gleichem Niveau mit denen in DIN V 18599 angegebenen tabellierten Werten. Mit einem effizienten außen liegenden Sonnenschutz (z. B. $g_{tot} < 0,05$) berechnet sich für die Sommerperiode und eine Südorientierung ein wirksamer Energiedurchlassgrad g_{eff} von 0,2 für das System mit manueller Steuerung (Abbildung 10) und ein g_{eff} von 0,14 für einen einstrahlungsgeregelten Sonnenschutz (Abbildung 9). In Abbildung 11 kann ein g_{eff} -Wert von 0,145 abgelesen werden.

Im Winter unterscheiden sich die Ergebnisse hingegen deutlich voneinander. Ebenfalls bei einem g_{tot} von 0,05 ergibt sich für das manuell- oder zeitgesteuerte System ein g_{eff} -Wert von 0,18 (Abbildung 10). Bei Anwendung einer automatisierten Steuerung lässt sich aus Abbildung 9 ein Wert von 0,15 ablesen. Aus Abbildung 11 kann ein effektiver Energiedurchlassgrad von 0,30 ermittelt werden. Bei Berücksichtigung einer generellen Nichtaktivierung an Wochenenden, steigt der Gesamtenergiedurchlassgrad im Winterhalbjahr für die Südorientierung weiter auf 0,36.

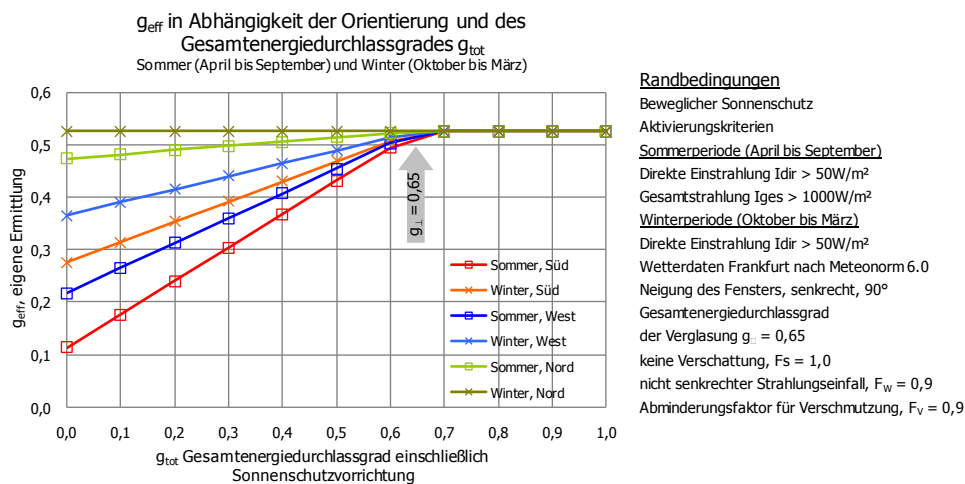


Abbildung 11: g_{eff} -Werte für unterschiedliche Orientierungen und g_{tot} -Werte, DIN V 18599-2, zeitabhängige oder manuelle Steuerung, eingesetzte a-Faktoren nach Abschnitt 2.3 (sonst gleiche Randbedingungen)

In Abbildung 12 sind die wirksamen Energiedurchlassgrade beispielhaft für eine südorientierte Fassade nach DIN V 18599 und bei Verwendung der a-Faktoren nach Abschnitt 2.3 vergleichend gegenübergestellt. Die untere Kurvenschar repräsentiert die Berechnung nach den Randbedingungen der DIN V 18599-2 für die Sommer- und Winterperiode und die jeweilige Steuerungsart des Sonnenschutzes. Ebenso situieren sich die berechneten Werte gemäß den Randbedingungen aus Abschnitt 2.3 für den Sommerfall in diesem Bereich. Die oberste Kurve entspricht den berechneten g_{eff} -Werten für die Winterperiode gemäß Abschnitt 2.3; die nach DIN V 18599-2 für beide möglichen Steuerungsarten liegen hingegen in der unteren Kurvenschar.

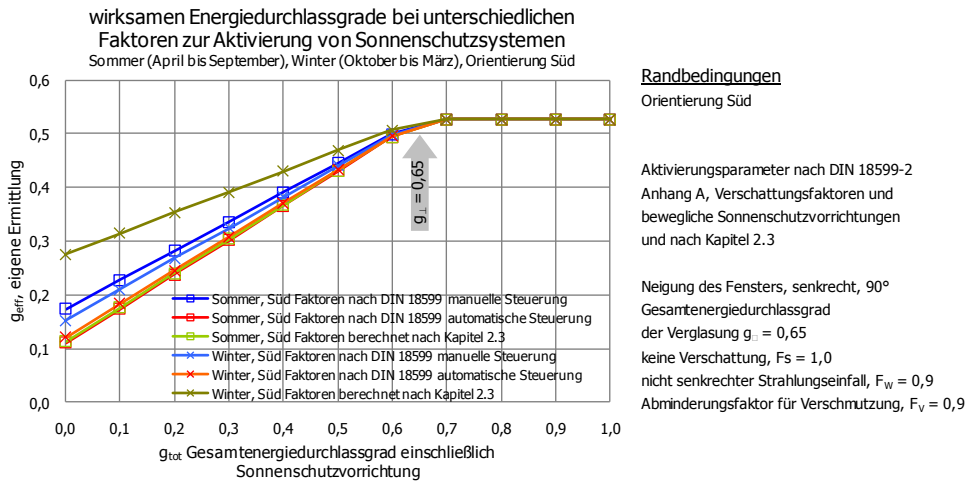


Abbildung 12: g_{eff} -Werte mit Randbedingungen nach DIN V 18599-2 und nach Abschnitt 2.3, für eine südorientierte Fassade

3.2 Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf

In den folgenden Abschnitten werden die Auswirkungen unterschiedlicher Rechenansätze zur Berücksichtigung von Blend- und Sonnenschutzmaßnahmen auf die thermischen Bilanzen untersucht. Da sich bei der Ermittlung der effektiven Energiedurchlassgrade nach Abschnitt 2.3 im Wesentlichen Unterschiede in der Winterperiode und hier insbesondere für die Südorientierung ergeben, liegt der Schwerpunkt auf der Bewertung des Heizwärmebedarfs. Die nach Abschnitt 2.3 ermittelten a -Parameter werden in die Rechengänge der DIN V 18599 integriert und so für unterschiedliche Zonen der Einfluss dieser Parameter auf den Heizwärmebedarf untersucht. Vergleichend dazu werden die Jahresenergiebedarfe mit den Aktivierungsparametern, wie sie im Teil 2 der DIN V 18599 hinterlegt sind, berechnet. Darüber hinaus werden zwei weitere Programme (Daylight 1-2-3 und ParaSol) genutzt, die eine Steuerung von Sonnen- und Blendschutz in den Energiebilanzen berücksichtigen, um so den Einfluss analog zu bewerten.

Daylight 1-2-3

Daylight 1-2-3 ist ein Analyse-Tool zur Unterstützung bei der Planung der Tageslichtversorgung in Nichtwohngebäuden während der ersten Konzeption und in Entwicklungsstadien. Das Tool prognostiziert die Tageslichtnutzung und den Energiebedarf für Beleuchtung, Heizwärme und Kühlung für Einzelbüros, Gruppenbüros und Klassenzimmer. Daylight 1-2-3 eignet sich für die Untersuchung und Bewertung von Blend- und Sonnenschutzmaßnahmen, da ein Nutzerverhaltensmodell (Lightswitch) nach [21] [37] hinterlegt ist. Lightswitch ist ein stochastisches Modell, welches auf der Grundlage von umfangreichen Feldstudien erstellt wurde. In diesem Modell werden jährliche Beleuchtungsstärken und Belegungsprofile mit Nutzerverhaltensmustern verknüpft und in den Rechengängen berücksichtigt. Dieses Modell berücksichtigt die Verhaltensweise eines durchschnittlichen Gebäudenutzers bei der Bedienung von Beleuchtungsanlagen und Blend- und Sonnenschutzsystemen. Im Programm steht nur eine geringe Auswahl an Klimadaten für Deutschland zur Verfügung. Für die Berechnung wird der im Programm hinterlegte Klimadatensatz von Mannheim verwendet. Es sollen die relativen Auswirkungen von Blend- und Sonnenschutzmaßnahmen in Bezug auf den

berechneten Heizwärmebedarf ermittelt werden. In der Software stehen ebenfalls nur die Raumtypen „Einzelbüro“, „Gruppenbüro“ und „Klassenraum“ zur Auswahl. Für den Vergleich wurde ein Klassenraum und ein Gruppenbüro, je mit und ohne Sonnenschutz, berechnet und die Auswirkungen auf den Heizwärmebedarf bestimmt.

ParaSol

ParaSol ist ein dynamisches Simulationsprogramm, welches hauptsächlich zur energetischen Bewertung von transparenten Bauteilen in Verbindung mit Sonnenschutzsystemen entwickelt wurde. Energiedurchlassgrade von Verglasung und Sonnenschutz werden monatlich ermittelt und berücksichtigen auch den Einfluss unterschiedlicher Sonnenhöhenwinkel auf den Energiedurchlass. Die geometrischen Eigenschaften von Jalousiesystemen als auch unterschiedliche Reflektionswirkungen auf transparente Bauteile werden dabei berücksichtigt. Die Berechnungen des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs basieren auf jährlichen Stundensimulationen unter Verwendung des dynamischen Simulationsprogramms DEROB-LTH. Die Software erlaubt die Berücksichtigung einer einstrahlungsabhängigen Aktivierung von Sonnenschutzsystemen. Darüber hinaus können Analysen zur Tageslichtversorgung und zur Behaglichkeit durchgeführt werden. Der Strombedarf für Beleuchtung kann mit der Software nicht berechnet werden. Die in Abschnitt 2.3 angegebenen Werte wurden bei der Berechnung als Ansatz zur Steuerung des Sonnenschutzes verwendet (Einstrahlungskriterium 180 W/m^2). ParaSol wurde in [34] erfolgreich validiert.

EnerCalc – DIN V 18599

Vergleichend wird jeder Raum mit den gleichen geometrischen Abmessungen und Randbedingungen (sofern die Randbedingungen in der Software Daylight 1-2-3 und ParaSol einsehbar und variabel sind) auch mit dem Werkzeug EnerCalc berechnet. EnerCalc ist ein Rechentool, mit welchem die Nutzenergiebedarfe für Beleuchtung, Heizwärme und Kälte nach den Rechengängen der DIN V 18599:2007 bestimmt werden können. Das Programm wurde erfolgreich mit anderen Softwareprodukten validiert [22] und eignet sich besonders, weil es den freien Zugriff auf alle Berechnungsparameter für diese Analyse erlaubt.

Das Ziel ist die Beurteilung der relativen Änderung im Heizwärmebedarf infolge der Berücksichtigung von aktivierten Sonnenschutzsystemen innerhalb der Heizperiode. Die verwendeten Programme nutzen unterschiedliche Algorithmen, Methoden und Randbedingungen zur Bewertung dieses Zusammenhanges. Da für die Bewertung lediglich die Änderung des Heizwärmebedarfs interessant ist, können Unterschiede bei der eigentlichen Energiebilanzierung (Stundensimulation, Monatssimulation etc.) sowie die Nutzung verschiedener deutscher Klimadatensätze akzeptiert werden.

3.2.1 Vergleichszone: Klassenraum

Als Raummodell wird ein Klassenraum mit den Abmaßen Länge: 10 m x Fassadenbreite: 10 m x Höhe: 3,5 m ausgewählt. Da die Programme unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Berechnung verfolgen, wurden die Eingabedaten soweit wie möglich für alle Programme harmonisiert. Die Abmaße ergeben sich aus den vorgegebenen und festen Gebäudegeometriemodellen von Daylight 1-2-3. Die Berechnungsrandbedingungen werden jeweils neben den Ergebnisdarstellungen angegeben. Für alle Varianten wird immer die Südorientierung angenommen, da sich hier die größten Unterschiede der effektiven Energiedurchlassgrade ergeben.

3.2.1.1 Daylight 1-2-3

In Daylight 1-2-3 wird das Raummodell „Klassenraum“ ausgewählt. Hierbei handelt es sich um eine Zone mit einer Fassadenbreite von 10 m, einer Raumtiefe von 10 m und einer Höhe von 3,5 m. Die wärmeübertragenden Flächen sind die südorientierte Fassade und das Dach. Die Fassade wurde mit 100 % Verglasung angegeben um den maximalen Einfluss der solaren Gewinne zu berücksichtigen. Abbildung 13 zeigt das dreidimensionale Raummodell in der Software. Als Klimadatensatz wurde Mannheim gewählt (interne Datenbank der Software).

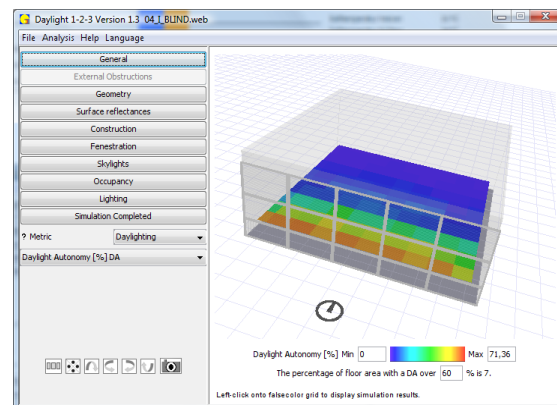
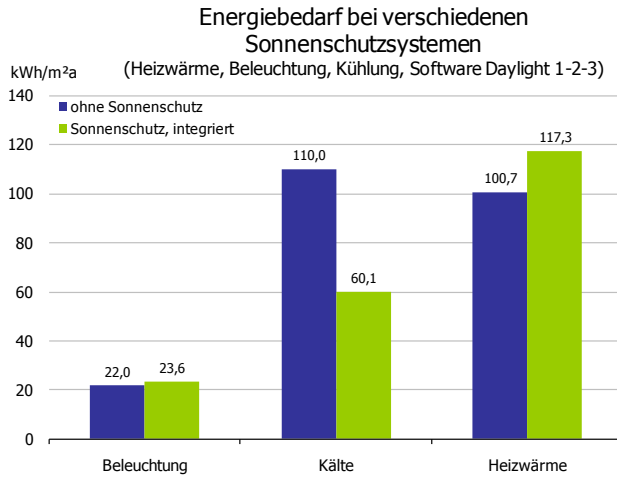


Abbildung 13: Modell in Daylight 1-2-3, Klassenraum

Die Simulation wird einmal ohne Sonnenschutzmaßnahmen (**blaue Balken**) und einmal mit Sonnenschutzmaßnahmen (**grüne Balken**) durchgeführt (vgl. Abbildung 14). Bei dem in der Software Daylight 1-2-3 hinterlegten Sonnenschutzsystem handelt es sich um eine Alu-Jalousie (25 mm Lamellentiefe, 20 mm Lamellenabstand), welche in die Verglasung integriert ist. Der Heizwärmebedarf steigt durch die Aktivierung des Sonnenschutzes in der Heizperiode an, da das Nutzerverhalten zur Bedienung des Sonnenschutzes im Rechenmodell berücksichtigt wird.

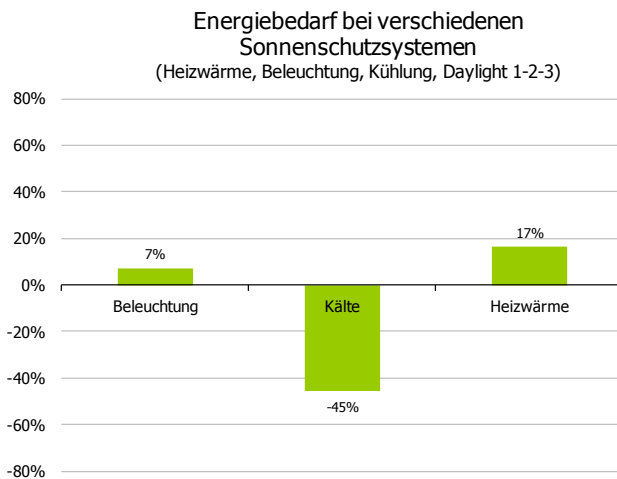


Randbedingungen

gemäß Software Daylight 1-2-3
 Wetterdatensatz Mannheim (int. DB)
 Zonengröße (BxT) 10m x 10m
 Höhe 3,5m
 Orientierung der Hauptfassade Süd (10m)
 Reflektionsgrad Wand 50%
 Reflektionsgrad Decke 80%
 Speichermasse mittel
 U-Wert Dach 0,25 W/m²K
 U-Wert Wände 0,32 W/m²K
 Verglasung (aus Datenbank) U=2,69 W/m²K
 Transmissionsgrad 0,79
 Fensterflächenanteil 99%
 SHGC 0,70
 Solltemperatur Heizen 21°C
 Solltemperatur Kühlen 24°C
 Absenk-Temperaturintervall 4K
 Aktivitätsgrad mittel
 Beleuchtungsleistung 10 W/m²
 Kontrolle manuell/OFF

Abbildung 14: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (Daylight 1-2-3)

Die relative Änderung des Heizwärmebedarfs liegt bei etwa 17 %. Der Kühlenergiebedarf reduziert sich um 45 % und der Strombedarf für Beleuchtung steigt um knapp 7 % an. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 dargestellt.



Randbedingungen

gemäß Software Daylight 1-2-3
 Wetterdatensatz Mannheim (int. DB)
 Zonengröße (BxT) 10m x 10m
 Höhe 3,5m
 Orientierung der Hauptfassade Süd (10m)
 Reflektionsgrad Wand 50%
 Reflektionsgrad Decke 80%
 Speichermasse mittel
 U-Wert Dach 0,25 W/m²K
 U-Wert Wände 0,32 W/m²K
 Verglasung (aus Datenbank) U=2,69 W/m²K
 Transmissionsgrad 0,79
 Fensterflächenanteil 99%
 SHGC 0,7
 Solltemperatur Heizen 21°C
 Solltemperatur Kühlen 24°C
 Absenk-Temperaturintervall 4K
 Aktivitätsgrad mittel
 Beleuchtungsleistung 10 W/m²
 Kontrolle manuell/OFF

Abbildung 15: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (Daylight 1-2-3)

3.2.1.2 ParaSol

Mit der Software ParaSol wird der Klassenraum mit gleicher Geometrie abgebildet. Nebenstehende Grafik zeigt das Ergebnisfenster nach der Simulation. Die grafische Auswertung zeigt die Jahresdauerlinie für den Heizwärmebedarf mit und ohne Aktivierung von Sonnenschutzmaßnahmen. Die Auswirkungen auf den Heizwärme- und Kühlenergiebedarf werden in folgenden Abbildungen dargestellt. Für die Vergleichsrechnung wurde aus nur drei möglichen deutschen Standorten der Ort Berlin gewählt.

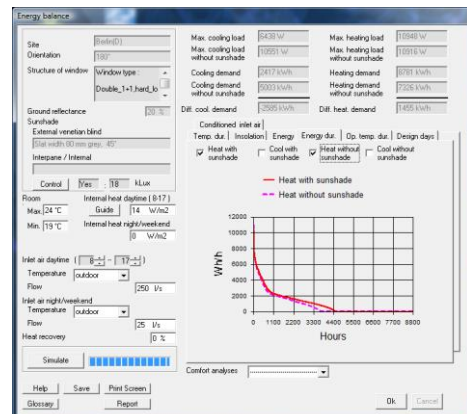


Abbildung 16: Modell ParaSol, Klassenraum

Die Simulation wurde einmal ohne Sonnenschutzmaßnahmen und einmal mit Sonnenschutzmaßnahmen durchgeführt. Bei Berücksichtigung eines Sonnenschutzes verringert sich, wie zu erwarten war, der Kühlenergiebedarf. Der Heizwärmebedarf steigt durch die Aktivierung des Sonnenschutzes auch in der Heizperiode bei Berücksichtigung des Einstrahlungskriteriums.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 17 und Abbildung 18) werden die Ergebnisse gegenübergestellt. Der Heizwärmebedarf steigt durch Aktivierung des Sonnenschutzes in dieser Zeit um 14,5 kWh/(m²a). Der Kühlenergiebedarf reduziert sich um 25,8 kWh/(m²a). Der Energiebedarf für Beleuchtungsstrom kann mit der Software ParaSol nicht berechnet werden. Die der Berechnung zugrunde liegenden internen Lasten wurden entsprechend den Randbedingungen in [2] und [4] eingesetzt.

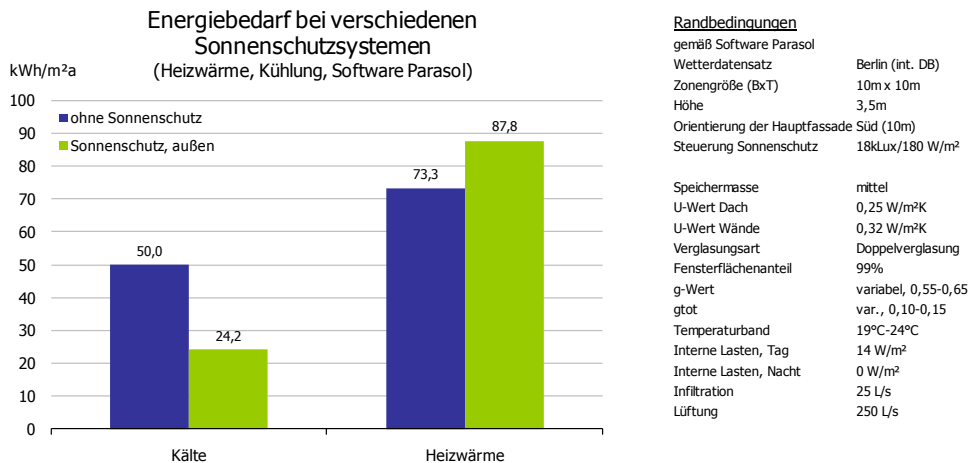


Abbildung 17: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (ParaSol)

Die relative Änderung des Heizwärmebedarfs liegt bei 20 %, die des Kühlenergiebedarfs bei 52 %.

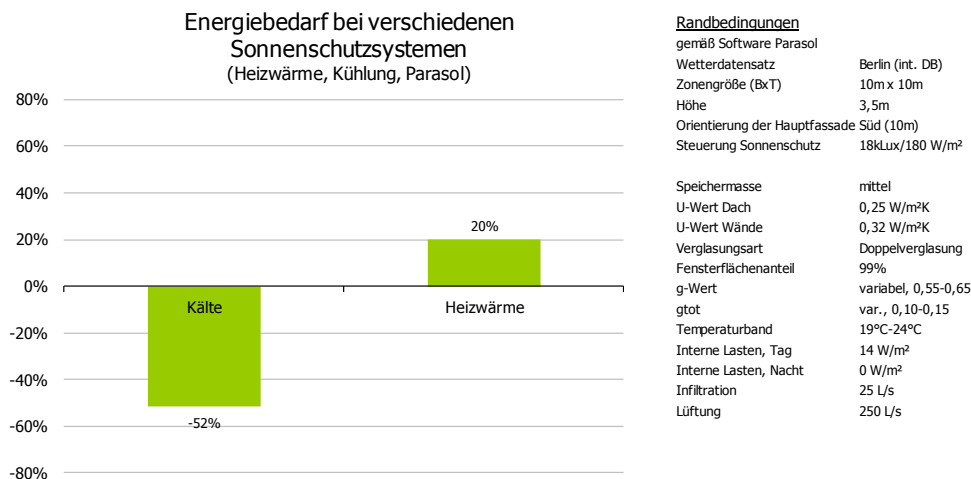


Abbildung 18: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (ParaSol)

3.2.1.3 EnerCalc – DIN V 18599

Es werden drei verschiedene Varianten für den geometrisch gleichen Klassenraum berechnet:

1. ohne Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,67$),
2. integrierter/außen liegender Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,15$), a-Faktoren nach DIN 18599-2,
3. integrierter/außen liegender Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,15$), a-Faktoren nach Abschnitt 2.3.

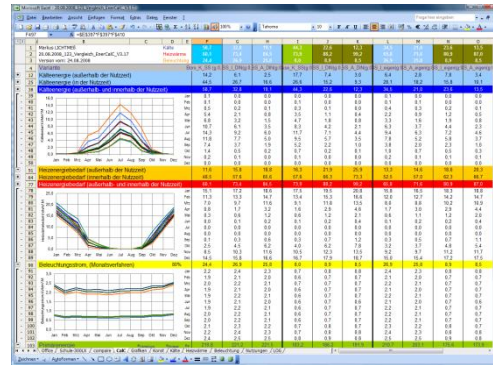


Abbildung 19: Modell in EnerCalc.

Bei Berücksichtigung eines Sonnenschutzes mit $g_{tot} = 0,10$ liegt der Unterschied zwischen der Basisvariante ohne Sonnenschutz und der Berechnung nach DIN V 18599 bei 25 kWh/(m²a). Verwendet man die nach Abschnitt 2.3 berechneten Parameter für die Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen, so berechnet sich der Mehrbedarf mit 18 kWh/(m²a). Wird die Energiebilanz für die Nutzungs- und Nichtnutzungstage mit unterschiedlichen Aktivierungsparametern berechnet, ergibt sich ein Mehrbedarf von 12 kWh/(m²a) (vgl. Abbildung 21).

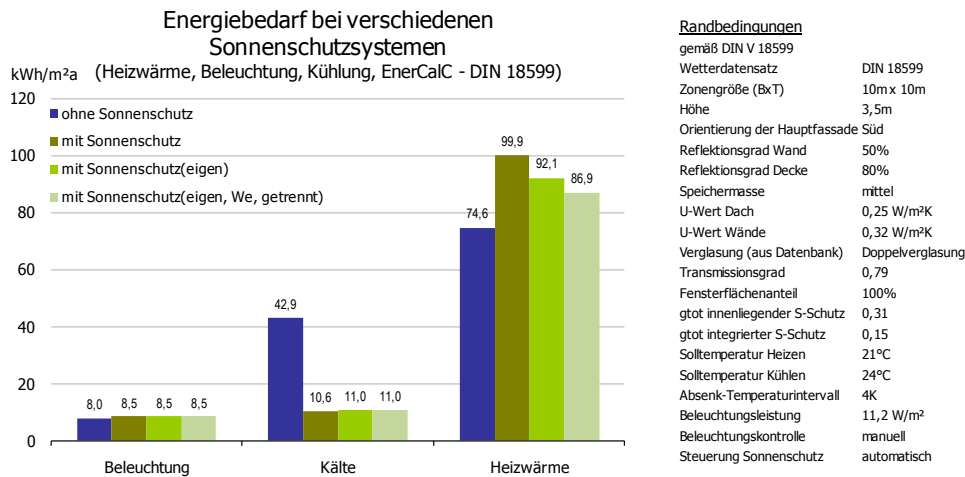


Abbildung 20: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (EnerCalc)

Die relative Änderung des Heizwärmebedarfs, bezogen auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz, liegt mit einem Sonnenschutz nach den Regeln der DIN V 18599 bei 34 % bzw. bei 23 %, wenn die im Abschnitt 2.3 ermittelten Aktivierungsparametern angesetzt werden. Die Berücksichtigung des Wochenendverhaltens bewirkt eine relative Änderung von 17 %. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen der Software Daylight 1-2-3 und ParaSol, so kann eine gute Übereinstimmung der Änderung des Heizwärmebedarfs mit den nach Abschnitt 2.3 berechneten Zeitanteilen für die Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzsystemen festgestellt werden.

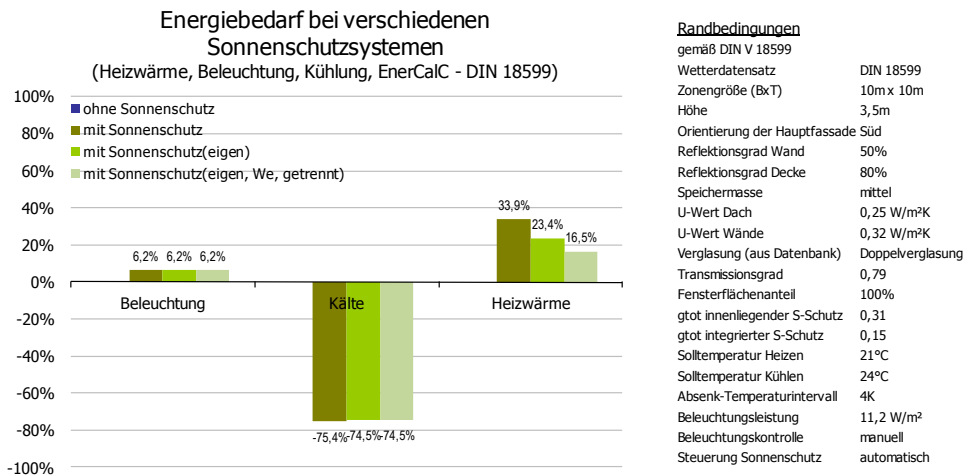


Abbildung 21: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (EnerCalC)

3.2.2 Vergleichszone: Büro

Als Raummodell wird eine Büroraumzone mit den Abmaßen Länge: 7,5 m x Fassadenbreite: 9 m x Höhe: 3,5 m ausgewählt. Die Maße ergeben sich aus den vorgegebenen Gebäudemodellen von Daylight 1-2-3. Da die Programme unterschiedliche Ansätze hinsichtlich der Berechnung verfolgen, werden die Eingabedaten (interne Lasten, Luftwechsel, U-Werte etc.) soweit wie möglich für alle vereinheitlicht – für alle Daten ist dies jedoch nicht möglich.

3.2.2.1 Daylight 1-2-3

Das Zonenmodell wird mit einer Breite von 7,5 m (Hauptfassade), einer von Länge 9,0 m und einer Raumhöhe von 3,5 m berücksichtigt. Die Breite der mit Fenstern ausgestatteten Fassade beträgt 7,5 m, bei Südorientierung. Alle sonstigen Parameter werden so, wie für das Raummodell „Klassenraum“ gewählt, mit Ausnahme der Berücksichtigung des Einflusses der EDV-Anlagen als interne Wärmequellen. Als Klimadatensatz wird Mannheim gewählt (interne Datenbank der Software).

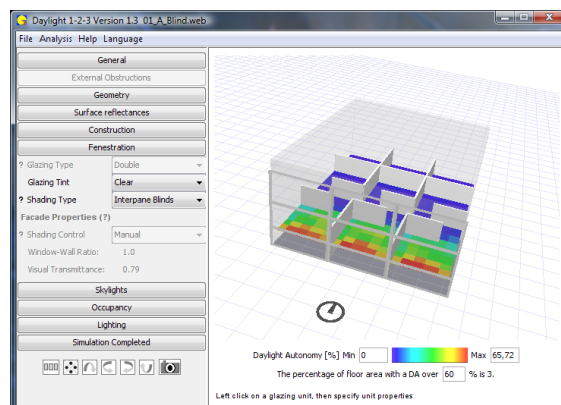


Abbildung 22: Modell in Daylight 1-2-3, Büro

Die Simulation wurde ebenfalls einmal ohne Sonnenschutzmaßnahmen und einmal mit Sonnenschutzmaßnahmen durchgeführt. Der Heizwärmebedarf steigt auch hier durch die Aktivierung des Sonnenschutzes in der Winterperiode aufgrund der Berücksichtigung des Einstrahlungskriteriums.

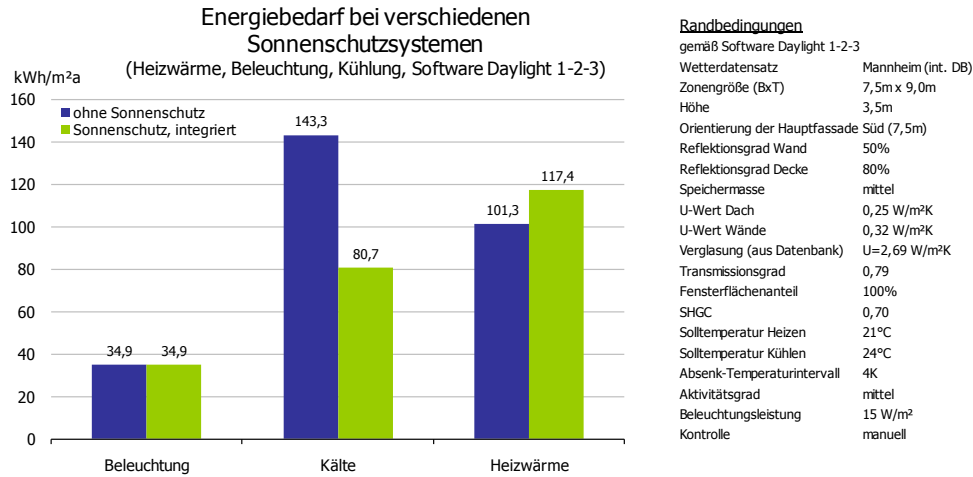


Abbildung 23: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (Daylight 1-2-3)

Die relative Änderung im Heizwärmebedarf liegt bei 16 %, die im Kühlenergiebedarf bei 44 % (vgl. Abbildung 24).

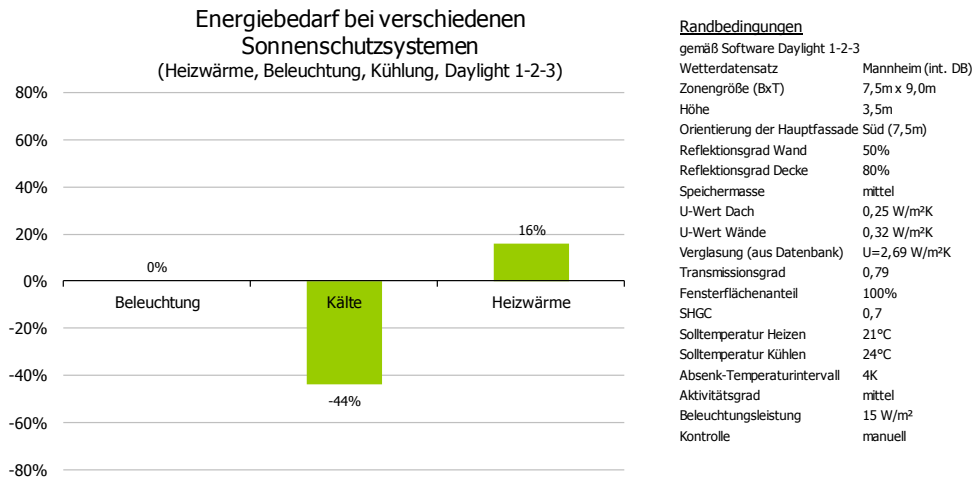


Abbildung 24: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (Daylight 1-2-3)

3.2.2.2 ParaSol

Mit ParaSol wird die gleiche Bürozone abgebildet. Nebenstehende Grafik zeigt das Ergebnisfenster nach der Simulation. Die Grafik zeigt die Jahresdauerlinie für den Heizwärmebedarf mit und ohne Aktivierung von Sonnenschutzmaßnahmen. In ParaSol können Sonnenschutzsysteme genauer untersucht werden. Im Berechnungsmodell werden monatliche g-Werte für Verglasung und Sonnenschutz ermittelt. Die Auswirkungen auf den Heizwärme- und Kühlenergiebedarf werden in folgenden Abbildungen dargestellt.

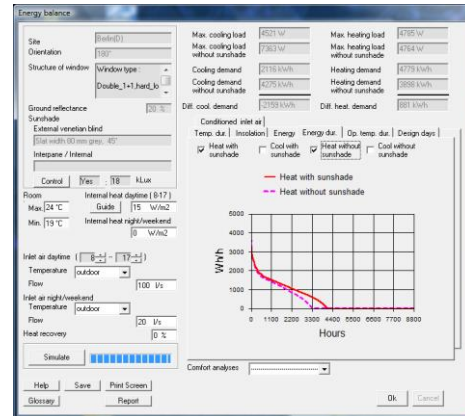
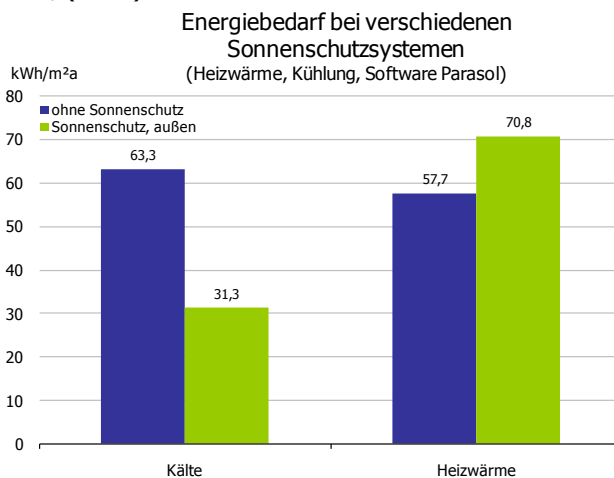


Abbildung 25: Modell in ParaSol, Bürozone

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der beiden Bilanzen. Der Heizwärmebedarf steigt auch für die Bürozone durch die Aktivierung des Sonnenschutzes in der Winterperiode um etwa 13 kWh/(m²a).

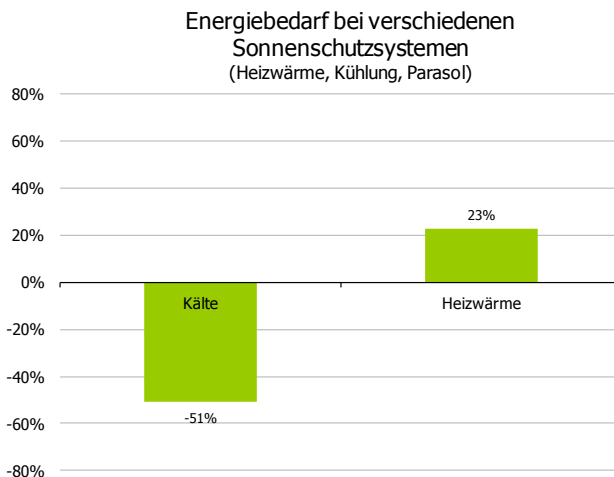


Randbedingungen

- gemäß Software Parasol
- Wetterdatensatz Berlin (int. DB)
- Zonengröße (BxT) 7,5m x 9,0m
- Höhe 3,5m
- Orientierung der Hauptfassade Süd (7,5m)
- Steuerung Sonnenschutz 18kLux/180 W/m²
- Speichermasse mittel
- U-Wert Dach 0,25 W/m²K
- U-Wert Wände 0,32 W/m²K
- Verglasungsart Doppelverglasung
- Fensterflächenanteil 99%
- g-Wert var., 0,55-0,65
- gtot var., 0,10-0,15
- Temperaturband 19°C-24°C
- Interne Lasten, Tag 15 W/m²
- Interne Lasten, Nacht 0 W/m²
- Infiltration 20 L/s
- Lüftung 100 L/s

Abbildung 26: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (ParaSol)

Die rel. Änderung des Heizwärmebedarfs liegt bei 23 %, die des Kühlenergiebedarfs bei 51 %.



Randbedingungen

- gemäß Software Parasol
- Wetterdatensatz Berlin (int. DB)
- Zonengröße (BxT) 7,5m x 9,0m
- Höhe 3,5m
- Orientierung der Hauptfassade Süd (7,5m)
- Steuerung Sonnenschutz 18kLux/180 W/m²
- Speichermasse mittel
- U-Wert Dach 0,25 W/m²K
- U-Wert Wände 0,32 W/m²K
- Verglasungsart Doppelverglasung
- Fensterflächenanteil 99%
- g-Wert var., 0,55-0,65
- gtot var., 0,10-0,15
- Temperaturband 19°C-24°C
- Interne Lasten, Tag 15 W/m²
- Interne Lasten, Nacht 0 W/m²
- Infiltration 20 L/s
- Lüftung 100 L/s

Abbildung 27: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (ParaSol)

3.2.2.3 EnerCalc - DIN V 18599

Mit EnerCalc wurden drei verschiedene Varianten für den geometrisch gleichen Büroraum berechnet.

1. ohne Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,67$),
2. integrierter/außen liegender Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,15$), Faktoren nach DIN 18599-2,
3. integrierter/außen liegender Sonnenschutz ($g_{tot} = 0,15$), Faktoren nach Abschnitt 2.3.

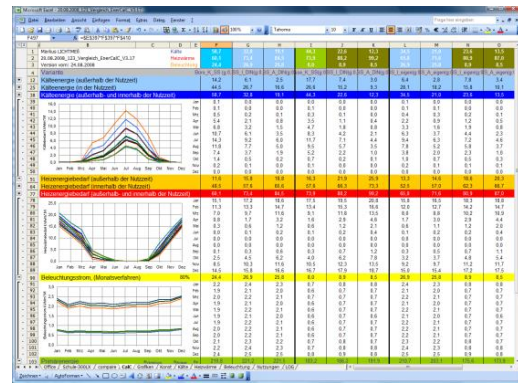


Abbildung 28: Modell in EnerCalc, Büroraum

Bei Anwendung eines Sonnenschutzes erhöht sich, unter Verwendung der a-Faktoren nach DIN V 18599-2, der Heizwärmebedarf um 25 kWh/(m²a). Setzt man in den Bilanzgleichungen die in Abschnitt 2.3 ermittelten Faktoren ein, erhöht sich der Heizwärmebedarf um 16 kWh/(m²a); bei Anwendung der Wochenendkorrektur um 12 kWh/(m²a).

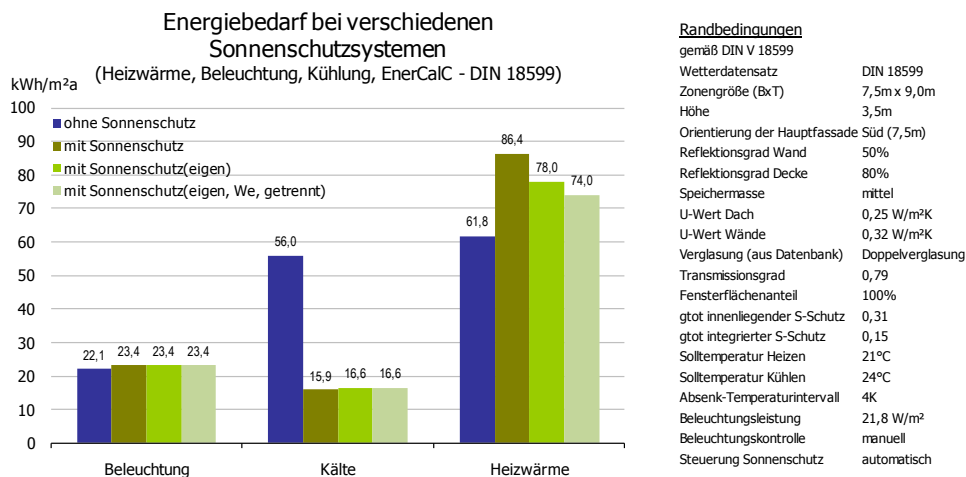


Abbildung 29: Vergleich der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen (EnerCalc)

Die relative Änderung im Heizwärmebedarf gegenüber der Basisvariante (ohne Sonnenschutz) liegt bei Berücksichtigung eines Sonnenschutzes und unter den in DIN V 18599 angegebenen Randbedingungen bei 40 bzw. 36 %, wenn die in Abschnitt 2.3 ermittelten Aktivierungsparameter angesetzt werden. Setzt man Werte mit Wochenendkorrektur an, ergibt sich eine 20%ige Änderung. Vergleicht man die Ergebnisse mit denen der Software Daylight 1-2-3 und ParaSol, so kann auch für die Bürozone eine gute Übereinstimmung mit den nach Abschnitt 2.3 ermittelten Aktivierungsparametern zur Berücksichtigung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzsystemen festgestellt werden.

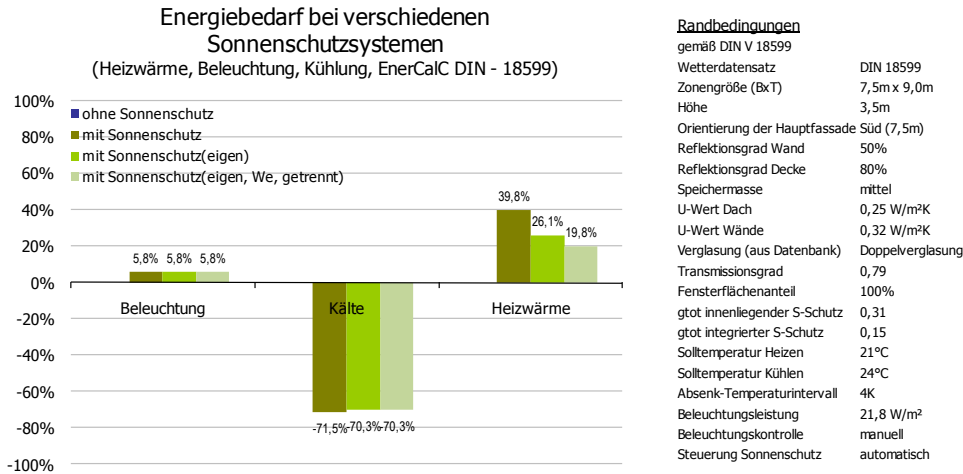


Abbildung 30: Abweichung der berechneten Energiebedarfe bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die Basisvariante ohne Sonnenschutz (EnerCalC)

3.2.3 Dämmstandard und Heizwärmebedarf

In Abbildung 31 werden die Auswirkungen unterschiedlicher Aktivierungsparameter für einen beweglichen Sonnenschutz mit einem Gesamt-Energiedurchlassgrad $g_{tot} = 0,10$ in Abhängigkeit des Dämmstandards (H_T') aufgezeigt. Es wird bei gleichem Dämmstandard einmal der Heizwärmebedarf mit und einmal ohne Aktivierung eines beweglichen Sonnenschutzes nach den Randbedingungen der DIN V 18599-2 und den in Abschnitt 2.3 ermittelten Faktoren berechnet. Für jedes weitere Balkenpaar verschlechtert sich der Dämmstandard des Berechnungsbereichs als Funktion des mittleren U-Wertes (H_T') bis zu einem Maximum von $2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

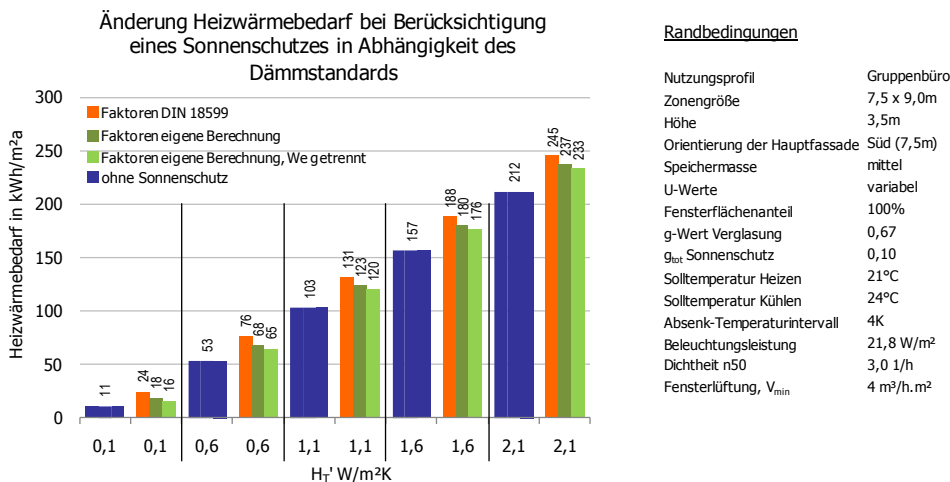


Abbildung 31: Änderung des Heizwärmebedarfs bei Aktivierung eines Sonnenschutzes und Variation des Transmissionsleitwertes H_T' nach DIN V 18599 mit a-Parametern nach [2] und nach Abschnitt 2.3

Die absolute Änderung des Heizwärmebedarfs gegenüber der Variante „ohne Sonnenschutz“ ist in Abbildung 32 für unterschiedliche Grundbedingungen dargestellt. Mit schlechter werdendem Dämmstandard steigt auch die absolute Änderung im Heizwärmebedarf, wobei es sich um einen Sättigungsverlauf handelt.

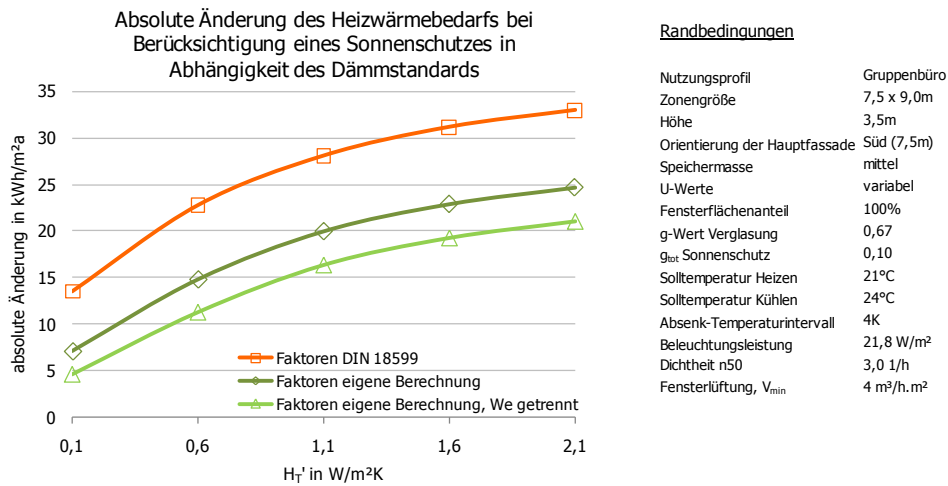


Abbildung 32: Absolute Änderung des Heizwärmebedarfs bei Aktivierung eines Sonnenschutzes und Variation des Transmissionsleitwertes H_T' nach DIN V 18599 mit a-Parametern nach [2] und nach Abschnitt 2.3

Vergleicht man die relative Änderung des Heizwärmebedarfs, so kann mit schlechterem Dämmstandard eine Verringerung der relativen Änderung festgestellt werden. Mit steigendem H_T' sinkt der Anteil der solaren Gewinne, die fest durch Fensterfläche, Orientierung und Energiedurchlass definiert sind, an dem Anteil der Deckung der Transmissions- und Lüftungsverluste.

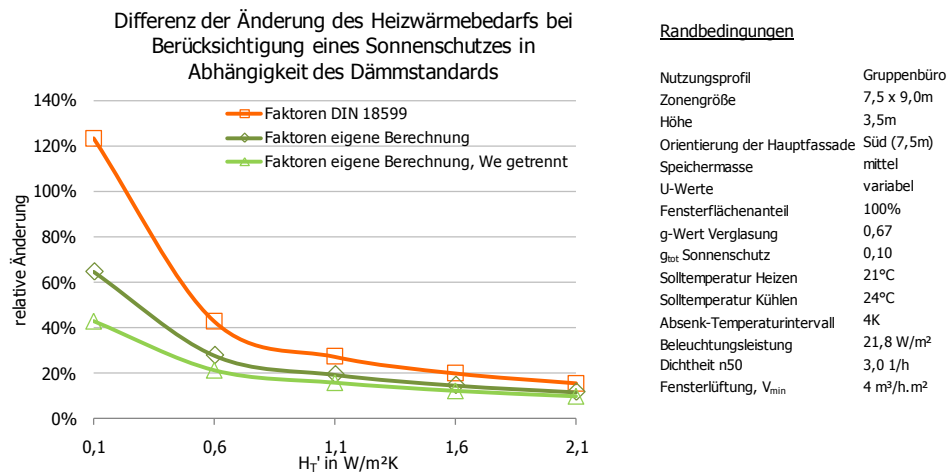


Abbildung 33: Relative Änderung des Heizwärmebedarfs bei Aktivierung eines Sonnenschutzes und Variation des Transmissionsleitwertes H_T' nach DIN V 18599 mit a-Parametern nach [2] und nach Abschnitt 2.3

Für Gebäude mit gutem Dämmstandard, also für Gebäude mit geringem Heizwärmebedarf, sind die relativen Auswirkungen prägnant. Die absolute Änderung ist zwar geringer, da der Ausnutzungsgrad der solaren Gewinne mit besserem Dämmstandard sinkt. Der Heizwärmebedarf kann aber durchaus deutlich überschätzt werden. Mittlere U-Werte von Neubauten liegen etwa zwischen 0,2 und 0,6 W/m^2K . Es wird deutlich, dass dies insbesondere bei Neubauten zu einer Überschätzung des Heizwärmebedarfs führen kann.

3.2.4 Ergebnisinterpretation von Daylight 1-2-3, ParaSol und EnerCalc

Einige Berechnungsgrundlagen, die für die thermische Energiebilanzierung wesentlich sind, können in der Software Daylight 1-2-3 nicht eingesehen oder parametrisiert werden. Dies betrifft Parameter, wie Luftwechsel, Lüftungsanlage (WRG), Infiltrationsluftwechsel, Belegung der Räume etc., welche für die Berechnung des Heizwärme- und Kühlenergiebedarfs wesentlich sind. Es können lediglich die Transmissionsverluste durch eine Modifizierung der U-Werte für Wand und Dach direkt beeinflusst werden. Die berechneten absoluten Energiebedarfe für Beleuchtungsstrom, Kälteenergie und Heizwärme können demnach nicht direkt mit den Ergebnissen nach DIN 18599 verglichen werden, selbst wenn ein gleiches geometrisches Raummodell verwendet wird. Darüber hinaus liegen der Berechnung prinzipiell auch andere Verfahren, Methoden und Rechengänge zugrunde, was Auswirkungen auf die berechneten Energiebedarfe hat. Die Software Daylight 1-2-3 liefert tendenziell höhere Energiebedarfe. Vergleicht man jedoch die absoluten und relativen Änderungen im Heizwärmebedarf, die sich bei Anwendung unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme ergeben, so sind die Ergebnisse durchaus miteinander vergleichbar.

Der Heizwärmebedarf des Büroraumes ohne Sonnenschutz wird mit Daylight 1-2-3 mit 101 kWh/(m²a) berechnet (vgl. Abbildung 23). Der in Abbildung 31 dargestellte Heizwärmebedarf nach DIN V 18599 wird, bei einem mittleren U-Wert (H_T') der Gebäudehülle von 1,1 W/(m²K), mit 103 kWh/(m²a) berechnet. Berücksichtigt man ein Sonnenschutzsystem nach den in DIN V 18599-2 angegebenen a-Parametern, erhöht sich der Heizwärmebedarf um etwa 28 kWh/(m²a). Setzt man die in Abschnitt 2.3 berechneten a-Parameter in die Bilanzgleichungen ein, wird ein Mehrbedarf von etwa 20 kWh/(m²a) berechnet; bei Anwendung der Wochenendkorrektur ein Mehrbedarf von 17 kWh/(m²a). Mit Daylight 1-2-3 ergibt sich, bei Berücksichtigung eines Sonnenschutzes, ein Mehrbedarf von etwa 16 kWh/(m²a). Dieses Ergebnis deckt sich gut mit den Ergebnissen, die sich bei Verwendung der in Abschnitt 2.3 berechneten a-Parameter ergeben.

Bei Verwendung der Software ParaSol können deutlich mehr Einflussparameter für die Simulation berücksichtigt und eingestellt werden. Die Ergebnisse des Heizwärmebedarfs ohne Berücksichtigung von Sonnenschutzmaßnahmen stimmen für die analysierten Raumtypen „Klassenraum“ und „Büro“ gut mit den Berechnungen nach DIN V 18599 überein. Für den Klassenraum berechnet ParaSol einen spezifischen Heizwärmebedarf von 73 kWh/(m²a), nach DIN V 18599 ergeben sich 75 kWh/(m²a). Bei Berücksichtigung des Sonnenschutzes erhöht sich der Heizwärmebedarf bei Anwendung von ParaSol auf 88 kWh/(m²a), mit den a-Faktoren nach DIN V 18599-2 werden 100 kWh/(m²a) und 92 kWh/m² mit den a-Faktoren nach Abschnitt 2.3 ermittelt. Durch die Wochenendkorrektur reduziert sich der Heizwärmebedarf auf etwa 87 kWh/(m²a). Für den Büroraum zeigt sich ein ähnliches Bild. ParaSol berechnet einen spezifischen Heizwärmebedarf von 58 kWh/(m²a), nach DIN V 18599 beträgt der spezifische Heizwärmebedarf 62 kWh/(m²a). Durch Berücksichtigung eines Sonnenschutzes erhöht sich der Heizwärmebedarf bei Anwendung von ParaSol auf 71 kWh/(m²a). Nach DIN V 18599 werden mit den a-Faktoren nach Teil 2 86 kWh/(m²a) und 78 kWh/(m²a) mit den a-Faktoren nach

Abschnitt 2.3 ermittelt. Setzt man die a-Faktoren mit Wochenendkorrektur an, ergibt sich ein Heizwärmebedarf von 74 kWh/(m²a).

Die relative Änderung des Heizwärmebedarfs der Vergleichsräume „Klassenraum“ und „Bürozone“ mit den drei Berechnungsprogrammen ist bei Variation von Sonnen- und Blendschutz in Abbildung 34 dargestellt. Die in DIN V 18599-2 verwendeten a-Faktoren zur Berücksichtigung der Aktivierung von beweglichen Sonnenschutzvorrichtungen führen zu höheren Heizwärmebedarfen. Die relative Änderung des Heizwärmebedarfs unter Berücksichtigung der in Abschnitt 2.3 berechneten Zeitanteile zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem in Daylight 1-2-3 hinterlegten Berechnungsmodell Lightswitch [37] und mit dem in ParaSol verwendetem Einstrahlungskriterium.

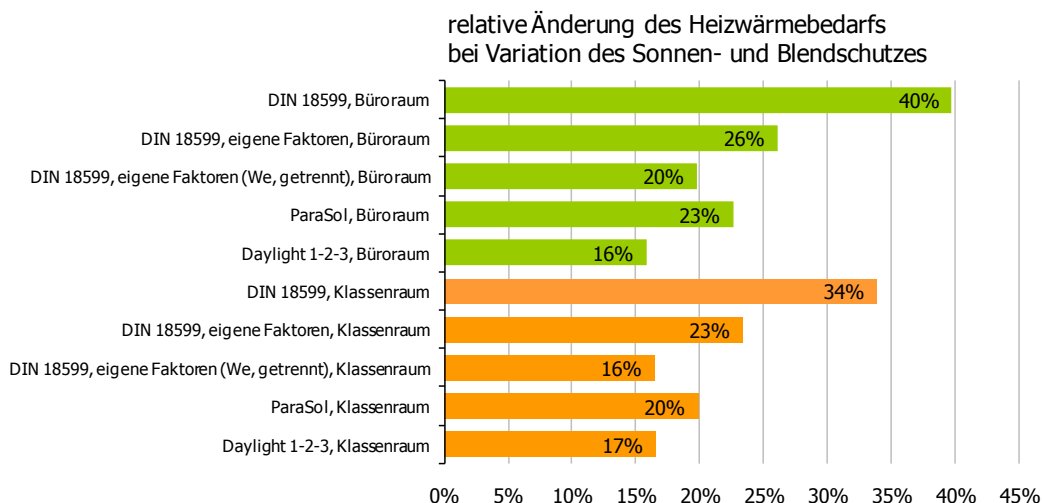


Abbildung 34: Abweichung des berechneten Heizwärmebedarfs bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die jeweilige Basisvariante ohne Sonnenschutz der Software (Daylight 1-2-3, ParaSol und EnerCalc)

3.3 Primärenergetische Auswirkungen

Die Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Nichtwohngebäuden erfolgt nach EnEV 2007 für den Primärenergiebedarf und den mittleren Wärmetransferkoeffizienten H_T' . Die Auswirkungen der Aktivierungszeiten von beweglichen Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf wurden in Abschnitt 3.2 analysiert. Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen unterschiedlicher Aktivierungszeiten (vgl. Abschnitt 2.3) auf den Primärenergiebedarf und dementsprechend auch auf die Gesamtenergieeffizienz analysiert und bewertet. Hierfür wird der in Abschnitt 3.2.2 analysierte Zonentyp als Berechnungsbasis genutzt und mit EnerCalc nach DIN V 18599 primärenergetisch bewertet. Da die Normteile zur Berechnung der Anlagentechnik derzeit nicht vollständig im Rechenwerkzeug EnerCalc umgesetzt sind, werden zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs folgende Annahmen nach Tabelle 9 getroffen.

Tabelle 9: Parameter zur Berechnung des End- und Primärenergiebedarfs in EnerCalc

Übergabe und Verteilverluste für Heizung ¹⁰	$1,20 \times Q_h$ (Annahme: Verteilung im unbeheizten Bereich, Übergabe Heizkörper mit 2K-Thermostatventilen)
Übergabe- und Verteilverluste für Kühlung ¹⁰	$1,10 \times Q_c$ (Annahme: Übergabe Kühldecke)
Jahresnutzungsgrad für Heizwärmeerzeugung	80 % (Annahme: Standardkessel)
Anlagenaufwandszahl für Kälteproduktion	0,33 (Annahme: Kompressionskältemaschine, COP 3,0)
Primärenergiefaktor für Strom	2,7 (nicht regenerativer Anteil, nach DIN V 18599)
Primärenergiefaktor für Erdgas	1,1 (nicht regenerativer Anteil, nach DIN V 18599)

Um die Plausibilität der Annahmen in Tabelle 9 zu überprüfen, wird die gleiche Zone mit dem Programm „Energiepass Helena“ - DIN V 18599¹¹ berechnet und den Ergebnissen von EnerCalc gegenübergestellt.

„Energiepass Helena“ nutzt den Rechenkern des IBP. Die Ergebnisse werden auf Nutz- und Primärenergieebene verglichen. Anschließend werden die nach Abschnitt 2.3 berechneten a-Parameter für die Vergleichsrechnung in EnerCalc verwendet.

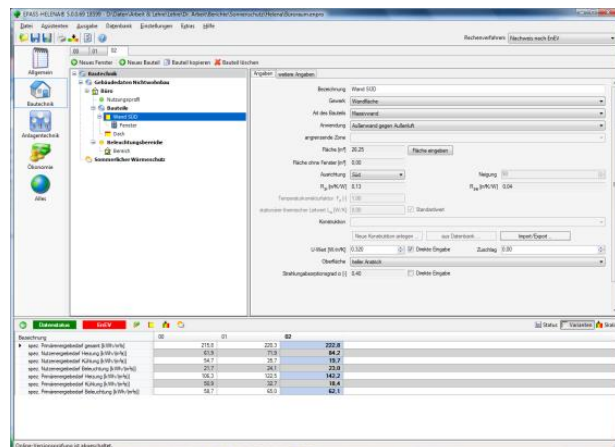


Abbildung 35: Zonenmodell der Software „Helena“

¹⁰ Die pauschalen Werte zur einfachen Abschätzung der Übergabe- und Verteilverluste gelten nur für den hier betrachteten Beispielraum und sind nicht generell übertragbar.

¹¹ Genutzte Softwareversion: 5.0.0.69, IBP-Kernel Version 2.1.5.0

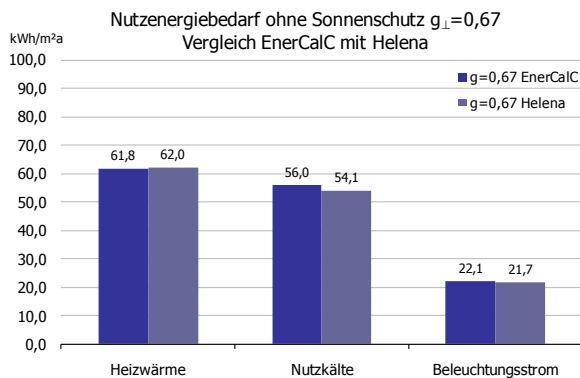


Abbildung 36: Vergleich des berechneten Nutzenergiebedarfs von EnerCalC und „Helena“, ohne Sonnenschutz

Der mit der Software „Energiepass Helena“ berechnete Nutzenergiebedarf für Heizwärme liegt um etwa $0,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ über dem berechneten von EnerCalC. Beim Nutzenergiebedarf für Kühlung und Beleuchtungsstrom ist es umgekehrt. Der Strombedarf für Beleuchtung hat in der Energiebilanzierung gleichermaßen einen Einfluss auf den Heizwärme- und Kältebedarf. Der mit „Helena“ etwas geringer berechnete Beleuchtungsstrombedarf führt zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs; gleichzeitig reduziert sich dadurch der Energiebedarf für Kühlung.

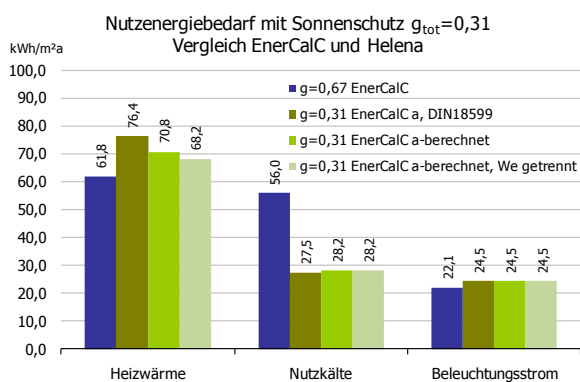


Abbildung 37: Vergleich des berechneten Nutzenergiebedarfs, mit Sonnenschutz $g_{tot} = 0,31$

Die Ausstattung der Zone mit einem Sonnenschutz mit $g_{tot} = 0,31$ bewirkt eine Erhöhung des Heizwärmebedarfs nach DIN 18599-Berechnung um $14,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. EnerCalC und „Helena“ berechnen den gleichen Anstieg (hier nicht dargestellt). Bei Berücksichtigung der berechneten a-Parameter nach Abschnitt 2.3 fällt der Mehrbedarf mit $9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und bei Anwendung der Wochenendkorrektur mit $6,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ geringer aus.

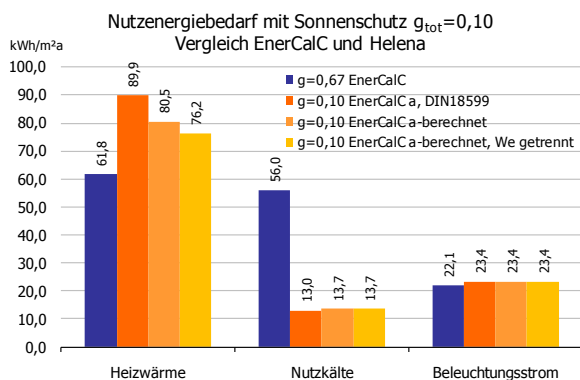


Abbildung 38: Vergleich des berechneten Nutzenergiebedarfs, mit Sonnenschutz $g_{tot} = 0,10$

Durch den Einsatz eines Sonnenschutzsystems mit $g_{tot} = 0,10$ erhöht sich der Heizwärmebedarf nach DIN 18599-Berechnung um $28,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. EnerCalC und „Helena“ berechnen auch hier den gleichen Anstieg (nicht dargestellt). Bei Berücksichtigung der berechneten a-Parameter reduziert sich der Mehrbedarf ohne Wochenendkorrektur auf $18,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und mit Wochenendkorrektur auf $14,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

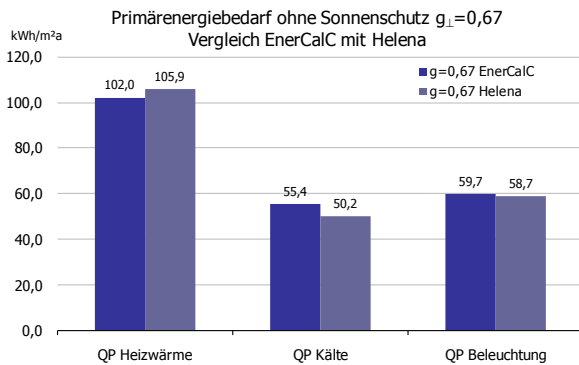


Abbildung 39: Vergleich des berechneten Primärenergiebedarfs für Heizen von EnerCalC und „Helena“, ohne Sonnenschutz

Unter Berücksichtigung der Randparameter nach Tabelle 9 werden Primärenergiebedarfe ermittelt. Die Differenzen in der Höhe liegen auf gleichem Niveau wie bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs gemäß Abbildung 36. Die Plausibilität der verwendeten Randparameter zur Berechnung von End- und Primärenergiebedarf bestätigt sich.

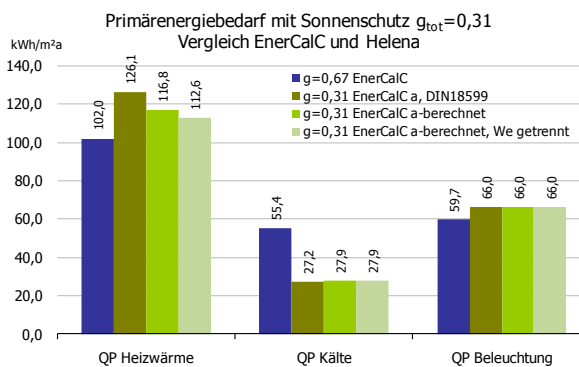


Abbildung 40: Vergleich des berechneten Primärenergiebedarfs für Heizen, mit Sonnenschutz $g_{tot} = 0,31$

Die Ausstattung der Zone mit einem Sonnenschutz mit $g_{tot} = 0,31$, bewirkt eine Erhöhung des Primärenergiebedarfs für Heizwärme nach DIN-18599 Berechnung um 24,1 kWh/(m²a). Werden die a-Parameter aus Abschnitt 2.3 eingesetzt, reduziert sich der Mehrbedarf auf 14,8 kWh/(m²a) und bei Berücksichtigung der Wochenendkorrektur auf 10,6 kWh/(m²a).

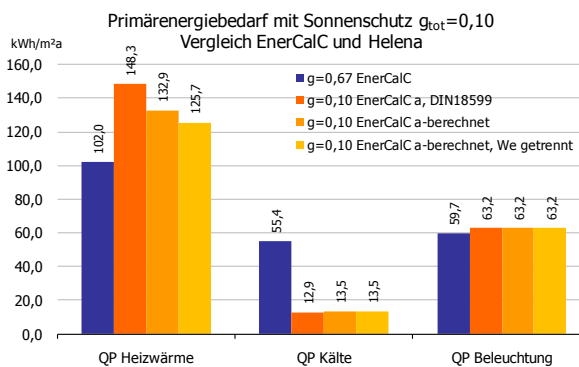


Abbildung 41: Vergleich des berechneten Primärenergiebedarfs für Heizen, mit Sonnenschutz $g_{tot} = 0,10$

Wird ein Sonnenschutzsystems mit $g_{tot} =$ von 0,10 eingesetzt, erhöht sich der Primärenergiebedarf für Heizwärme nach DIN 18599-Berechnung um 46,3 kWh/(m²a). Auch hier führt die Anwendung der a-Parameter aus Abschnitt 2.3 zu einer Reduzierung des Primärenergiebedarfs. Der Mehrbedarf beträgt bei Berücksichtigung der a-Faktoren aus Abschnitt 2.3 rund 31 kWh/(m²a). Durch Anwendung der Wochenendkorrektur reduziert sich der Mehrbedarf auf 23,7 kWh/(m²a).

In Abbildung 42 wird der Einfluss unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme und a-Parameter auf den Gesamt-Primärenergiebedarf aufgezeigt. Bei Anwendung eines beweglichen Sonnenschutzes in einer südorientierten und gekühlten Bürozone kann mit effizienterem Sonnenschutz eine Erhöhung des Primärenergiekennwertes festgestellt werden. Setzt man die Faktoren nach Abschnitt 2.3 ein, führen die höheren solaren Gewinne in der Heizperiode insgesamt zu einer Reduktion des Gesamt-Primärenergiebedarfs. Hierbei steigt die Reduktion mit effizienterem Sonnenschutz. Nach DIN V 18599, Teil 2 ist für die betrachtete Zone und für die Südorientierung Gegenteiliges der Fall. Mit effizienterem Sonnenschutz steigt der Primärenergiebedarf an. Bei anderen Orientierungen oder anderen Randbedingungen tritt dieses Phänomen nicht in dieser Ausprägung auf.

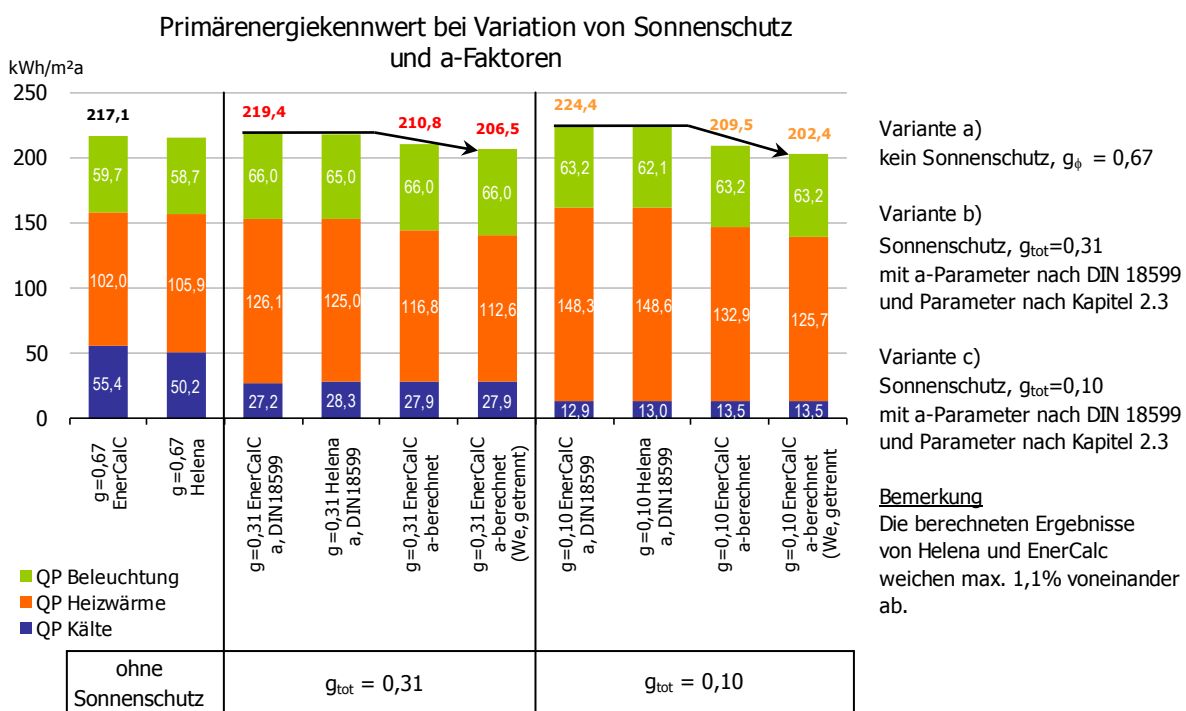


Abbildung 42: Auswirkungen auf den Primärenergiekennwert bei Variation von Sonnenschutz und a-Parametern

Ein gekühlter Raum stellt sicherlich nicht den Worst-Case dar, da bei der primärenergetischen Gesamtbewertung einem höher bilanzierten Heizwärmebedarf im Winter ein reduzierter Kühlenergiebedarf im Sommer entgegenwirkt. Die Auswirkungen von effizienten Sonnenschutzmaßnahmen bei nicht gekühlten Gebäuden sind auf Nutzenergie- und Primärenergieebene höher zu bewerten.

4 Auswertung

Die berechneten Faktoren für relative Aktivierungszeiten beweglicher Sonnenschutzsysteme nach Abschnitt 2.3 liegen im Winter, insbesondere bei südorientierten Fassaden, etwa um 35 bis 50 % und im Sommer um knapp 1 % unter den in [2] angegebenen Aktivierungsparametern. Dies führt dazu, dass sich für die Sommerbilanz annähernd gleiche wirksame Gesamtenergiedurchlassgrade ergeben, was keine nennenswerten Auswirkungen auf die Höhe des berechneten Heizwärme-, Kühlenergie- und Primärenergiebedarfs hat. Im Winter hingegen werden mit den nach

Abschnitt 2.3 ermittelten Faktoren, insbesondere für die Südorientierung, höhere wirksame Energiedurchlassgrade berechnet. Infolgedessen reduziert sich der bilanzierte Heizwärmebedarf, da sich der Anteil nutzbarer solarer Gewinne erhöht. Die Effekte auf den Kühlenergiebedarf innerhalb der Winterperiode sind gering. Primärenergetisch sind die Auswirkungen bei ungekühlten Gebäuden tendenziell größer als bei gekühlten Gebäuden und ebenfalls abhängig vom eingesetzten System bzw. vom verwendeten Energieträger zur Wärmeerzeugung.

Vergleicht man die berechneten Einstrahlungszeitanteile oberhalb der Aktivierungsschwelle, so ist auch in der Winterperiode mit geschlossenen Sonnenschutzsystemen zu rechnen, die auch als Blendschutz eingesetzt werden. Der nach Abschnitt 2.3 berechnete Zeitanteil liegt bei Südfassaden bei etwa 30 % der Nutzzeit (Büronutzung). Korrigiert mit dem Strahlungsaufkommen und unter Berücksichtigung des verwendeten Nutzungsmodells ergibt sich ein Aktivierungsparameter von 0,48. Die in DIN V 18599 ausgewiesenen Aktivierungsparameter für bewegliche Sonnenschutzsysteme (0,71 bei manueller Betätigung oder Zeitsteuerung bzw. 0,77 bei strahlungsabhängiger Steuerung) liegen darüber. Hierdurch wird im Winterzeitraum der Heizwärmebedarf durch die permanente Reduzierung der solaren Gewinne höher bilanziert. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf stark verglaste Gebäude, da hier das Verhältnis zwischen spezifischen Transmissionsverlusten und solaren Gewinnen aus transparenten Flächen am meisten beeinflusst wird. Je besser der heizwärmerelevante Energiestandard ist (Isolation, Luftdichtheit etc.), desto höher werden diese Auswirkungen relativ spürbar, da der mögliche Anteil der solaren Gewinne zur Deckung der Transmissions- und Lüftungsverluste mit besserem Dämmstandard steigt. Die Auswirkungen sind bei südorientierten Zonen am stärksten.

In Abschnitt 3.2 wurden Vergleichsrechnungen für zwei unterschiedliche Zonentypen durchgeführt. Mit der Software Daylight 1-2-3 konnte, unter Berücksichtigung von Sonnenschutzmaßnahmen, durchschnittlich ein Mehrbedarf an Heizwärme von etwa 16 bis 17 % ermittelt werden. Rechnungen mit den Randbedingungen der DIN V 18599-2 ergaben einen Mehrbedarf an Heizwärme im Winter zwischen 34 und 40 %. Mit den in Abschnitt 2.3 berechneten Faktoren für bewegliche Sonnenschutzsysteme bilanziert sich der Heizwärmebedarf (bei Verwendung des gleichen Sonnenschutzes) zwischen 23 und 26 %. Unter Berücksichtigung der Wochenendbereinigung ergeben sich Werte zwischen 16 und 20 %, die sich gut mit den Ergebnissen aus Daylight 1-2-3 decken. Mit der Software ParaSol konnten ähnliche Ausprägungen berechnet werden. Der Heizwärmebedarf steigt in den betrachteten Zonen um etwa 20 bis 23 %, wenn Sonnenschutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

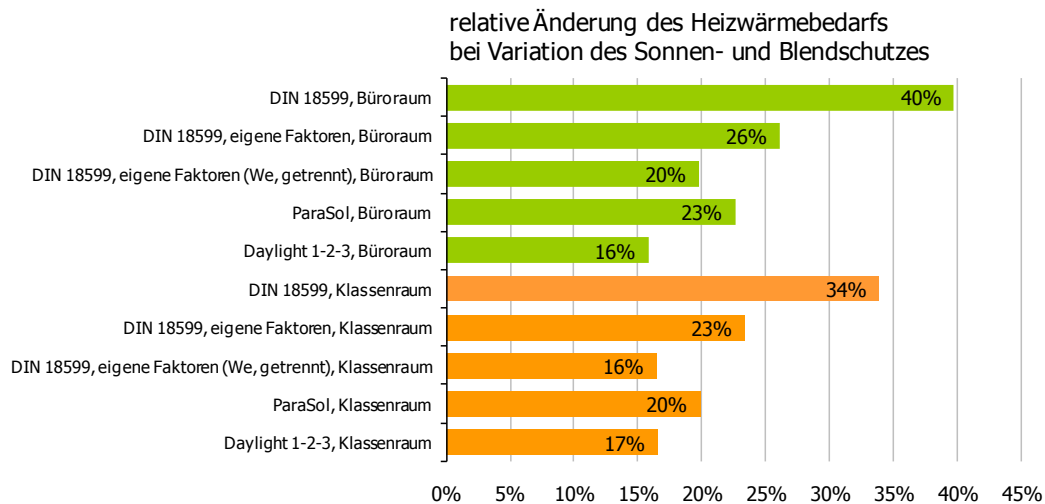


Abbildung 43: Abweichung des berechneten Heizwärmebedarfs bei unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen in Bezug auf die jeweilige Basisvariante ohne Sonnenschutz der Software (Daylight 1-2-3, ParaSol und EnerCalc)

Bei ambitionierten Energiekonzepten können die Funktionen Blendschutz und Sonnenschutz getrennt werden, sodass zwei unterschiedliche Systeme, beispielsweise außen liegender Sonnenschutz und innen liegender Blendschutz, zum Einsatz kommen. Ein solches Energiekonzept weist energetisch wesentliche Vorteile auf, da die solare Einstrahlung im Winter durch einen innen liegenden Blendschutz über einen größeren Zeitraum zu Heizzwecken genutzt werden kann. Im Rahmen des Projektes „Solar:Monitor“ wurde diese nicht durchgeführte Trennung bei energetisch hochwertigen Gebäudekonzepten bemängelt [37]. Durch Einführung der Rechenvorschrift DIN V 18599 ist, trotz eines ganzheitlichen und sehr modernen Bilanzierungsansatzes, diese Trennung noch nicht möglich. Diesem konzeptuellen Zusammenhang zwischen gewonnenen solaren Energien im Winter, einem sicheren Blendschutz und einem ausreichendem Sonnenschutz im Sommer kann mit der Berechnungsvorschrift nicht entsprochen werden.

Tendenziell schneiden automatisch gesteuerte Sonnenschutzsysteme bei klimatisierten Gebäuden primärenergetisch günstiger ab als manuell bediente Systeme. Die in DIN V 18599 angegebenen Aktivierungsparameter für automatische Systeme sind in der Regel größer als die bei manueller Bedienung [2]. Dies hat zur Folge, dass sich der Kühlenergiebedarf aufgrund geringerer wirksamer Energiedurchlassgrade reduziert, was unter Berücksichtigung einer strahlungsabhängigen Automatik auch plausibel erscheint. Der berechnete Heizwärmebedarf für z. B. eine Südorientierung ist verglichen mit Systemen manueller Steuerung höher. Für die Winterperiode werden die effektiven Energiedurchlassgrade auf ähnlichem Niveau wie für die Sommerperiode berechnet. Die Analysen anderer Bewertungsmodelle zu Betriebszeiten von Blend- und Sonnenschutzanlagen (z. B. Lightswitch nach [37] und [29]) zeigen zum Teil differenzierte Ergebnisse. Nach [37] werden bei automatisch betriebenen Sonnenschutzsystemen geringere Zeitanteile geschlossener Systeme angegeben, da im Tagesverlauf – im Gegensatz zu einem manuell bedienbaren System – auch eine Deaktivierung des Sonnenschutzes erfolgt.

Rechnet man nach DIN V 18599, so kann es sich aus primärenergetischen Überlegungen in ungekühlten Gebäuden als günstiger erweisen, einer manuellen Sonnenschutzsteuerung gegenüber einer automatischen den Vorzug zu geben. Obwohl sich automatisch betriebene Systeme prinzipiell besser zur Reduzierung von Übertemperaturen eignen, erfolgt bei manuellen Systemen die Aktivierung oftmals erst dann, wenn Überwärmungen bereits eingetreten sind. Darüber hinaus kann bei ungekühlten und je nach Gebäude und Orientierung auch bei gekühlten Gebäuden aus primärenergetischer Überlegung heraus der Schluss gezogen werden, keinen oder einen ineffizienteren Sonnenschutz vorzusehen. Dem steht zwar die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes für einzelne Zonen nach DIN 4108-6 gegenüber, wenn jedoch nur die Minimalanforderungen erfüllt werden, kann dies durchaus auch zu unbehaglichen Komfortbedingungen führen [20].

In Österreich wird DIN V 18599 – wenn auch in abgewandelter Form – als Grundlage zur energetischen Bewertung von Gebäuden genutzt. Im Leitfaden zur energetischen Bewertung von Gebäuden [37] werden die zeitlichen Aktivierungsfaktoren für bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen nur für den Sommerfall verwendet. Der Winterzeitraum ist ohne den Sonnenschutz zu rechnen. Hierdurch wird in der Winterzeit keine Reduzierung des Heizwärmebedarfs bilanziert – was als zu optimistisch zu bewerten ist, da das Nutzerverhalten in der Winterperiode nicht berücksichtigt wird.

Bei der Berechnung der Aktivierungsparameter von beweglichen Sonnenschutzsystemen wird in der Regel der Bürofall mit Bildschirmarbeitsplätzen zugrunde gelegt. Nach DIN V 18599 sind diese Aktivierungsparameter für alle im Teil 10 angegebenen Nutzungsprofile zu verwenden. Während der Wintermonate wird ein Sonnenschutz, der gleichzeitig auch als Blendschutz dient, aus lichttechnischer Motivation genutzt. Für Büro- oder Bildschirmarbeitsplätze sind die Anforderungen an den Blendschutz tendenziell höher zu bewerten als für viele andere Nutzungen. Die angegebenen Parameter für die Aktivierung von Sonnen- und Blendschutzsystemen müssen demnach immer vor dem Hintergrund der allgemeinen Verwendbarkeit für alle Nutzungen bewertet werden. Für die Berechnung nach DIN V 18599 kann es daher sinnvoll sein, die Nutzungsprofile um eine Blendschutzanforderung zu erweitern, sodass die Nutzung einer Sonnenschutzvorrichtung als Blendschutz für den Winterzeitraum angepasst berücksichtigt werden kann.

Für die vereinfachten Berechnungen kann folgende Tabelle mit Aktivierungsparametern für bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen verwendet werden. Die hier enthaltenen Werte richten sich nach dem Aufkommen stündlicher Strahlungsüberschreitungen für die Sommer- und Winterperiode unter Berücksichtigung der Einstrahlungsintensität und unter Berücksichtigung eines Standardnutzers.

Tabelle 10: relative einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängige Aktivierungsgrade beweglicher Sonnenschutzsysteme¹²

	a-Parameter Sommer	a-Parameter Winter ¹³
Horizont	0,86	0,31 (0,22)
Süden (0°, Azimut)	0,78	0,48 (0,34)
Westen (90°, Azimut)	0,59	0,31 (0,22)
Osten (-90°, Azimut)	0,64	0,26 (0,18)
Norden (180°, Azimut)	0,10	0,00 (0,00)
Südwest (45°, Azimut)	0,71	0,44 (0,31)
Südost (-45°, Azimut)	0,73	0,42 (0,30)
Nordwest (135°, Azimut)	0,35	0,04 (0,03)
Nordost (-135°, Azimut)	0,41	0,04 (0,03)

Im Rahmen der Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden erscheint es ebenso wichtig, die Trennung von Sonnen- und Blendschutz in den Bilanzgleichungen zu berücksichtigen. Dies kann über folgende Erweiterung des Rechenverfahrens erreicht werden.

Wird der Blendschutz unabhängig vom Sonnenschutz realisiert, z. B. durch einen innen liegenden Behang, so ist der Zeitanteil für die Aktivierung des beweglichen Sonnenschutzes im Winter mit a-Parameter = 0 einzusetzen.

Mit dem im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Berechnungswerkzeug können Aktivierungsfaktoren für alle beliebigen Himmelsrichtungen und Randbedingungen bestimmt werden.

¹² Für zwischenorientierte Bereiche (z. B. Südsüdwest etc.) ist der a-Parameter aus den direkt benachbarten Himmelsrichtungen linear zu interpolieren.

¹³ Die Werte in Klammern sind unter Berücksichtigung der Wochenendkorrektur.

5 Literatur

[1]	DIN V 18599-1:2007-02	Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.
[2]	DIN V 18599-2:2007-02	Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.
[3]	DIN V 18599-4:2007-02	Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung.
[4]	DIN V 18599-10:2007-02	Teil 10: Nutzungsbedingungen, Klimadaten.
[5]	Erhorn-Kluttig, Heike / Erhorn, Hans / Gruber, Edelgard	Fraunhofer Institut für Bauphysik, Evaluierung des dena Feldversuchs, Energieausweise für Nichtwohngebäude, IBP-Bericht, WB 128/2005.
[6]	Voss, K. / Löhnert, G. / Herkel, S. / Wagner, A. / Wambsganß, M.	Bürogebäude mit Zukunft, 2., überarbeitete Auflage, Berlin, März 2006.
[7]	Russ, C. / Wilson, H. / de Boer, J. / et al.	Sonnenschutz, Schutz vor Überwärmung und Blendung, Fraunhofer Gesellschaft, Solar Building Innovation Center, SOBIC, Stuttgart: IRB Verlag 2008.
[8]	Rosemann, Alexander / de Boer, Jan / Aydinli, Sirri / Krebs, Peter / Schmitts, Paul, W.	Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für Kunstlichtanlagen, LICHT, H. 3, pp. 216-226, 2006.
[9]	Dahlem, K.-H.	Gebäude und Wärmelasten, ASUE/EOR-Fachtagung, Vortrag: Das richtige Klima im Gebäude – umweltschonende passive und aktive Maßnahmen, Technische Universität Kaiserslautern, 14.02.2006.
[10]	de Boer, Jan / Cornelius, Wolfgang / Wössner, Simon	Ein einfaches Modell zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Räumen mit Dachoberlichtern, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fachverband Lichtkuppel, Lichtband und RWA e. V. (FVLR e. V.), Veröffentlichung in: Gesundheits-Ingenieur 126 (2005) H. 3.
[11]	Ortjohann, E. / J. Voß, J. / M. Gruffke, M.	Messnetz zur flächendeckenden Erfassung der solaren Einstrahlungsverteilung, Universität Paderborn, Abschlussbericht Nr. 254.113.96, Paderborn 2000.
[12]	de Boer, Jan / Erhorn, Hans	Ein einfaches Modell zur Klassifizierung der Tageslichtversorgung von Innenräumen mit vertikalen Fassaden, Veröffentlichung in: Gesundheits-Ingenieur 125 (2004) H.6.
[13]	de Boer, Jan	Tageslichtausbeutung und Kunstlicheinsatz in Verwaltungsbauten mit unterschiedlichen Fassaden, Dissertation am Lehrstuhl für Bauphysik der Universität Stuttgart, 23.11.2004.
[14]	Fraunhofer Institut für Bauphysik	Nutzerhandbuch, Rechenkern zur „DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden, Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“, IBP 18599 Kernel Version 2.0 zur DIN V 18599 Ausgabe 2/2007, 30.07.2007.
[15]	de Boer, Jan/Aydinli, Sirri/Cornelius, Wolfgang/Jakobiak, Roman/Krebs, Peter/ et al.	Ein umfassendes Instrumentarium zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtungszwecke, Talisys - Innovative Tageslichtsysteme. [Online] Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme, 2005. www.talisys.de/pdf/09_DIN_18599_Teil4_Licht_7_05.pdf .
[16]	Häupl, Peter	Bauphysik. Klima, Wärme, Feuchte, Schall. Grundlagen, Anwendungen, Beispiele, Berlin, Ernst und Sohn 2008.

[17]	Nabil, A. Fouad	Bauphysik-Kalender 2007, Schwerpunkt: Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Berlin, Ernst und Sohn 2007.
[18]	EU-Richtlinie	Energy Performance of Buildings. Richtlinie 2002/91/EG, Amtsblatt der EU (2002).
[19]	Knissel, Jens	Methodik zur Erfassung, Beurteilung und Optimierung des Elektrizitätsbedarfs von Gebäuden, Modul 1.3, Parameterstudie Kälte, Darmstadt 2004.
[20]	Dietrich, Udo	Optimierung eines Raumes mithilfe von DIN 18599-4 (Tageslicht), DIN 4108-2 (sommerlicher Wärmeschutz) und weiterführenden Simulationen, Bauphysik, 30. Jahrgang, H. 4, August 2008.
[21]	Reinhart, C. F. / Voss, Karsten	Monitoring manual control of electric lightning and blinds, National Research Council Canada, Lightning Research & technology, v. 35, no. 3, 2993, pp. 243-260.
[22]	Lichtmeß, M.	Validierung des Rechenwerkzeug EnerCalc DIN 18599. Bergische Universität Wuppertal: Bericht im Rahmen der Dissertation, 2008.
[23]	Drück, Harald	Simulation solarthermischer Anlagen, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart, Vorlesungsskript, 2002.
[24]	Rea, M. S.	Window Blind Occlusion: a Pilot Study, Institute for Research in Construction, National Research Council of Canada, Ottawa, Ontario OR6, published in Building & Environment, Vol. 19, No. 2, 1984, pp. 133-137.
[25]	Liu, B. Y. H. / Jordan, R. C.	The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation" in: Solar Energy, Vol. IV, July, 1960, pp. 1-19.
[26]	Perez R. / Steward R. / Seals R. / Guertin T.	The Development and Verification of The Perez Diffuse Radiation Model, Sandia Report SAND88-7030, (Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico, 87185 USA, 1988.
[27]	Duffy, J. A. / Beckmann, W. A.	Solar Engineering of Thermal Processes, second edition, Wiley-Interscience, 1991.
[28]	Remund, Jan	Handbook part II: Theory, Meteornorm Version 6.0, Meteotest, Bern, 2007.
[29]	Voss, Karsten / Reinhart, Christoph	Projekte und Konzepte – Tageslicht- und Beleuchtungskonzepte aus der Praxis, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, 2000.
[30]	OIB-Leitfaden	Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, Version 2.5, Österreichisches Institut für Bautechnik, Oktober 2006.
[31]	Quaschnig, Volker	Simulation der Abschattungsverluste bei solarelektrischen Systemen, 1. Aufl., Berlin: Köster, 1996
[32]	International Energy Agency	Daylight in Buildings, A Source Book on Daylighting Systems and Components, a Report of IEA SHC Task21/ECBS Annex 29, July 2000.
[33]	Kuhn T. / Bühler C. / Platzer, W.	Evaluation of overheating protection with sun-shading systems, Solar Energy Vol. 69 (Suppl.), No. 1-6, pp. 59-74, 2000.
[34]	Hellström, Bengt / Kvist, Hasse / Håkansson, Håkan / Bülow-Hübe, Helena	Description of ParaSol v3.0 and comparison with measurements, Energy and Building Design, LTH, Lund University, P. O. Box 118, SE-221 00 Lund, Sweden, 2006.
[35]	de Boer, Jan	Lichttechnisches und energetisches Verhalten von Fassaden moderner Verwaltungsbauten, Bauphysik 28, Heft 1 und 2, 2006.

[36]	Kuckelkorn, Thomas	Nichtabbildende Konzentratoren für den Sonnenschutz in Gebäuden, Dissertation, Technische Universität München, 2002.
[37]	Reinhart, C. F.	Lightswitch-2002: a model for manual and automated control of electric lighting and blinds, NRCC-4722, Solar Energy, v. 77, no. 1, 2004, pp. 15-28
[38]	David, R. / de Boer, J. / Erhorn, H. et al.	Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten, Bilanzierungsgrundlagen zur DIN V 18599, 2. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009.
[39]	David / Rouvel / Wenning	SANIREV 2, Energetische Bewertung von Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen, Entwicklung eines Bewertungssystems für den Nutzenergiebedarf für klimatisierte Gebäude, FIA, Forschungs-Informations-Austausch, FGK Nr. 121.1 08/06, München 2005.
[40]	DIN EN ISO 13790	DIN EN ISO 13790, Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung (ISO 13790:2008); deutsche Fassung, September 2008.
[41]	Reinhart / Bourgeois / Dubrous	Lightswitch: a model for manual control of lighting and blinds, NRCC-46650, CISBAT 2003, Lausanne, Switzerland.

6 Anhang

6.1 Visualisierung der reinen Strahlungsdaten für eine Südfassade

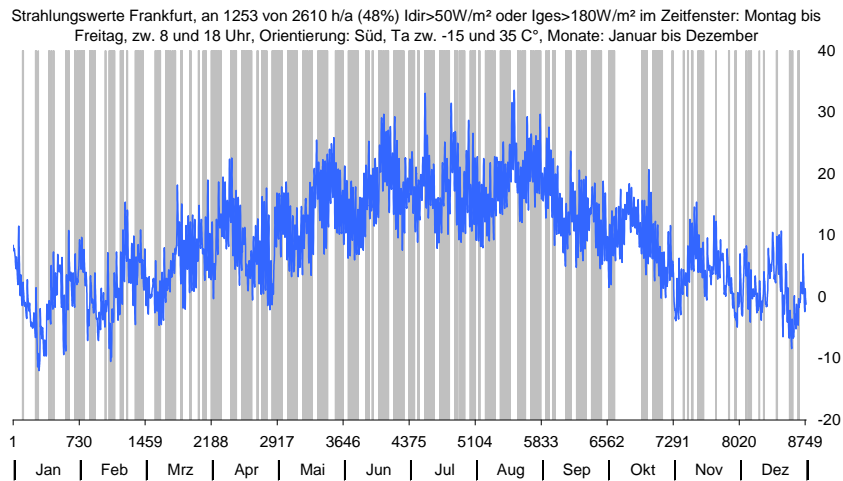


Abbildung 44: Visualisierung: Südausrichtung, innerhalb eines Jahres an Werktagen

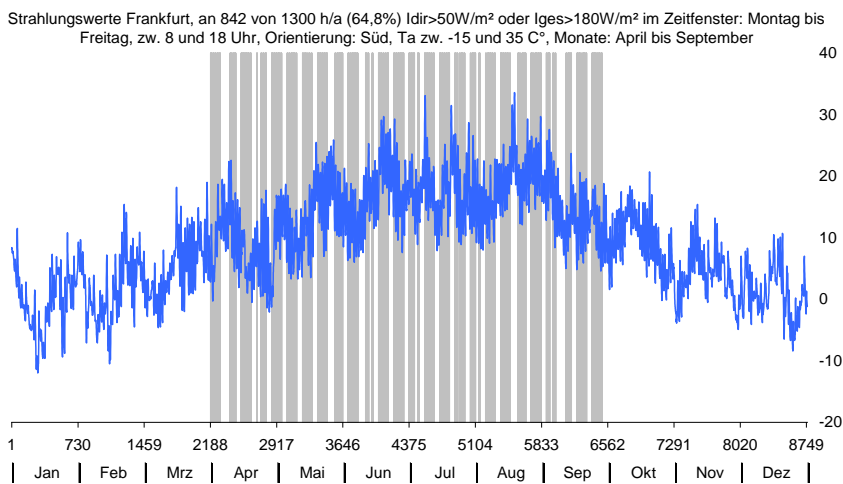


Abbildung 45: Visualisierung: Südausrichtung, innerhalb der Sommerperiode an Werktagen

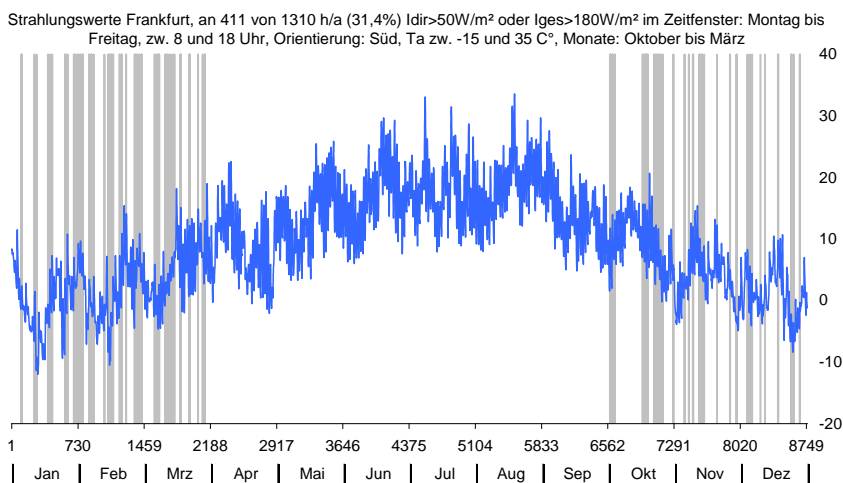


Abbildung 46: Visualisierung: Südausrichtung, innerhalb der Winterperiode an Werktagen

6.2 Monatliche relative einstrahlungs-, intensitäts- und zeitabhängige Aktivierungsgrade von beweglichen Sonnen- und Blendschutzsystemen

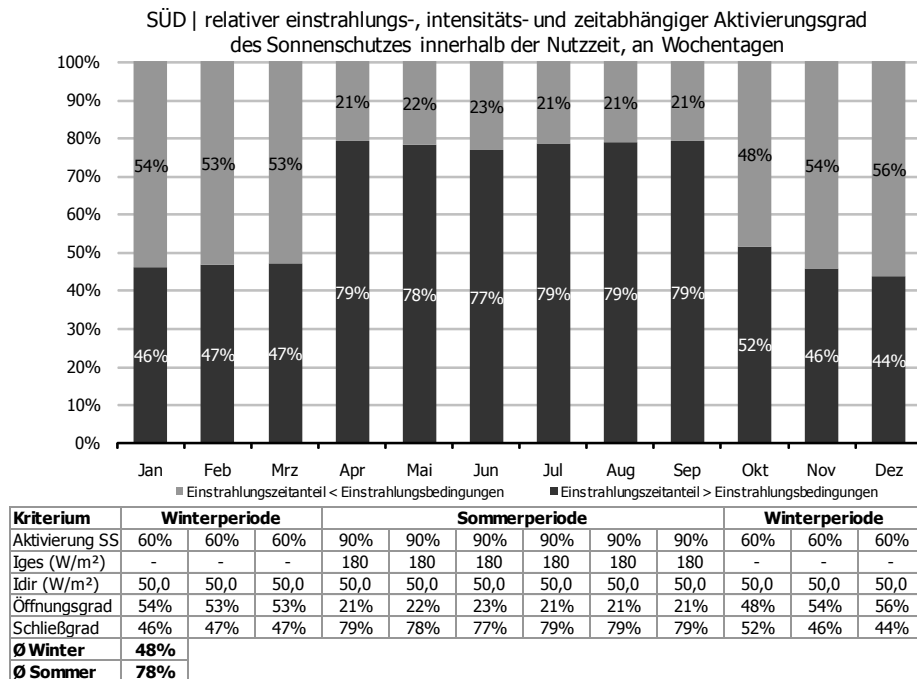


Abbildung 47: Auswertung für die Südorientierung

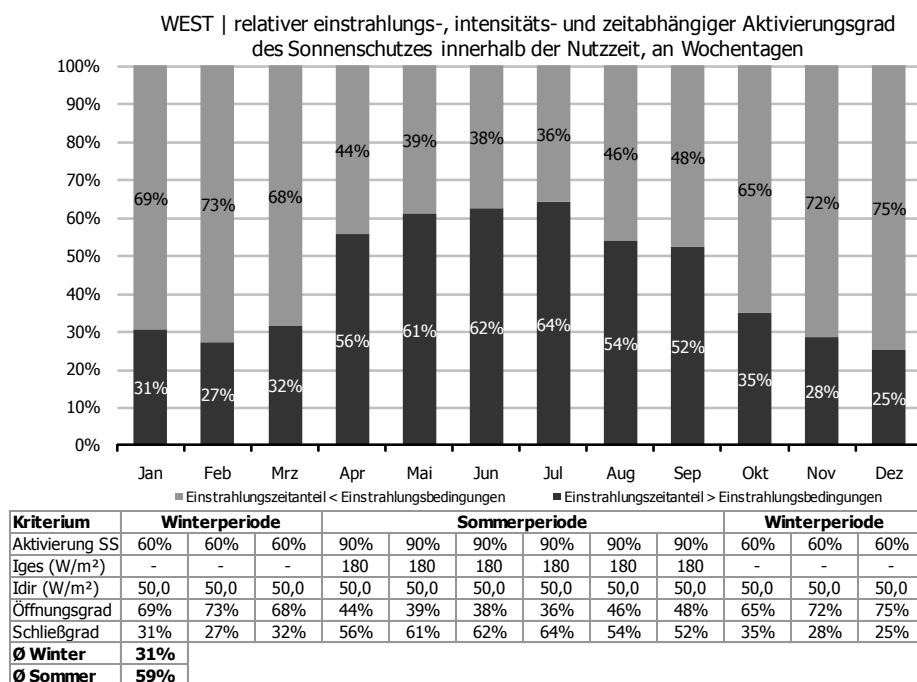


Abbildung 48: Auswertung für die Westorientierung

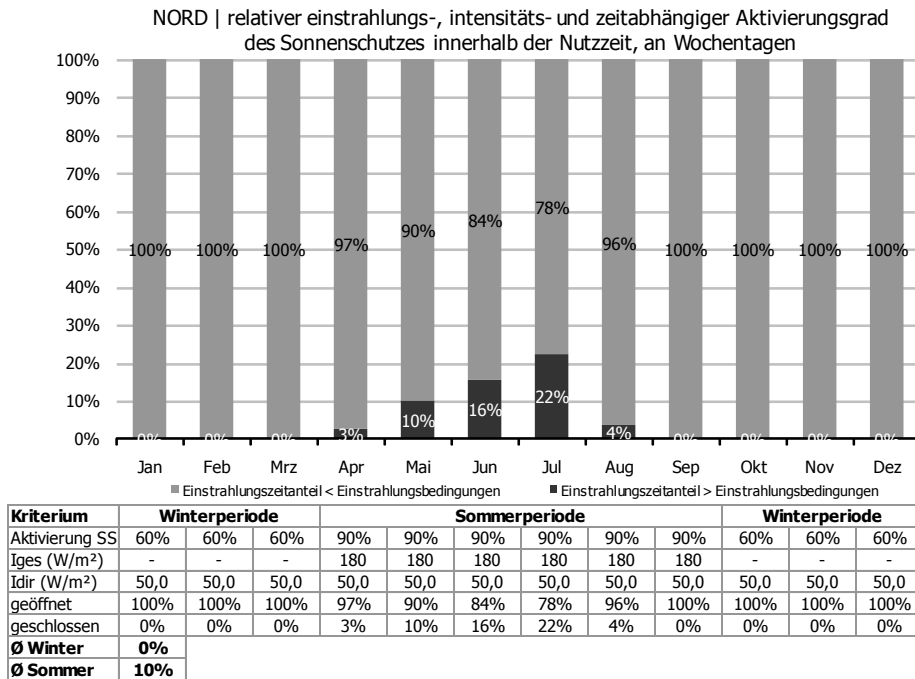


Abbildung 49: Auswertung für die Nordorientierung

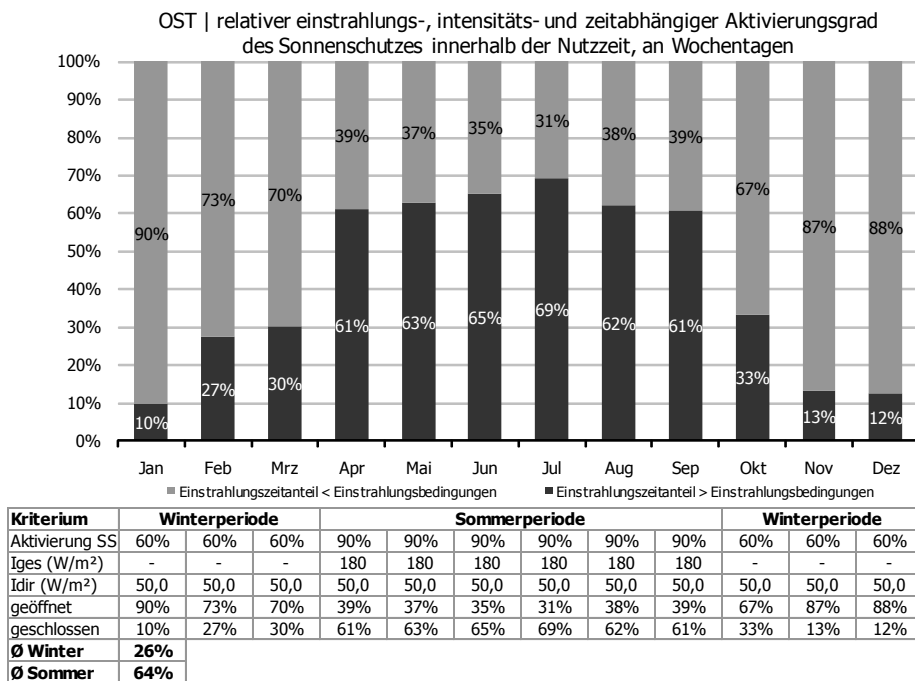


Abbildung 50: Auswertung für die Ostorientierung

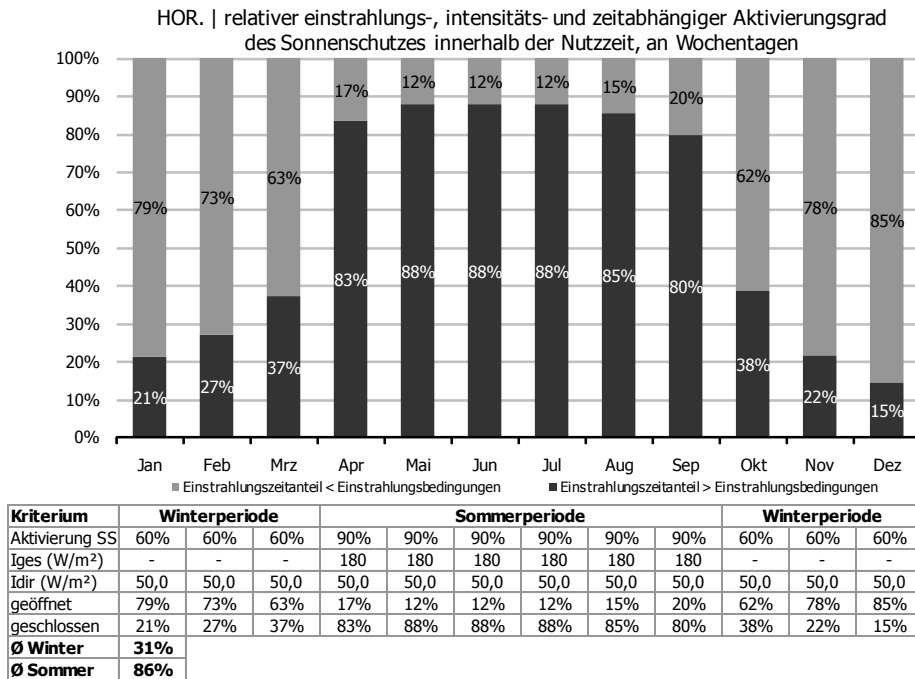
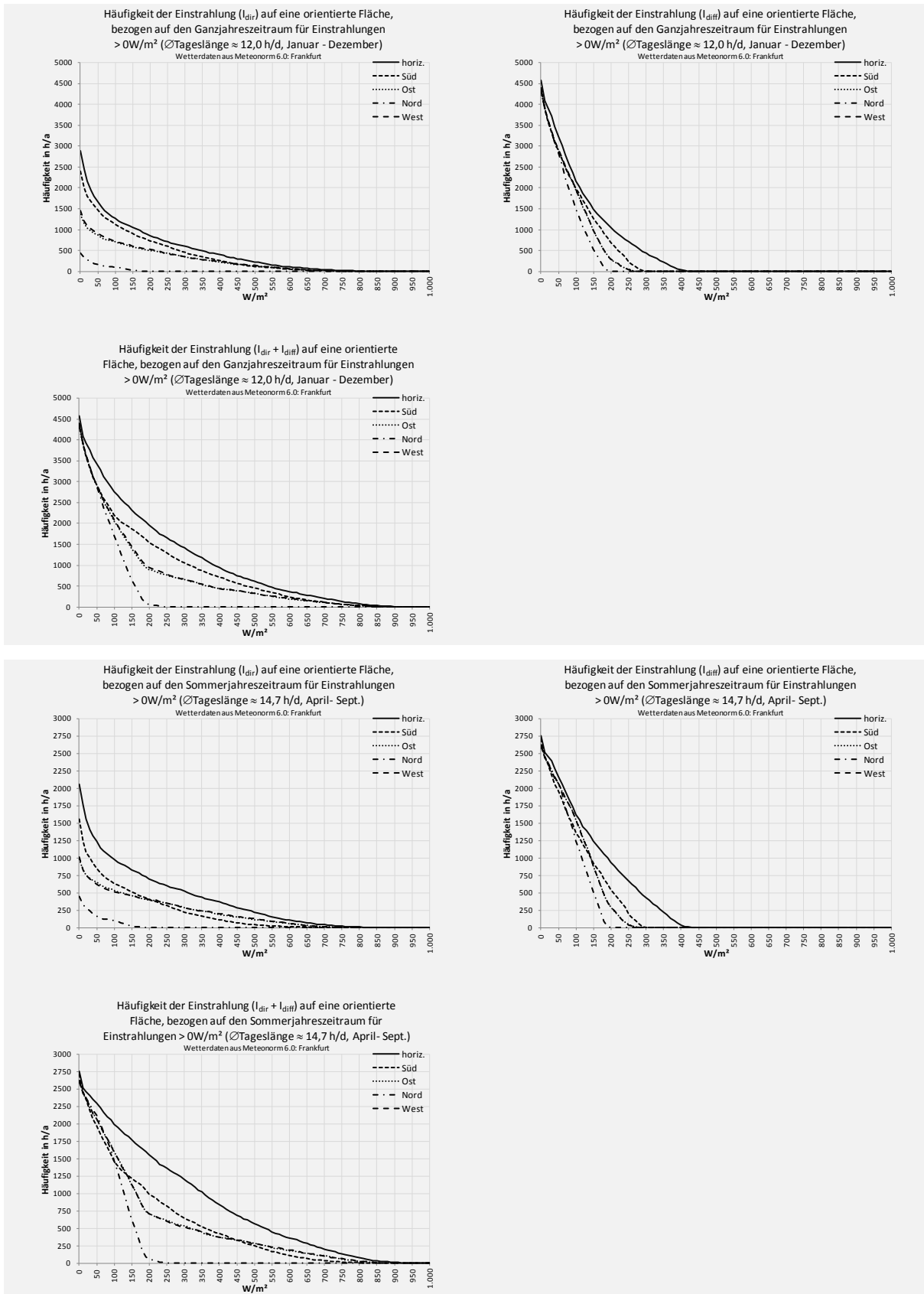


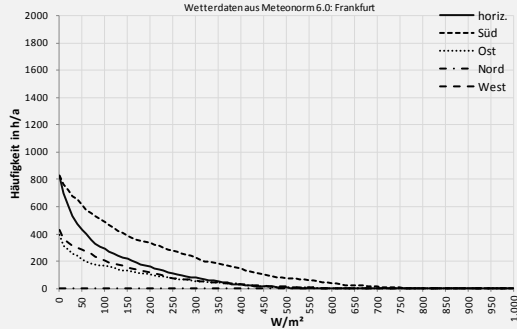
Abbildung 51: Auswertung für die Horizontale

6.3 Auswertung der Strahlungsdaten

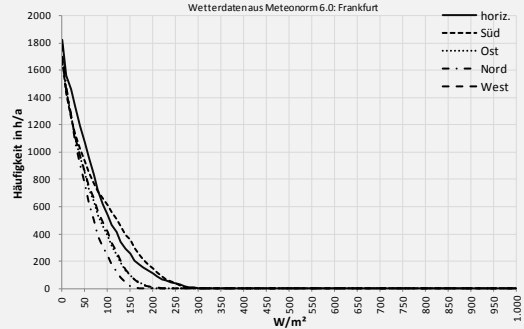


Aktivierung von Blend- und Sonnenschutzsystemen

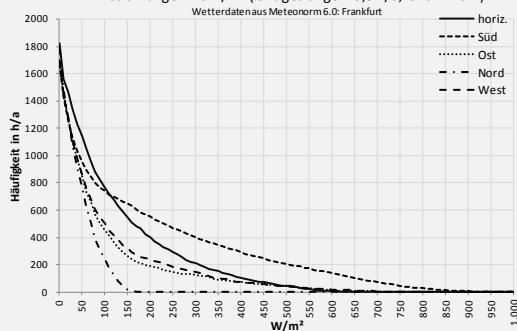
Häufigkeit der Einstrahlung (I_{dir}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)



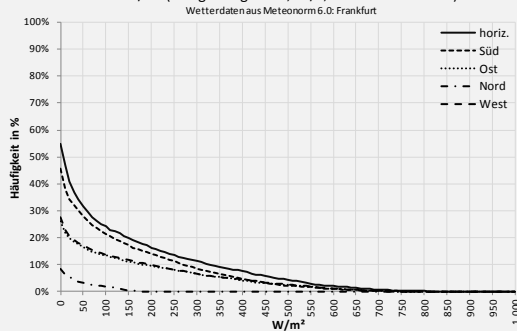
Häufigkeit der Einstrahlung (I_{diff}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)



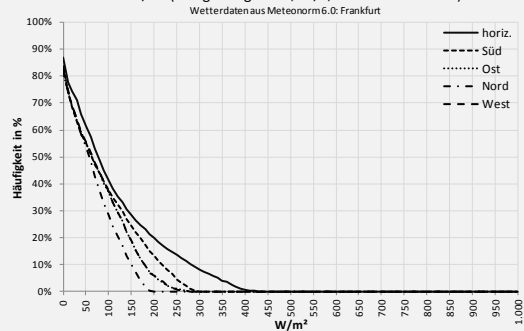
Häufigkeit der Einstrahlung ($I_{dir} + I_{diff}$) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)



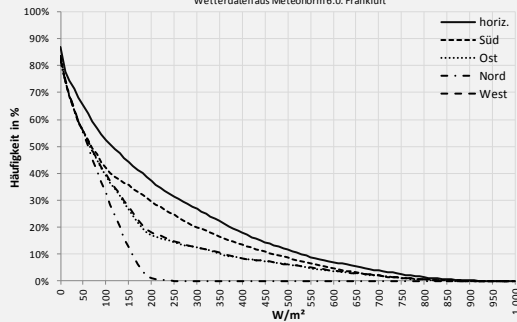
Häufigkeit der Einstrahlung (I_{dir}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Ganzjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 12,0 \text{ h/d}$, Januar - Dezember)



Häufigkeit der Einstrahlung (I_{diff}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Ganzjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 12,0 \text{ h/d}$, Januar - Dezember)

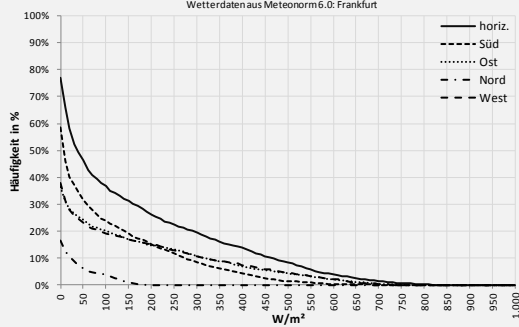


Häufigkeit der Einstrahlung ($I_{dir} + I_{diff}$) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Ganzjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 12,0 \text{ h/d}$, Jan. - Dez.)

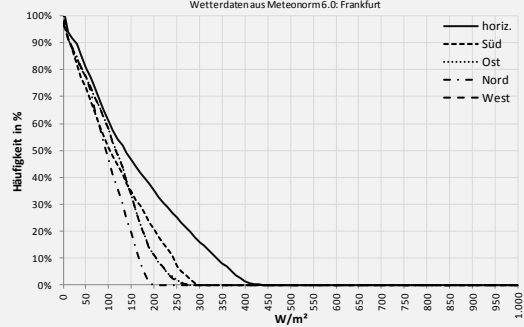


Aktivierung von Blend- und Sonnenschutzsystemen

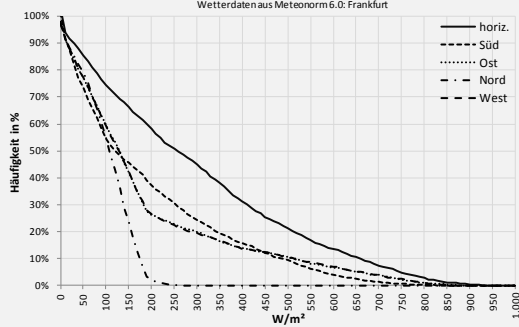
Häufigkeit der Einstrahlung (I_{dir}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Sommerjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 14,7 \text{ h/d}$, April- Sept.)



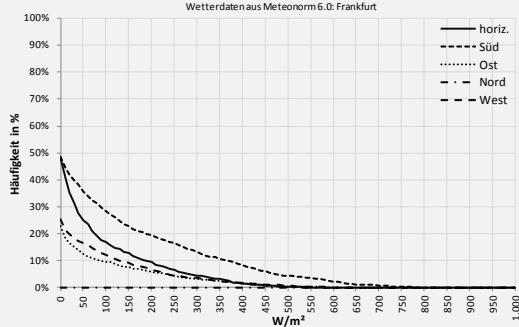
Häufigkeit der Einstrahlung (I_{diff}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Sommerjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 14,7 \text{ h/d}$, April- Sept.)



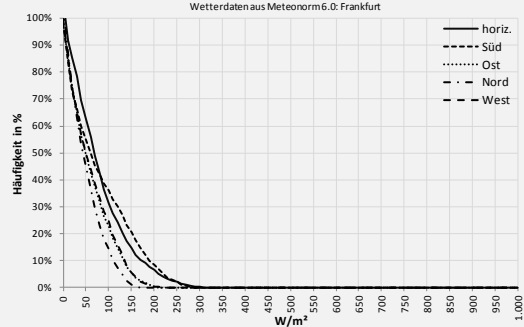
Häufigkeit der Einstrahlung ($I_{dir} + I_{diff}$) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Sommerjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 14,7 \text{ h/d}$, April- Sept.)



Häufigkeit der Einstrahlung (I_{dir}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)



Häufigkeit der Einstrahlung (I_{diff}) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)



Häufigkeit der Einstrahlung ($I_{dir} + I_{diff}$) auf eine orientierte Fläche, bezogen auf den Winterjahreszeitraum für Einstrahlungen $> 0 \text{ W/m}^2$ (\varnothing Tageslänge $\approx 9,3 \text{ h/d}$, Okt. - März)

