

Sonnenschutz für energieeffiziente Gebäude



WIE DYNAMISCHER SONNENSCHUTZ DEN ENERGIEBEDARF VON GEBÄUDEN
SENKT UND DEREN THERMISCHE UND VISUELLE BEHAGLICHKEIT VERBESSERT

ES-SO TECHNISCHES KOMITEE AUSGABE 1, 2012

- Vorsitzender: Hervé LAMY (SNFPSPA)

- Ralf BAUR (ITRS)
- Richard BEUHORRY (SNFPSPA)
- David BUSH (BBSA)
- Jean-Paul CLEMENT (SNFPSPA)
- Alberto DANIELI (ASSITES)
- Yvon DEBIEZ (SNFPSPA)
- Gonzague DUTOO (SNFPSPA)
- Pascal NORDE (SNFPSPA)
- Gabriele TRÖSCHER (ITRS)

TRANSKRIPTION UND ÜBERARBEITUNG AUSGABE 2 DE, 2015

- Hannes GERSTMANN (BVST)

Copyright © ES-SO, 2015

Jede Art der Vervielfältigung dieses Dokumentes oder Teile daraus bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Rechteinhabers.

ES-SO vzw / Vilvoordelaan 192, B-1930 Zaventem, Belgien

E-Mail: info@www.es-so.com / Web: www.es-so.com

Bildnachweise Titelseite:

SCHLOTTERER Sonnenschutz Systeme GmbH

WO&WO Sonnenlichtdesign GmbH & Co KG

HELLA Sonnen- und Wetterschutztechnik GmbH

WAREMA Renkhoff SE

BREMETALL Sonnenschutz GesmbH

ROMA KG

VORWORT

Dieses Handbuch befasst sich mit dynamischen Sonnenschutzsystemen – zum Beispiel Raffstoren, Rollläden und Fassadenmarkisen – und deren Einfluss auf die Energiebilanz sowie den Energieverbrauch von Gebäuden. Da Gebäude fast 40 % der gesamten Primärenergie in Europa verbrauchen, ist die Optimierung der Energieeffizienz in diesem Sektor mittlerweile zu einer zentralen Aufgabe geworden. Das Einsparungspotenzial ist riesig: Gebäude mit einem Energiebedarf von mehr als 250 kWh/m²a sind keine Seltenheit, während moderne Gebäude weit unter 100 kWh/m²a bilanzieren. Viele Länder arbeiten an Rechtsvorschriften zur Begrenzung des maximalen Energiebedarfs auf 50 kWh/m²a bis zum Jahr 2015 oder kurz danach. Zugleich steigt für gut gedämmte und luftdichte Gebäude die Notwendigkeit der Integration passiver und aktiver Haustechnik, um das Ziel des Europäischen Parlaments – alle neuen Gebäude sollten ab 2019 Niedrigstenergiegebäude (Nearly-Zero-Energy-Buildings) sein – zu erreichen.

Der Begriff Sonnenschutz steht für eine Technologie, die das Eindringen von übermäßiger Sonneneinstrahlung begrenzt. Sonnenschutz reicht von natürlichen Schattenspendern wie Bäumen und Lauben über feststehende technische Lösungen wie Vordächer und Balkone bis hin zu vollautomatischen dynamischen Lösungen. Die Wetterbedingungen – Licht und Wärme – ändern sich im Laufe eines Tages ständig. Deshalb wird in diesem Handbuch der Schwerpunkt auf automatisierte dynamische Sonnenschutzsysteme (Raffstoren, Rollläden, Fassadenmarkisen etc.) gelegt, die sich den äußeren Verhältnissen optimal anpassen können – und so ein stabiles und komfortables Raumklima gewährleisten.

Dieses Handbuch verdeutlicht, dass der kontrollierte Eintrag von solarer Wärme und natürlichem Licht einen erheblichen Einfluss auf den Energiebedarf eines Gebäudes hat. Allerdings ist der Sonnenschutz neben der Verglasung, dem Fensterrahmen, der opaken Wand und dem Dach nur eine Komponente der Gebäudehülle. Damit automatischer Sonnenschutz effektiv den Energiebedarf reduzieren kann, müssen die am besten geeigneten Systeme bereits in der frühen Planungsphase eines Bauvorhabens ausgewählt werden. Dabei sind zahlreiche Faktoren zu berücksichtigen: das Außenklima, die unmittelbare Umgebung und die Gebäudeausrichtung, aber auch die Anforderungen der Nutzer sowie viele weitere Aspekte. Mit Hilfe bauphysikalischer Berechnungen lässt sich verdeutlichen, welche Auswirkung die Änderung eines Parameters hat und mit Hilfe der Gebäudesimulation ist es möglich, diese Auswirkungen auch zu quantifizieren. Die Architektur wird sich in Richtung Niedrigstenergiegebäude entwickeln. Mit stark gedämmten, aber vor allem dichten Gebäudehüllen steigt das Risiko der Überwärmung, das sich dann nicht mehr nur auf die Sommermonate beschränkt. Dynamischer Sonnenschutz wird damit zu einem wesentlichen Element eines Gebäudekonzeptes.

Sonnenschutzsysteme müssen – wie auch alle anderen haustechnischen Anlagen – von Fachleuten installiert werden. Die Erfahrung zeigt, dass Niedrigstenergiegebäude eine hohe Ausführungsqualität erfordern. Um die angestrebten Vorteile und Nutzen von Sonnenschutzsystemen sicherzustellen, müssen daher Montagefehler vermieden werden. Die am Fenster oder an der Fassade befestigten Sonnenschutzsysteme haben bewegliche Behänge. Um deren Funktion über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu gewährleisten, benötigen sie auch Pflege und Wartung!

Diese und andere Aspekte werden in diesem Handbuch thematisiert.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre.

Peter Winters

Präsident

ES-SO, European Solar-Shading Organization

www.es-so.com

Inhaltsverzeichnis

I. EINLEITUNG	5
II. GRUNDPRINZIPIEN	6
II.1. Verschiedene Arten von Strahlung	6
II.2. Sonnenstrahlung	6
II.3. Einfluss der Position der Sonne.....	7
II.4. Die langwellige Infrarotstrahlung.....	8
II.5. Wie sich die Bestrahlung auf ein Material auswirkt.....	9
III. DIE THERMISCHEN UND OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN VON ABSCHLÜSSEN	11
III.1. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert).....	11
III.2. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (g-Wert).....	13
III.2.1. Allgemeines.....	13
III.2.2. Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach EN 13363-1	13
III.2.3. Detailliertes Berechnungsverfahren nach EN 13363-2.....	15
III.3. Lichttransmission τ_v	18
III.3.1. Allgemeines.....	18
III.3.2. Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach EN 13363-1	18
III.3.3. Detailliertes Berechnungsverfahren nach EN 13363-2.....	19
III.4. Vergleich der vereinfachten und detaillierten Berechnung	20
IV. WIE SONNENSCHUTZSYSTEME DEN ENERGIEBEDARF EINES GEBÄUDES REDUZIEREN	23
IV.1. Das "Textinergie®" Tool.....	23
IV.1.1. Was ist Textinergie®?	23
IV.1.2. Einfluss des Standorts.....	23
IV.1.3. Einfluss der Ausrichtung.....	24
IV.2. ES-SO und REHVA Handbuch.....	25
IV.2.1. Stockholm.....	26
IV.2.2. Madrid.....	27
V. WIE SONNENSCHUTZSYSTEME DIE THERMISCHE UND VISUELLE BEHAGLICHKEIT DES GEBÄUDES VERBESSERN	29
V.1. Auswirkungen von Außenverschattung auf die sommerliche Behaglichkeit.....	29
V.2. Auswirkungen von Sonnenschutz auf die visuelle Behaglichkeit.....	30

I. EINLEITUNG

Sonnenschutz ist eine wesentliche Komponente zur Verbesserung der Energieeffizienz und des Tageslichtmanagements von bestehenden Gebäuden sowie zur Optimierung des Niedrigstenergie-Konzeptes von Neubauten. Die Vorteile dieser Technologie werden immer noch nicht ausreichend genutzt, obwohl diese erheblich zur Verringerung des Energieverbrauchs sowie des CO₂-Ausstoßes der bebauten Umwelt beitragen und dabei gleichzeitig die thermische und visuelle Behaglichkeit für die Bewohner verbessern.

Sonnenschutzvorrichtungen gewährleisten die Anpassung des Energie- und Lichteintrages transparenter Bauteile an die jeweiligen Wetterbedingungen sowie an die Bedürfnisse der NutzerInnen. Sinnvoll geplante Anlagen können den Gewinn an Sonnenwärme im Winter maximieren (Heizlasten reduzieren bzw. Heizkosten sparen) sowie den Wärmeeintrag im Sommer minimieren (Kühllasten verringern bzw. aktives Kühlen vermeiden) und den Bewohnern gleichzeitig einen optimalen Sichtkomfort bieten.

Um bereits bei der Planung eines neuen Gebäudes oder einer Sanierung die richtige Wahl hinsichtlich der zum Einsatz kommenden Produkte sowie des Fassadenmanagements zu treffen, muss man die Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen kennen und berücksichtigen. Markisen, Läden und Raffstoren beeinflussen die Eigenschaften der transparenten Fassade in vielerlei Hinsicht (z. B.: optisches Erscheinungsbild, Durchsichtverhalten, Energie- und Lichteintrag, Wärmedämmung). Das Ziel muss sein, eine bestmögliche Kombination dieser Eigenschaften im Hinblick auf die Anforderungen des Gebäudes, dessen Lage und Ausrichtung sowie den Nutzern bzw. Bewohnern zu finden.

Dieses technische Handbuch soll jene Grundlagen vermitteln, die zum besseren Verständnis der Wirkungsweise von Sonnenschutzsystemen beitragen und dabei auch zeigen, welche physikalischen Auswirkungen durch die Sonneneinstrahlung zu berücksichtigen sind. Das Buch basiert hauptsächlich auf den Berechnungsverfahren europäischer Normen (EN-Standards) und beinhaltet auch europaweit durchgeführte Simulationen, welche die Wirkung von Sonnenschutz auf den Energiebedarf von Gebäuden zeigen.

Obwohl dieses Handbuch schwerpunktmäßig für Hersteller, Berater und Monteure der Sonnenschutzbranche bestimmt ist, wird es auch für Gebäudeplaner und Energieberater nützlich sein.

II. GRUNDPRINZIPIEN

Dieses Kapitel vermittelt einige Grundlagen zu den verschiedenen Arten von Strahlung, die es hinsichtlich der Wirkungsweise von Sonnenschutzvorrichtungen und der Position der Sonne zu berücksichtigen gilt. Es zeigt auch, wie sich Materie verhält, wenn sie solarer Strahlung ausgesetzt wird.

II.1. Verschiedene Arten von Strahlung

Menschen sind einem breiten Spektrum von Strahlung ausgesetzt – diese kann sowohl natürlich als auch künstlich sein. Strahlung hat unterschiedliche Wellenlängen (siehe Abbildung 1).

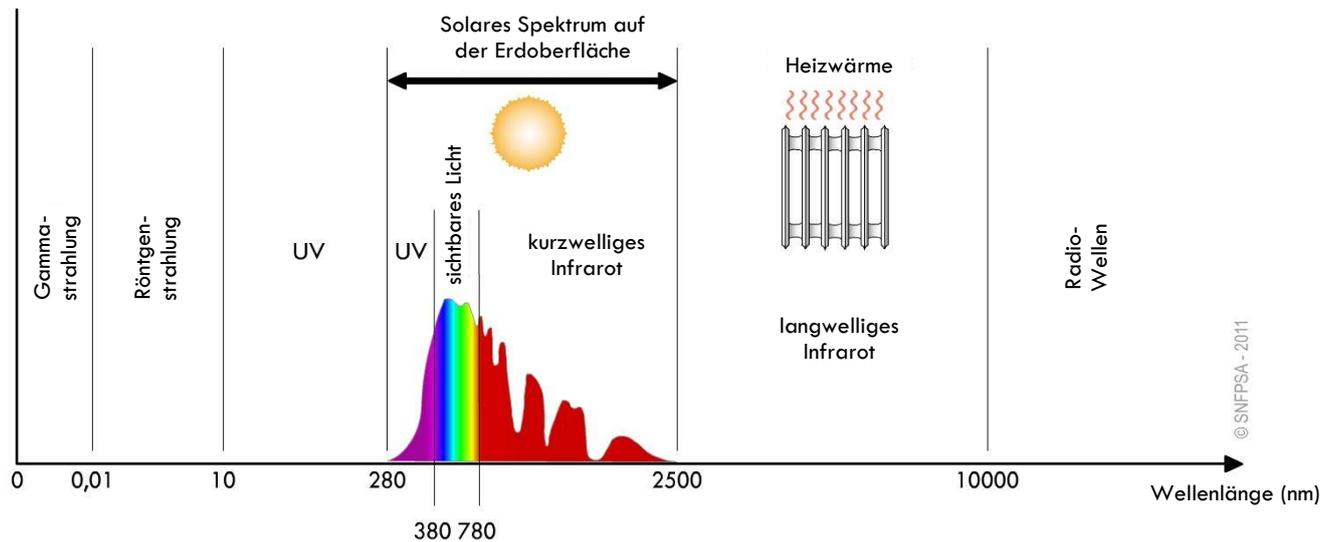


ABBILDUNG 1 – KLASIFIZIERUNG UNTERSCHIEDLICHER ELEKTROMAGNETISCHER STRAHLUNG IN ABHÄNGIGKEIT VON IHRER WELLENLÄNGE

Für Sonnenschutzvorrichtungen sind folgende zwei Arten von Strahlung wichtig:

- Die Sonnenstrahlung mit einer Wellenlänge zwischen 280 nm und 2500 nm, die in drei Teile unterteilt wird: UV-Strahlung, sichtbares Licht und Infrarotstrahlung (siehe II.2).
- Die langwelligigen Infrarotstrahlen mit einer Wellenlänge zwischen 2500 nm und 10000 nm, die durch das materialbedingte Temperaturniveau beeinflusst werden (beispielsweise eine Heizung oder eine warme Oberfläche). Diese Strahlung befindet sich im Infrarotbereich bzw. im nicht sichtbaren Bereich (siehe II.4).

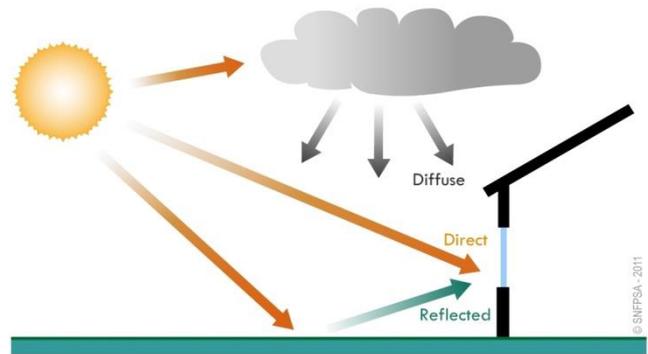
II.2. Sonnenstrahlung

Die Sonne produziert eine gewaltige Energiemenge ($66 \text{ Millionen W/m}^2$), die durch Strahlung zur Erde gesendet wird. Nur ein Bruchteil dieser Energie erreicht die Atmosphäre (ungefähr 1300 W/m^2). Etwa 15 % dieser Strahlung werden dann von der Atmosphäre absorbiert und in alle Richtungen in Form von diffuser Strahlung (blauer Himmel) emittiert. Ungefähr 6 % werden zurück ins Weltall reflektiert. Der restliche Teil (79 %) wird durch die Atmosphäre direkt zum Boden übertragen.

Folglich ist die Energie der Sonnenstrahlung, die auf den Boden trifft, wesentlich niedriger als jene an der Grenze der Atmosphäre. Es wird allgemein davon ausgegangen, dass die Energie, die bei klarem, blauem Himmel den Boden erreicht, in unseren Breiten etwa 1000 W/m^2 beträgt.

Die gesamte, auf ein Fenster einfallende Strahlung setzt sich aus drei Teilen zusammen (siehe Abbildung 2).

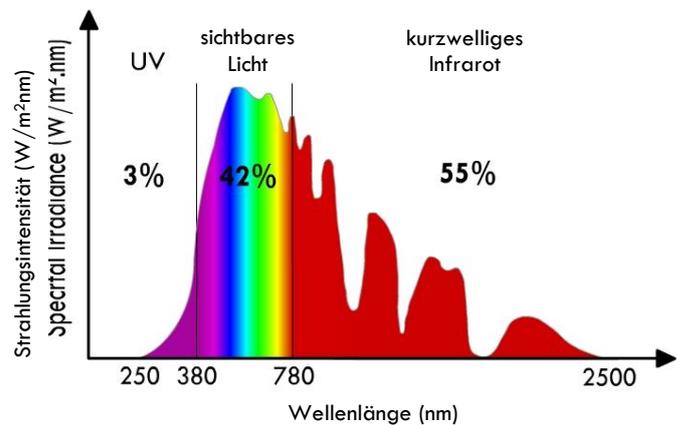
- Bei der direkten Strahlung erreichen die Strahlen der Sonne die Erdoberfläche ohne Streuung.
- Bei der diffusen Strahlung wird das Sonnenlicht aufgrund von Nebel, Dunst oder Wolken gestreut und trifft aus verschiedenen Richtungen auf die Erdoberfläche auf.
- Die reflektierte Strahlung setzt sich aus der am Boden reflektierten direkten und diffusen Strahlung zusammen.



ABILDUNG 2 – EINFALLENDE TEILE DER SONNENSTRAHLUNG

Diese Strahlung wird in drei Hauptbereiche unterteilt, die das Sonnenspektrum bilden:

- Ultraviolett (UV) von 250 nm bis 380 nm – diese Strahlen sind für das menschliche Auge unsichtbar und können im Falle einer Überexposition gefährlich sein. Sie sorgen für eine schnellere Alterung von Materialien und beschädigen Oberflächen und Farben.
- Der visuelle Bereich von 380 nm (violett) bis 780 nm (rot) – diese Strahlen werden über die menschliche Netzhaut wahrgenommen und ermöglichen das Sehen von Formen, Kontrasten und Farben.
- Kurzwellige Infrarotstrahlung (IR) von 780 nm bis 2500 nm – diese Strahlen sind unsichtbar. Sie werden, wenn sie auf Materie (z. B. Haut) treffen, als Wärme (Umwandlung in langwelliges IR) wahrgenommen.



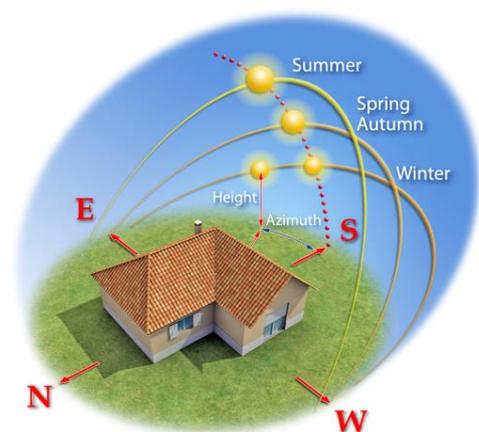
ABILDUNG 3 – SPEKTRALE BESTRAHLUNGSSTÄRKE AUF MEERESHÖHE FÜR DAS SONNENSPEKTRUM

Die „Stärke“ einer Strahlung wird durch ihre Strahlungsleistung dargestellt (in W/m^2). Für eine bestimmte Wellenlänge wird sie spektrale Bestrahlungsstärke (in $W/m^2/nm$) genannt. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der spektralen Bestrahlungsstärke des Sonnenspektrums auf Meereshöhe.

II.3. Einfluss der Position der Sonne

Darüber hinaus hängt die Sonneneinstrahlung von der Position der Sonne am Himmel ab (Höhe und Azimut), aber auch von der geographischen Breite. Der Sonnenstand variiert im Laufe des Jahres und während des Tages (siehe Abbildung 4).

Abbildung 5 zeigt die Sonneneinstrahlung auf eine senkrechte Fläche im Sommer (21. Juni) und im Winter (21. Dezember). Da diese Kurven bei wolkenlosem Himmel und ohne Berücksichtigung der umliegenden Gebäude berechnet werden, sind die angegebenen Werte als maximale Bestrahlungsstärke auf eine vertikale Fläche (Fassade) zu verstehen.



ABILDUNG 4 – POSITION DER SONNE AM HIMMEL

Die Werte in Abbildung 5 beziehen sich auf eine geographische Breite von 50° N (z. B. Köln). Für andere Breiten ergeben sich andere Werte. In Europa ist das allgemeine Muster jedoch das gleiche.

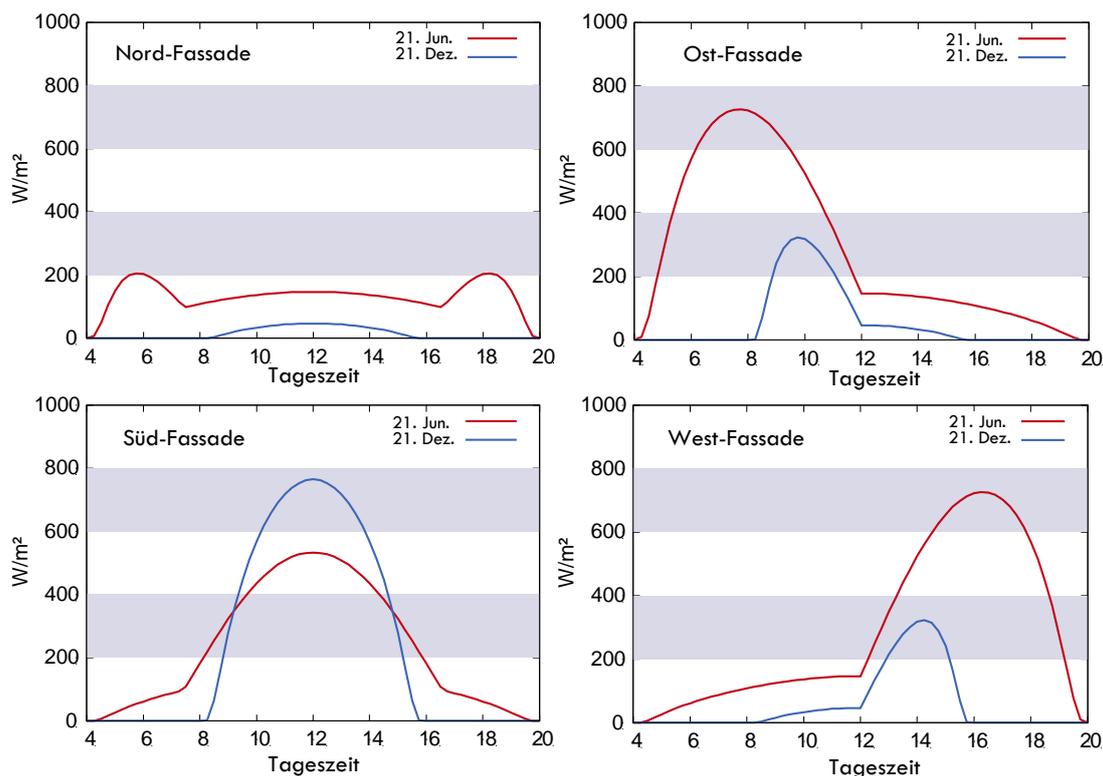


ABBILDUNG 5 – BESTRAHLUNGSSTÄRKE FÜR EINE NÖRDLICHE, ÖSTLICHE, WESTLICHE UND SÜDLICHE, VERTIKALE FLÄCHE BEI EINER GEOGRAPHISCHEN BREITE VON 50° N (QUELLE ES-SO & REHVA HANDBUCH)

Es gilt festzuhalten, dass:

- Bei nach Norden orientierten Fassaden ist der Strahlungseintrag am geringsten. Nur eine kleine Menge der Strahlung trifft im Sommer am frühen Morgen und am späten Abend auf die vertikale Fläche.
- Nach Osten und Westen orientierte Fassaden zeigen ein symmetrisches Muster: Die östliche Fläche wird am Vormittag bestrahlt und die westliche am Nachmittag. Der Strahlungseintrag ist hier auf Grund der ziemlich senkrecht zur Glasfläche stehenden Sonne am intensivsten - in der warmen Jahreszeit müssen diese Flächen vor zu viel Einstrahlung geschützt werden. Im Gegensatz dazu wird die Westfassade am Vormittag und die Ostfassade am Nachmittag vorwiegend diffuser Strahlung mit geringer Intensität ausgesetzt.
- Nach Süden orientierte Fassaden weisen die längste Besonnungsdauer auf. Deshalb ist es sinnvoll, die verglasten Flächen nach Süden zu maximieren, um die solaren Gewinne im Winter als Heizwärme zu nutzen. Im Sommer müssen diese Flächen vor zu viel Einstrahlung geschützt werden, um Überwärmung zu vermeiden. Auf Grund des niedrigen Sonnenstandes im Winter ist die Intensität der Einstrahlung im Winter höher als im Sommer, jedoch kürzer! Bei tiefstehender Sonne ist ganz besonders auf einen guten Blendschutz für die Gebäudenutzer zu achten.

II.4. Die langwellige Infrarotstrahlung

Jede Materie emittiert kontinuierlich Strahlung in Form von Energie in alle Richtungen. Während das Sonnenspektrum kurzwellige Strahlung umfasst, besteht das von einem Material abgegebene Spektrum aus langwelliger Infrarotstrahlung, das bei vergleichsweise niedriger Temperatur emittiert wird.

In der Praxis bedeutet dies, dass sich ein Material, das von der Sonne angestrahlt wird, erwärmt und langwellige Strahlung in die Umgebung abgibt. Diese Strahlung wird in weiterer Folge Materie in der Umgebung erwärmen, die dann wiederum Wärmestrahlung emittieren und so weiter.

Eine Heizung ist ein perfektes Beispiel für ein Material (Körper), das langwellige Infrarotstrahlung emittiert. Auch jedes Material, das durch Sonnenstrahlung erwärmt wird, strahlt wieder Wärme ab und wird zu einer Art Heizkörper.

Die Fähigkeit eines Materials, Strahlung zu emittieren, wird durch sein Emissionsvermögen vorgegeben (siehe II.5). Solange ein Material keine Öffnungen hat, ist es für die langwellige Infrarotstrahlung undurchlässig. Daher erlauben Wände und Verglasungen die Übertragung dieser Art von Strahlung nicht. Folglich wird die Wärme im Raum gehalten. Dies ist als der „Treibhauseffekt“ bekannt.

II.5. Wie sich die Bestrahlung auf ein Material auswirkt

Wenn Strahlung auf eine Fläche auftrifft, teilt sie sich – je nach Materialeigenschaft (zum Beispiel Verglasung, Gewebe oder Lamellen) – auf (siehe Abbildung 6):

- Jener Prozentsatz der auftreffenden Strahlung, der durch das Material hindurchgeht, wird als Transmissionsgrad T bzw. τ [Tau] bezeichnet.
- Fast jedes Material reflektiert einen Teil der auftreffenden Strahlung. Dieser Wert wird als Reflexionsgrad R bzw. ρ [Rho] bezeichnet.
- Ein weiterer Teil der auftreffenden Strahlung wird vom Material absorbiert, dieser Anteil wird als Absorptionsgrad A bzw. α [Alpha] bezeichnet.

Es gilt: $T + R + A = 100\%$ bzw.
 $\tau + \rho + \alpha = 100\%$

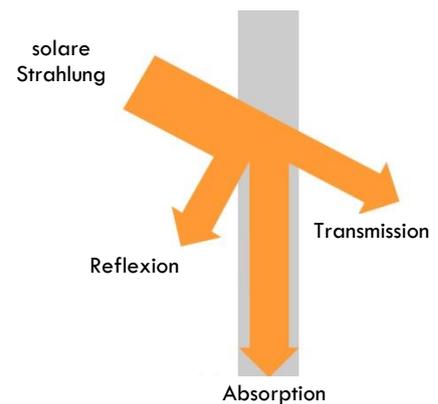


ABBILDUNG 6 – WIRKUNG SOLARER EINSTRALUNG AUF EIN MATERIAL

Für eine gegebene einfallende Strahlung E ist die übertragene Bestrahlung gleich $\tau \times E$, die absorbierte Bestrahlung gleich $\alpha \times E$ und die reflektierte Bestrahlung gleich $\rho \times E$.

Der Transmissionsgrad T , der Reflexionsgrad R und der Absorptionsgrad A sind für jedes Material unterschiedlich. Beispielsweise hängen diese Werte bei einem offen gewebten Markisentuch hauptsächlich von der Art des Materials, der Offenheit des Stoffes und der Farbe ab.

T , R und A hängen auch von der Wellenlänge der Sonnenstrahlung ab. Diese Eigenschaften können auch für spezifische Wellenlängen (zum Beispiel 250, 260, 270 nm usw.) gemessen werden und werden „Spektraldaten“ genannt.

T , R und A werden jedoch meist für folgende Spektren ermittelt:

- Das gesamte Sonnenspektrum von 250 nm bis 2.500 nm (siehe Abbildung 3). Diese Eigenschaften werden mit dem Index „e“ bezeichnet (für „energetisch“ oder „solar“):
 τ_e , ρ_e und α_e .
- Der sichtbare Teil des Spektrums von 380 nm bis 780 nm. Diese Werte werden benötigt, um die visuellen Eigenschaften des Produktes (insbesondere die Lichtdurchlässigkeit) zu berechnen, und sie werden mit dem Index „v“ bezeichnet (für „sichtbar“):
 τ_v , ρ_v und α_v .
- Die langwellige Infrarotstrahlung von 2500 nm bis 10.000 nm. Diese Werte sind für die genaue Berechnung von thermischen Eigenschaften der Produkte erforderlich. Sie werden mit dem Index „IR“ bezeichnet:
 τ_{IR} , ρ_{IR} und das Emissionsvermögen (in diesem Fall ist das Emissionsvermögen gleich α_{IR}).

ANMERKUNG: In allen Fällen wird die Beziehung zwischen Transmissionsgrad, Absorptionsgrad und Reflexionsgrad durch die folgende allgemeine Formel geregelt:

- $1 = \tau_e + \rho_e + \alpha_e$ für das gesamte Sonnenspektrum
- $1 = \tau_v + \rho_v + \alpha_v$ für den sichtbaren Teil des Sonnenspektrums
- $1 = \tau_{IR} + \rho_{IR} + \varepsilon$ für die langwellige Infrarotstrahlung

In der Praxis sind nur zwei Werte erforderlich, um ein Material zu kennzeichnen: (τ_e und ρ_e).

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass die Transmission von sichtbarem Licht auf zwei Arten erfolgen kann:

- Die direkte Transmission bzw. jene Strahlung, die nicht durch das Material beeinflusst wird – sie wird als $\tau_{v, n-n}$ bezeichnet.
- Die diffuse Transmission, bzw. jene Strahlung, welche durch das Material diffus aufgestreut und in alle Richtungen abgestrahlt wird (siehe Abbildung 7) – wird als $\tau_{v, n-diff}$ bezeichnet.

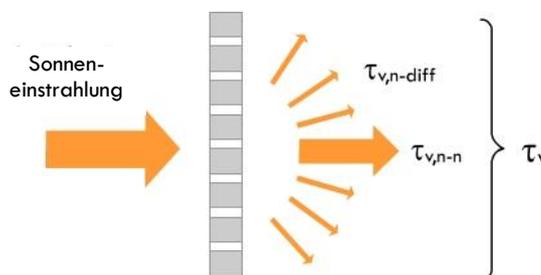


ABBILDUNG 7 – DIREKTE UND DIFFUSE VISUELLE TRANSMISSION

Die Summe von direkter und diffuser Transmission entspricht der gesamten Transmission:

$$\tau_{v, n-n} + \tau_{v, n-diff} = \tau_v$$

Sind die Materialeigenschaften der Vorder- und Rückseite unterschiedlich – beispielsweise die Farbe – haben beide Seiten unterschiedliche Reflexions- und Absorptionswerte.

Abbildung 8 veranschaulicht die spektrale Charakteristik eines Materials (Gewebe, Lamellen und Stäbe), die für eine detaillierte Berechnung der thermischen und optischen Eigenschaften eines Produktes erforderlich ist. Wichtig: Diese Abbildung berücksichtigt noch nicht die Charakteristik der Verglasung, die jedoch für eine Gesamtbeurteilung unbedingt notwendig ist. Diese wird in Kapitel III.2 und III.3 ausführlich dargestellt.

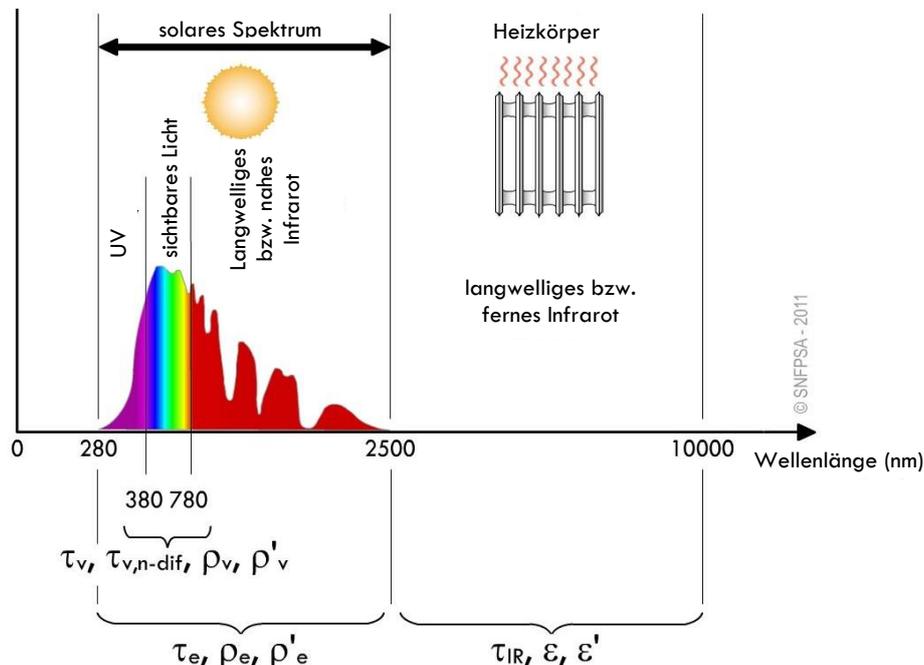


ABBILDUNG 8 – DARSTELLUNG DER HAUPT EIGENSCHAFTEN

Diese spektralen Eigenschaften werden gemäß der Europäischen Norm EN 14500 „Abschlüsse - Thermischer und visueller Komfort - Prüf- und Berechnungsverfahren“ gemessen.

III. DIE THERMISCHEN UND OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN VON ABSCHLÜSSEN

Das vorherige Kapitel behandelte die Sonneneinstrahlung und wie diese durch Behänge von Sonnenschutzsystemen beeinflusst (verändert) wird. In diesem Teil wird nun erläutert, wie die optischen und thermischen Eigenschaften von Verschattungen bestimmt werden.

III.1. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

Der U-Wert (U_w - w für Window / Fenster) gibt Auskunft über den Wärmeverlust von Fenstern. Für ein einzelnes Fenster (in Kombination mit einer Beschattung in eingefahrener Position) hängt dieser Kennwert vom U-Wert der Verglasung (U_g - g für Glass / Glas) und des Rahmens (U_f - f für Frame / Rahmen) sowie der Verbindung zwischen der Verglasung und dem Rahmen (ψ_g - Psi Glas) ab.

Der U-Wert für ein Fenster mit Sonnenschutzvorrichtung wird nach der Europäischen Norm EN ISO 10077-1 wie folgt berechnet:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \psi_g}{A_g + A_f}$$

- A_g, A_f Fläche für Gals bzw. Rahmen (f für frame)
- l Länge der Glaskante im Falz
- Ψ_g längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Glaseinstandes

Je niedriger ein U_w -Wert [W/m^2K] ist, umso besser ist die wärmedämmende Wirkung des Fensters.

Eine Sonnenschutzvorrichtung – egal ob vor, in oder hinter einem Fenster – bedingt einen zusätzlichen Luftzwischenraum, der als thermischer Widerstand R [m^2K/W] bezeichnet wird. Der Widerstand R wird nach der europäischen Norm EN 13125 berechnet und hängt vor allem von der Luftdurchlässigkeit der Vorrichtung und dem Wärmewiderstand des Behangs R_{sh} (sh für Shading / Verschattung) ab.

Nach EN 13125 wird die Luftdurchlässigkeit von Behängen unter Berücksichtigung der seitlichen Spalten berechnet (siehe Abbildung 10).

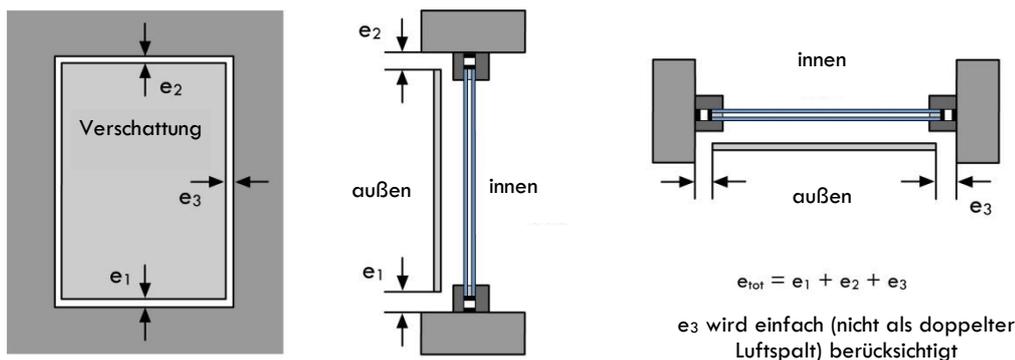


ABBILDUNG 10 – BERECHNUNG VON e_{tot} NACH EN 13125

Für Lamellenbehänge oder offen gewebte Stoffe (innen oder außen) sind gemäß EN 13125 auch die Spalten zwischen Lamellen bzw. die Öffnungen im Gewebe zu berücksichtigen. Das Kriterium der Luftdurchlässigkeit wird durch folgende Formel ausgedrückt:

$$P_e = e_{tot} + 10p \text{ [mm]}$$

Wobei e_{tot} nach Abbildung 10 berechnet wird und p das Verhältnis zwischen der luftdurchlässigen Fläche und der Gesamtfläche des Behangs ist.

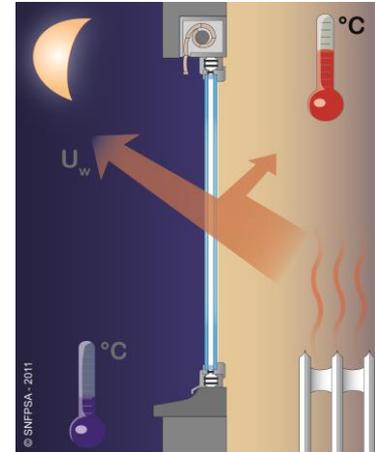


ABBILDUNG 9 – DARSTELLUNG DES U_w WERTES

Die folgenden Tabellen geben die Formeln an, die in EN 13125 für die Berechnung des ΔR Wertes für Rollläden, Außen- und Innenjalousien und Scheibenzwischenraumjalousien bestimmt werden.

TABELLE 1 – BERECHNUNG VON ΔR FÜR ABSCHLÜSSE

sehr hohe Luftdurchlässigkeit ($e_{\text{tot}} > 35$ mm)	$\Delta R = 0,08$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
hohe Luftdurchlässigkeit (15 mm $< e_{\text{tot}} \leq 35$ mm)	$\Delta R = 0,25R_{\text{sh}} + 0,09$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
mittlere Luftdurchlässigkeit (8 mm $< e_{\text{tot}} \leq 15$ mm)	$\Delta R = 0,55R_{\text{sh}} + 0,11$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
geringe Luftdurchlässigkeit ($e_{\text{tot}} \leq 8$ mm)	$\Delta R = 0,8R_{\text{sh}} + 0,14$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
luftdicht ($e_{\text{tot}} \leq 3$ mm und $e_1 + e_3 = 0$ oder $e_2 + e_3 = 0$)	$\Delta R = 0,95R_{\text{sh}} + 0,17$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

TABELLE 2 - BERECHNUNG VON ΔR FÜR ABSCHLÜSSE AUSSEN

bei hoher und höchster Luftdurchlässigkeit ($P_e \geq 35$ mm)	$\Delta R = 0,08$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
bei mittlerer Luftdurchlässigkeit (8 mm $\leq P_e < 35$ mm)	$\Delta R = 0,11$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
bei niedriger Luftdurchlässigkeit ($P_e < 8$ mm)	$\Delta R = 0,14$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

TABELLE 3 - BERECHNUNG VON ΔR FÜR ABSCHLÜSSE INNEN BZW. IN EINEM SCHEIBENZWISCHENRAUM

bei hoher und höchster Luftdurchlässigkeit ($P_e \geq 80$ mm)	$\Delta R = 0,08$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
bei mittlerer Luftdurchlässigkeit (20 mm $\leq P_e < 80$ mm)	$\Delta R = 0,11$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]
bei niedriger Luftdurchlässigkeit ($P_e < 20$ mm)	$\Delta R = 0,14$ [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Die Wirkung des zusätzlichen thermischen Widerstands von Abschlüssen auf ein Fenster wird gemäß EN ISO 10077-1 folgendermaßen berechnet:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Diese Formel kommt zur Anwendung, um die Verringerung des Wärmeverlustes eines Fensters durch eine ausgeführte Sonnenschutzvorrichtung (Abschluss) zu berechnen.

Tabelle 4 zeigt Berechnungsbeispiele für drei verschiedene ΔR -Werte und drei verschiedene Fensterarten. Folgende ΔR -Werte kamen zur Anwendung:

- 0,08 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], zum Beispiel Raffstore mit hoher Luftdurchlässigkeit
- 0,15 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], zum Beispiel Standard-Rollladen aus Aluminium, luftdicht
- 0,25 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$], zum Beispiel ein Rollladen aus Kunststoff mit niedriger Luftdurchlässigkeit

TABELLE 4 – BEISPIEL DER U_{ws} BERECHNUNG

	Fenster mit Einfachverglasung $U_w = 4,90 \text{ W/m}^2\text{K}$			Fenster mit Zweifachverglasung ohne Low-E Schicht $U_w = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$			Fenster mit Zweifachverglasung mit Low-E Schicht $U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$		
	$\Delta R \text{ (m}^2\text{K/W)}$			$\Delta R \text{ (m}^2\text{K/W)}$			$\Delta R \text{ (m}^2\text{K/W)}$		
	0,08	0,15	0,25	0,08	0,15	0,25	0,08	0,15	0,25
$U_{ws} \text{ (W/m}^2\text{K)}$	3,52	2,82	2,20	1,57	1,42	1,24	1,09	1,02	0,92
U_w -Verbesserung	28,2 %	42,4 %	55,1 %	12,6 %	21,3 %	31,0 %	8,8 %	15,2 %	23,0 %

Die obigen Beispiele veranschaulichen, dass in allen Fällen die Verschattung den U-Wert des Fensters verbessert ($U_{ws} < U_w$) und dadurch die Wärmeverluste während der Heizperiode reduziert werden.

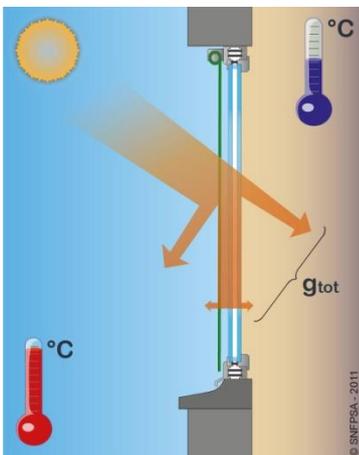
Die Wirkung eines Abschlusses ist umso besser, je schlechter der U-Wert des Fensters ist. Im Falle einer Einfachverglasung wird der Wärmeverlust halbiert. Bei einem Zweischiebenglas (Doppel-, Zweifach-, oder Isolier-Verglasung) ohne Low-E Schicht ($U_w 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) führen Abschlüsse mit geringer Luftdurchlässigkeit zu einer deutlichen Verbesserung, die nahe an eine Zweischiebenverglasung mit Low-E-Schicht (Mehrschieben-Isolierglas, Wärmeschutz- oder Wärmedämmverglasung) reicht!

Ein luftdichter Rollläden aus Kunststoff kann immerhin den Wärmedurchgangswert eines Fensters mit Wärmeschutzglas um bis zu 23 % verbessern und somit den U-Wert von 1,2 auf 1,0 $\text{W/m}^2\text{K}$ senken.

III.2. Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} (g-Wert)

III.2.1. Allgemeines

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) gibt an, wie viel von der auf ein transparentes Bauteil einstrahlenden solaren Energie in den dahinterliegenden Raum abgegeben wird.



Der g-Wert gibt den Energiedurchlass einer Verglasung ohne Sonnenschutz an.

Der g_{tot} ist der Energiedurchlassgrad einer Verglasung in Kombination mit einer Sonnenschutzvorrichtung.

Der Wert von g bzw. g_{tot} liegt zwischen 0 (0%) und 1 (100%).

Der Wert 0 bedeutet, dass keine Strahlung in den Raum eindringt, 1 hingegen, dass die gesamte Strahlung im Raum wirksam wird.

Der g-Wert wird entsprechend EN 410 ermittelt.

Zur Berechnung des g_{tot} gibt es zwei Berechnungs-Modelle: Entweder ein vereinfachtes Verfahren nach EN 13363-1 oder das detaillierte Verfahren nach EN 13363-2.

Für beide Verfahren sind die physikalischen Eigenschaften der Verglasung und der Sonnenschutzvorrichtung erforderlich – siehe auch II.5.

III.2.2. Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach EN 13363-1

EN 13363-1 ist ein einfaches Verfahren, um den g_{tot} -Wert näherungsweise zu ermitteln. Dieses Verfahren darf nur für solche Systeme verwendet werden, die einen direkten Durchtritt von Solarstrahlung verhindern. Sie gilt also namentlich für Raffstoren, Jalousien und Rollläden bzw. sinngemäß für jene außen-, zwischen- oder innenliegenden Systeme, die den dahinterliegende Raumvollflächig verschatten. Als Eingabewerte für dieses Berechnungsmodell werden die Glaskennwerte „ U_g “ und „ g “ benötigt sowie der Energietransmissionsgrad τ_e und der Reflexionsgrad ρ_e der Verschattung.

Der Vorteil des vereinfachten Verfahrens nach EN 13363-1 besteht darin, dass die Berechnungen auf einfache Art und ohne spezielle Software durchgeführt werden können.

Die Abweichung dieses Verfahrens sollte im Vergleich zum genauen Verfahren nach Teil 2 im Bereich von +0,10 und -0,02 liegen, diese Toleranzen können jedoch deutliche Auswirkungen haben. Es wird daher dringend empfohlen, das detaillierte Berechnungsverfahren (siehe Kapitel III.2.3) zu verwenden, um den Energiedurchlass sowie auch die thermische Behaglichkeit genauer bestimmen zu können.

Folgende Formeln sind gemäß EN 13363-1 zu verwenden:

Für Außenverschattungen:

$$g_{tot} = \tau_e g + \alpha_e \frac{G}{G_2} + \tau_e (1 - g) \frac{G}{G_1}$$

$$\text{Parameter } G_1 = 5 \text{ W/m}^2\text{K} ; G_2 = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ und } G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Für Innenverschattungen:

$$g_{tot} = g \left(1 - g \rho_e - \alpha_e \frac{G}{G_2} \right)$$

$$\text{Parameter } G_2 = 30 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ und } G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_2} \right)^{-1}$$

Für eine Jalousien im Scheibenzwischenraum:

$$g_{tot} = \tau_e g + g (\alpha_e + (1 - g) \rho_e) \frac{G}{G_3}$$

$$\text{Parameter } G_3 = 3 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ und } G = \left(\frac{1}{U_g} + \frac{1}{G_3} \right)^{-1}$$

In all diesen Gleichungen gilt:

- τ_e Solartransmission der Jalousie oder des Rollladens
 - ρ_e Reflexionsgrad der Jalousie oder des Rollladens
 - α_e Absorptionsgrad der Jalousie oder des Rollladens
 - g Energiedurchlassgrad der Verglasung
 - U_g Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
 - G_1, G_2 und G_3 sind festgelegte Werte, die von der Norm definiert werden.
- } mit $1 = \tau_e + \rho_e + \alpha_e$ (siehe II.5)

Es ist zu beachten, dass diese Formeln nur angewendet werden dürfen, wenn der Reflexionsgrad ρ_e und die Solartransmission τ_e einer Sonnenschutzvorrichtung in folgendem Bereich liegt:

$$0 \leq \tau_e \leq 0,5 \text{ und } 0,1 \leq \rho_e \leq 0,8 \text{ (}\tau_e \text{ ist sinngemäß die Lichttransmission – siehe nachfolgenden Hinweis)}$$

Der g-Wert der Verglasung muss zwischen 0,15 und 0,85 betragen.

In allen anderen Fällen sollte die Berechnung nach EN 13363-2 durchgeführt werden.

Wichtiger Hinweis:

Leider geht die Norm davon aus, dass die Lichtdurchlässigkeit einer Verschattung τ_v (siehe Kapitel II.5) analog zur Transmission von Solarenergie τ_e sei. Das verleitet zu der irreführenden Annahme, dass das Berechnungsmodell auch für Behänge mit direkter Transmission Gültigkeit hätte. Jedoch schließt die Norm Verschattungen mit direktem Durchtritt von Solarstrahlung explizit aus!

III.2.3. Detailliertes Berechnungsverfahren nach EN 13363-2

Dieses Berechnungsverfahren ist wesentlich komplexer als die Berechnung nach EN 13363-1. Es basiert auf den spezifischen physikalischen Eigenschaften des Zusammenwirkens einer definierten Verschattung mit einer definierten Verglasung. Die Kennwerte, insbesondere der Gesamtenergie-durchlassgrad g_{tot} , lassen sich nur mit einer speziellen Software ermitteln.

Das Prinzip der Berechnung besteht darin, die Sonnenschutzvorrichtung, die Gläser und deren Beschichtungen sowie die Zwischenräume als separate Schichten (Layer in bestimmter Reihenfolge - siehe Abbildung 11) zu betrachten. Dabei hat jeder Layer definierte Eigenschaften (Transmissions- und Reflexionsgrad, Emissionsvermögen usw.). Die äußeren Bedingungen (Temperatur, solare Einstrahlung, Belüftung, ...) werden ebenfalls berücksichtigt. Das Ziel der Berechnung besteht darin, die Wechselwirkung der Schichten unter bestimmten Bedingungen zu bewerten.

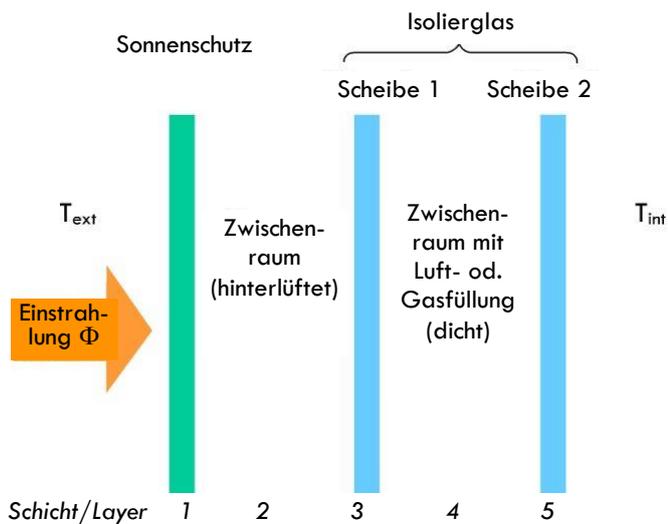


ABBILDUNG 11 – BEISPIEL VON SCHICHTEN IM FALLE EINER AUSSENJALOUSIE IN VERBINDUNG MIT EINER ZWEIFACHVERGLASUNG

Die Berechnung des Wärmeeintrages setzt sich aus den drei Teilbereichen – direkte Transmission, Wärmeübertragung und Belüftung - zusammen:

1. Eintrag solarer Strahlung - Transmission

Dieser Teil des g_{tot} quantifiziert den Anteil der im Raum wirksam werdenden Sonnenstrahlung, der infolge von Mehrfachtransmission und Reflexion von jeweils beiden Seiten aller Layer auftritt.

Die Temperatur des Systems kommt in diesem Teil der Berechnung nicht zum Tragen.

Abbildung 12 zeigt das Berechnungsprinzip für ein System, das aus einer Außenverschattung und einer Zweifachverglasung besteht. Die Berechnung des Energiestroms für dieses Beispiel erfolgt nach folgender Matrix:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= \Phi \\
 E_2 &= \rho_1 E_3 + \tau'_1 E_4 \\
 E_3 &= \rho'_e E_2 + \tau_e E_1 \\
 E_4 &= \rho_2 E_5 + \tau'_2 E_6 \\
 E_5 &= \rho'_i E_4 + \tau_i E_3 \\
 E_6 &= 0
 \end{aligned}$$

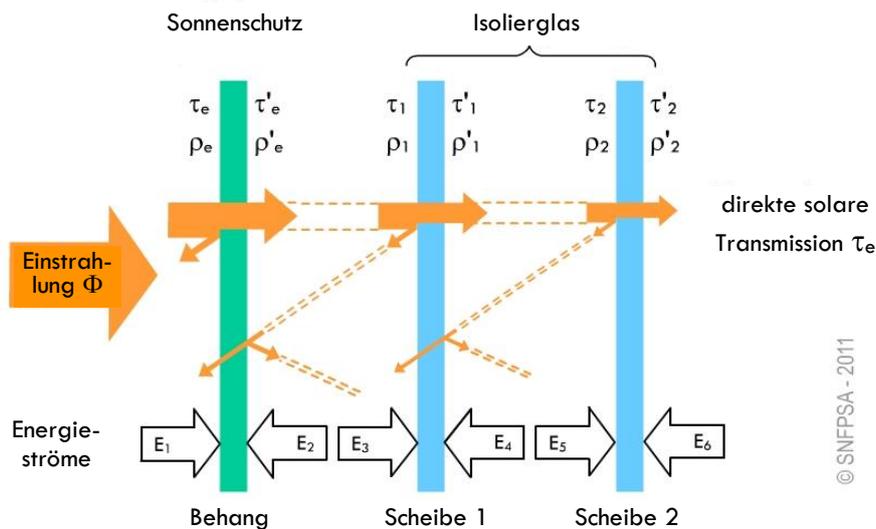


ABBILDUNG 12 – DARSTELLUNG DER SOLARTRANSMISSION FÜR EINE AUSSENVERSCHATTUNG MIT ZWEISCHIEBENGLAS

Dieser Eintrag wird durch die direkte solare Transmission τ_e des Systems „Sonnenschutzsystem + Verglasung“ gekennzeichnet und berücksichtigt das gesamte Sonnenspektrum.

2. Die Wärmeübertragung – Wärmestrahlung und Konvektion

Diese Art des Energieeintrags berücksichtigt den Einfluss der Außen- und Innentemperatur sowie die Auswirkung der solaren Einstrahlung, also die Temperaturerhöhung von Materialien durch Absorption.

Der Wärmeeintrag wird in diesem Fall in zwei Schritten berechnet (siehe Abbildung 13):

- Wärmeeintrag durch Wärmestrahlung (Wärmestrahlungsfaktor)
 Dieser Wärmeeintrag wird durch die Emission langwelliger Infrarotstrahlung (siehe Kapitel II.4) von jeder Materialschicht, die von der Umgebungstemperatur oder der Sonnenstrahlung erwärmt wurde, hervorgerufen. Die Wärme wird durch Strahlung von einer Schicht zur nächsten übertragen.
 Diese Übertragung wird als Wärmestrahlungsfaktor g_{th} bezeichnet.
- Wärmeeintrag durch Wärmeleitung und Konvektion (Konvektionsfaktor)
 Die Wärmeleitung wird durch die Zirkulation innerhalb des Materials einer Schicht (fest oder gasförmig) durch eine molekulare Wechselwirkung hervorgerufen. Die konvektive Wärmeübertragung wird durch die Wärmeabgabe einer Schicht (z. B. Glas) zur angrenzenden Schicht (z. B. Glas-Zwischenraum) bewirkt.
 Diese Übertragung wird als Konvektionsfaktor g_c bezeichnet.

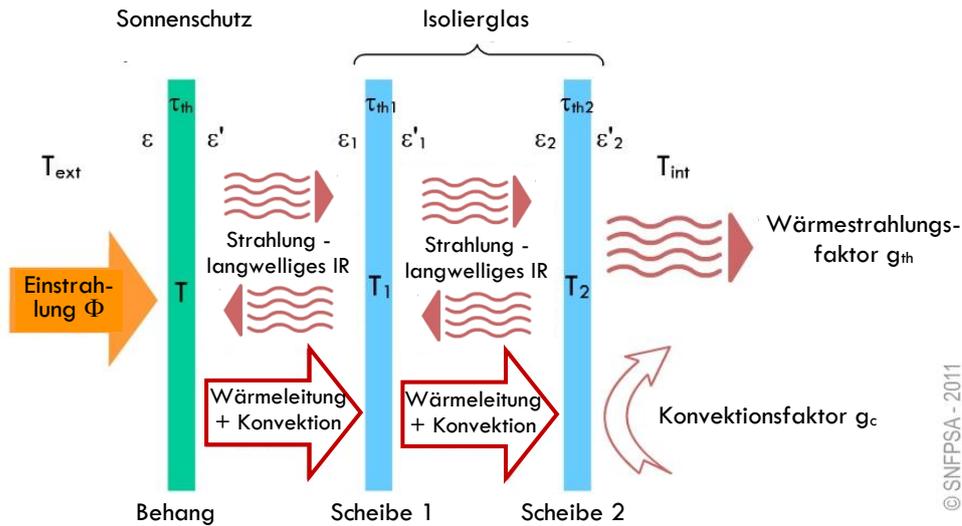


ABBILDUNG 13 – DARSTELLUNG DER WÄRMEÜBERTRAGUNG FÜR EINE AUSSENVERSCHATTUNG MIT ZWESCHEIBENGLAS

3. Kamineffekt im Falle einer innenliegenden Verschattung – Belüftung

Dieser Effekt basiert auf der Verdrängung der Luft zwischen der Verglasung und der Innenverschattung. Bei Sonneneinstrahlung wird die im Raum zwischen Glas und Behang befindliche Luft erwärmt und steigt infolge der geringeren spezifischen Dichte auf (gerichteter Wärmestrom zwischen der Verglasung und dem Behang, siehe Abbildung 14).

Dieser Effekt wird als Belüftungsfaktor g_v (v für Ventilation) bezeichnet.

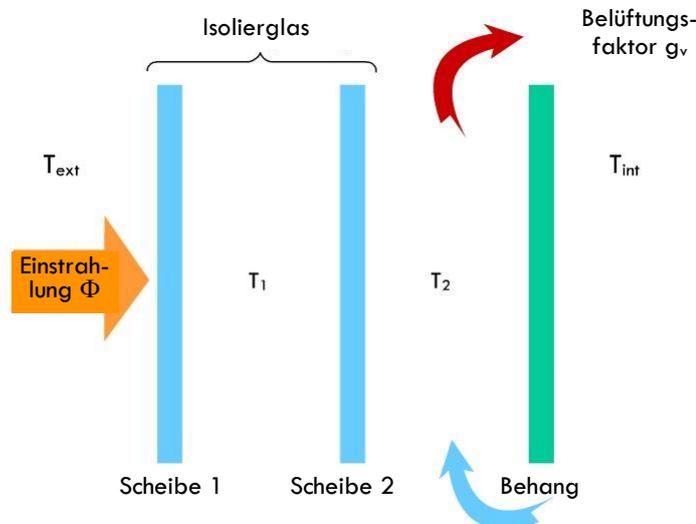


ABBILDUNG 14 – DARSTELLUNG DES KAMINEFFEKTS IN FALLE EINER INNENVERSCHATTUNG

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} errechnet sich somit aus der Addition der solaren Transmission τ_e , dem Wärmestrahlungsfaktor g_{th} , dem Konvektionsfaktor g_c und dem Ventilationsfaktor g_v .

$$g_{tot} = \tau_e + g_{th} + g_c + g_v^{(1)}$$

⁽¹⁾ $g_v = 0$ im Falle einer außenliegenden Verschattung.

Das Layer-Modell von EN 13363-2 liefert eine gute Beschreibung der Abschattung. Allerdings müssen verschiedene physikalische Phänomene, die simultan wirken und sich gegenseitig beeinflussen, berücksichtigt werden. Daher ist die Verwendung eines speziellen Berechnungstools notwendig. Berechnungsbeispiele nach EN 13363-2 sind unter Kapitel III.4 ausgeführt.

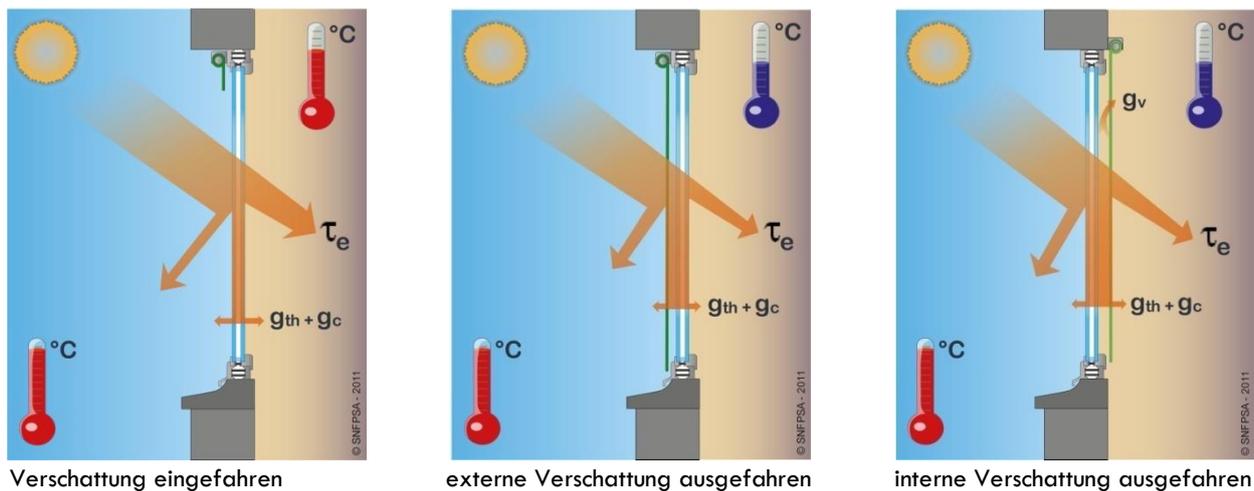


ABBILDUNG 15 – DARSTELLUNG VON g_{tot}

III.3. Lichttransmission τ_v

III.3.1. Allgemeines

Die Lichttransmission τ_v gibt an, wie viel Prozent des auf eine transparente Fläche einfallenden sichtbaren Lichts (visuelles Spektrum) in einen dahinterliegenden Raum gelangt.

Wie beim g-Wert ist es auch hier notwendig, zwischen der visuellen Transmission einer Verglasung allein und einer Verglasung mit Sonnenschutzvorrichtung zu unterscheiden. Leider verwenden die europäischen Normen für beide Varianten dieselbe Bezeichnung τ_v . Daher wird in diesem Handbuch zur besseren Verständlichkeit die Bezeichnung $\tau_{v,tot}$ verwendet, wenn es sich um die Lichttransmission einer Verglasung mit Sonnenschutzvorrichtung handelt.

Der Wert von τ_v liegt zwischen 0 (0%) und 1 (100%). Der Wert 0 bedeutet, dass kein Licht in den Raum gelangt, 1 hingegen, dass die gesamte Lichtmenge des für das menschliche Auge sichtbaren Spektrums transmittiert wird.

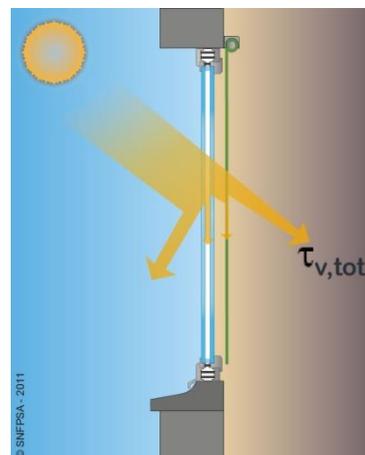
Die Referenznormen zur Berechnung von τ_v sind dieselben wie für den g-Wert:

- für eine Verglasung ohne Verschattung EN 410
- für eine Verglasung mit einer Sonnenschutzvorrichtung EN 13363-1 (vereinfachtes Verfahren)
EN 13363-2 (detailliertes Verfahren)

III.3.2. Vereinfachtes Berechnungsverfahren nach EN 13363-1

Der Anwendungsbereich dieser Norm ist derselbe wie für die Berechnung des g-Werts (siehe Kapitel III.2.2).

Nach EN 13363-1 sind folgende Formeln für die Berechnung von $\tau_{v,tot}$ zu verwenden:



Für außen liegende Sonnenschutzvorrichtungen

$$\tau_{v,tot} = \frac{\tau_v \tau_{v,B}}{1 - \rho_v \rho'_{v,B}}$$

Für innen liegende Sonnenschutzvorrichtungen:

$$\tau_{v,tot} = \frac{\tau_v \tau_{v,B}}{1 - \rho'_{v,B} \rho_{v,B}}$$

- τ_v Lichttransmission der Verglasung
- $\tau_{v,B}$ Lichttransmissionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung
- ρ_v Lichtreflektionsgrad der Seite der Verglasung, die der Sonne zugewandt ist
- ρ'_v Lichtreflektionsgrad der Seite der Verglasung, die der Sonne abgewandt ist
- $\rho_{v,B}$ Lichtreflektionsgrad der Seite der Sonnenschutzvorrichtung, die der Sonne zugewandt ist
- $\rho'_{v,B}$ Lichtreflektionsgrad der Seite der Sonnenschutzvorrichtung, die der Sonne abgewandt ist

III.3.3. Detailliertes Berechnungsverfahren nach EN 13363-2

Für die Berechnung des Lichteintrages ist nur das visuelle Spektrum von 380 nm bis 780 nm (siehe Kapitel III.2.3) von Relevanz. Da es um den Eintrag von Licht (Helligkeit) und nicht um jenen von Energie (Wärme) geht, muss weder die Wärmeübertragung noch der Ventilationsfaktor berücksichtigt werden.

Das Berechnungsmodell berücksichtigt sowohl jenen Teil der visuellen Strahlung, der direkt (ohne Ablenkung durch eine Verschattung) als auch jenen Teil, der diffus (Aufstreuung durch einen Sonnenschutzbehang) in den Raum gelangt.

Die direkte visuelle Transmission wird als $\tau_{v,n-n}$, die diffuse visuelle Transmission als $\tau_{v,n-dif}$ bezeichnet (siehe Abbildung 16).

Die gesamte visuelle Transmission besteht somit aus den zwei Teilen:

$$\tau_{v,tot} = \tau_{v,n-n} + \tau_{v,n-dif}$$

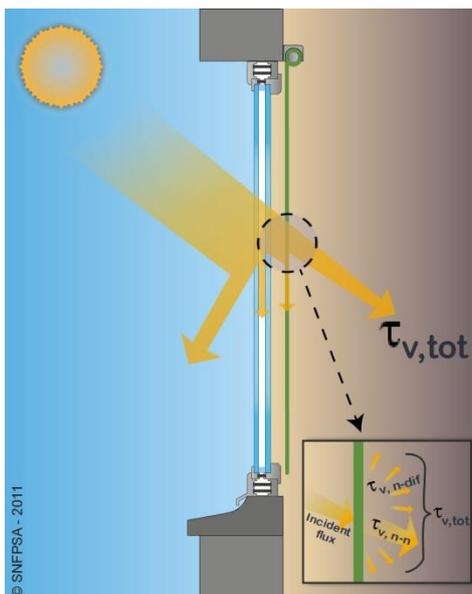


ABBILDUNG 16 – DARSTELLUNG DER VISUELLEN TRANSMISSION EINER INNENVERSCHATTUNG

III.4. Vergleich der vereinfachten und detaillierten Berechnung

Um den Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} als auch die Lichttransmission $\tau_{v,\text{tot}}$ zu berechnen, können sowohl das vereinfachte als auch das detaillierte Berechnungsverfahren verwendet werden.

Tabelle 5 zeigt die Eigenschaften einer und derselben Fassadenmarkise jedoch mit drei unterschiedlichen Behangfarben. Wie zu erkennen ist, beeinflusst die Farbe sehr wesentlich den Energieeintrag τ_e und den Lichteintrag τ_v !

TABELLE 5 – EIGENSCHAFTEN VON SONNENSCHUTZ-BEHÄNGEN

Textiler Sonnenschutz	Perlweiß	Weißgrau	Grau
Solare Transmission τ_e	0,13	0,09	0,05
Reflexionsgrad $\rho_e^{(1)}$	0,53	0,44	0,21
Visuelle Transmission τ_v	0,11	0,07	0,03
Diffuse visuelle Transmission $\tau_{v,n-dif}$	0,08	0,04	0,01
Visueller Reflexionsgrad $\rho_v^{(1)}$	0,58	0,47	0,18
Langwellige Infrarot-Transmission $\tau_{IR}^{(2)}$	0,03	0,03	0,03
Emissionsvermögen $\varepsilon^{(1)}$	0,89	0,89	0,89

⁽¹⁾ Die Eigenschaften beider Seiten der Verschattung sind identisch. Daher: $\rho_e = \rho'_e$; $\rho_v = \rho'_v$ und $\varepsilon = \varepsilon'$

⁽²⁾ Gleich dem Lochanteil bzw. Öffnungsfaktor des Behangs

In EN 14501 sind für Europa typische Verglasungen spezifiziert.

Tabelle 6 zeigt detaillierten Eigenschaften der Außen- und Rückseite einer Wärmeschutzverglasung (Glastyp C; $U = 1,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$, $g = 0,59$).

TABELLE 6 – EIGENSCHAFTEN DER VERGLASUNG

Wärmeschutzverglasung Typ C nach EN 14501	Außenscheibe	Innenscheibe
Solardurchlässigkeit τ_e	0,85	0,58
Reflexionsgrad auf der Seite, die der Sonne zugewendet ist ρ_e	0,08	0,30
Reflexionsgrad auf der Seite, die von der Sonne abgewendet ist ρ'_e	0,08	0,24
Visuelle Transmission τ_v	0,90	0,82
Visueller Reflexionsgrad der Seite, die der Sonne zugewendet ist ρ_v	0,08	0,08
Visueller Reflexionsgrad der Seite, die von der Sonne abgewendet ist ρ'_v	0,08	0,04
Langwellige Infrarot-Durchlässigkeit τ_{IR}	0,00	0,00
Emissionsvermögen der Seite, die der Sonne zugewendet ist ε	0,89	0,04
Emissionsvermögen der Seite, die von der Sonne abgewendet ist ε'	0,89	0,89

Deutlich erkennbar die Reduktion der Wärmeemission infolge der Low-E-Schicht ($\varepsilon=0,04$) auf der Außenseite der Innenscheibe.

Tabelle 7 zeigt den Vergleich der Berechnungsergebnisse nach EN 13363-1 (vereinfachtes Modell) und EN 13363-2 (detailliertes Modell) für eine Verglasung (Typ C) in Kombination mit einer Raffstore mit unterschiedlichen Behangfarben.

TABELLE 7 – BERECHNUNG VON g_{tot} UND $\tau_{v,tot}$ FÜR EINEN RAFFSTORE (LAMELLENWINKEL 45°)

Verschattungssystem Raffstore	Ergebnisse nach EN 13363-1		Ergebnisse nach EN 13363-2 ⁽¹⁾			
	g_{tot}	$\tau_{v,tot}$	g_{tot}	τ_e	$g_{th} + g_c$	$\tau_{v,tot}$
Weiß RAL9016	0,16	0,07	0,09	0,07	0,017	0,11
Weißgrau RAL 9006	0,16	0,07	0,05	0,03	0,018	0,04
Anthrazit RAL 7016	0,16	0,07	0,05	0,03	0,019	0,06

⁽¹⁾ Berechnungen mittels Software „SommerGlobal“, entwickelt von Sommer Informatik GmbH, D-83026 Rosenheim.

Tabelle 8 zeigt den Vergleich der Berechnungsergebnisse nach EN 13363-1 (vereinfachtes Modell) und EN 13363-2 (detailliertes Modell) für eine Verglasung (Typ C) in Kombination mit einer Innenjalousie mit unterschiedlichen Behangfarben.

TABELLE 8 – BERECHNUNG VON g_{tot} UND $\tau_{v,tot}$ FÜR EINE INNENJALOUSIE (LAMELLENWINKEL 45°)

Verschattungssystem Innenjalousie	Ergebnisse nach EN 13363-1		Ergebnisse nach EN 13363-2 ⁽¹⁾				
	g_{tot}	$\tau_{v,tot}$	g_{tot}	τ_e	$g_{th} + g_c$	g_v	$\tau_{v,tot}$
Weiß	0,50	0,17	0,38	0,09	0,195	0,092	0,14
Pastellfarben	0,52	0,16	0,48	0,05	0,290	0,132	0,08
Mittelgrau	0,53	0,15	0,54	0,03	0,347	0,163	0,05

⁽¹⁾ Berechnungen mittels Software „SommerGlobal“, entwickelt von Sommer Informatik GmbH, D-83026 Rosenheim.

In allen Fällen liefert das detaillierte Berechnungsverfahren für die Bestimmung von g_{tot} genauere Ergebnisse als das vereinfachte Verfahren, welches die Solartransmission etwas überbewertet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Abweichungen gegenüber dem detaillierten Verfahren von der Behangfarbe abhängig sind, und zwar:

- bei Außenbeschattungen, je dunkler die Behangfarben sind.
- bei Innenbeschattungen, je heller die Behangfarben sind.

Neben der Möglichkeit der genaueren Berechnung für g_{tot} und $T_{v,tot}$ besteht der größte Vorteil des detaillierten Berechnungsverfahrens darin, dass es über die drei Arten des Wärmeeintrags Auskunft gibt (einerseits Transmission und andererseits Konvektion plus Wärmeleitung).

In der Norm EN 13363-1 werden grundsätzlich keine Ergebnisse für die diffuse visuelle Transmission $\tau_{v,n-dif}$ ausgewiesen. Einige am Markt befindliche Softwareprodukte, die nach EN13363-2 rechnen, können hinsichtlich $T_{v,tot}$ sowohl die direkte als auch die visuelle Transmission gesondert ausweisen.

Shade Specifier Datenbank

Die British Blind & Shutter Association (BBSA) hat in Kooperation mit Partnern der European Solar Shading Organisation (ES-SO) eine Datenbank von Sonnenschutzmaterialien entwickelt. Diese Datenbank enthält Energieeffizienzdaten für textile Behänge sowie Behänge für Jalousien und Rollläden in Kombination mit Referenzverglasungen gemäß EN 13363-1 und EN 14501. Die Berechnungen wurden entsprechend der relevanten europäischen Normen und Verfahren durchgeführt (siehe Kapitel III) und von unabhängiger Seite validiert.

Die Vorteile von Sonnenschutzmaßnahmen sind seit Jahrhunderten bekannt. Allerdings war ein Vergleich der spezifischen und unabhängig bestätigten Leistungsmerkmale von Sonnenschutzmaterialien bisher nicht möglich. Shade Specifier ermöglicht es Planern und Bauherrn, eine sichere Wahl zu treffen.

Das von Shade Specifier verwendete Verfahren ist das gleiche, das von der Glasbranche verwendet wird und ist somit ein solider und effektiver Weg, die Integrität der Datenbank zu gewährleisten.

Zu den Ergebnissen gehören:

- der Gesamtenergiedurchlassgrad, g_{tot}
- die visuelle Transmission, T_v
- der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

IV. WIE SONNENSCHUTZSYSTEME DEN ENERGIEBEDARF EINES GEBÄUDES REDUZIEREN

Das vorangegangene Kapitel hat die Einflüsse von Sonnenschutzvorrichtungen auf transparente Bauteile erläutert. In diesem Abschnitt werden anhand von Berechnungsmodellen und Studien die Auswirkungen der Sonnenschutztechnik auf den Energiebedarf von Gebäuden mit mechanischer Kühlung dargestellt.

IV.1. Das “Textinergie®” Tool

IV.1.1. Was ist Textinergie®?

Textinergie® ist ein einfach zu bedienendes Webtool, welches die potenziellen Energieeinsparungen in Bürogebäuden durch die Verwendung textiler Sonnenschutzvorrichtungen quantifiziert – verglichen wird dabei der Energiebedarf eines Raumes mit und ohne Sonnenschutzvorrichtungen. Die Software wurde von SNFPSA (Französischer Verband der Erzeuger von Sonnenschutzsystemen) entwickelt und ist unter folgender Internet-Adresse zu finden: www.textinergie.org

Textinergie®.

Der Benutzer muss folgende Parameter definieren (Eingabedaten):

- Klimazone bzw. den Ort
- Fassadenausrichtung
- verglaste Fläche des Raums
- Art der Zweifachverglasung (B, C oder D, wie in EN 14501 definiert)
- Position des Sonnenschutz-Behangs (innen oder außen)
- Art des Stoffes bzw. Gewebes
- Farbe des Gewebes

Nach Festlegung der Eingabedaten liefert Textinergie® die Ergebnisse getrennt nach Sommer- und Winterfall in zwei Qualitätsstufen:

- Vereinfachte Ergebnisse: die prozentuelle Energieeinsparung für die Klimaanlage im Speziellen sowie die gesamte Haustechnik (Kühlen, Heizen und Beleuchten) als Ganzes.
- Detaillierte Ergebnisse: die Raumtemperaturen und operativen Temperaturen (° C), die mittlere Tageslicht-Belichtungsstärke (Lux) und die Energiebedarfswerte (kWh) für jeden Verbraucher (Klimatisierung, Heizung und Beleuchtung) sowie die den jeweiligen Verbrauchern zugeordneten Energieeinsparungen (%).

Die Ergebnisse werden für eine Verglasung mit oder ohne Verschattung dargestellt.

Die Berechnungen basieren auf dynamischen Simulationen für ein ganzes Jahr mit einem Zeitintervall von fünf Minuten, deren Ergebnisse in einer Datenbank gespeichert wurden. Die Benutzer des Tools treffen ihre Auswahl direkt aus dieser Datenbank und können rasch die Auswirkungen unterschiedlicher Parameter vergleichen bzw. abschätzen und so eine optimale technische Lösung finden.

IV.1.2. Einfluss des Standorts

Abbildung 17 zeigt den Energiebedarf für Heizung, Klimatisierung und Beleuchtung für eine 20 m² Bürofläche in verschiedenen europäischen Städten. Das Büro ist mit einem 2-Scheiben Wärmeschutzglas Typ C nach EN 14501 ($U_w=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g=0,59$, Argonfüllung, Low-E Position 3) ausgestattet und nach Süden ausgerichtet.

- Der Verglasungsanteil der Fassade beträgt 80 %.
- Die Verschattung (Fassadenmarkise) ist dunkelgrau und vor der Verglasung montiert.

- Die Verschattung dient sowohl dem Sonnen- als auch dem Blendschutz (Schwellwerte für die Belichtungsstärke am Tisch 500 Lux im Sommer und 900 Lux im Winter).
- Die künstliche Beleuchtung wird tageslichtabhängig gesteuert; Kunstlicht wird erst zugeschaltet, wenn die Verschattung vollständig eingefahren ist und das Tageslichtniveau nicht ausreichend ist. Deshalb hat der Sonnenschutz keine negativen Auswirkungen auf den Kunstlichtbedarf.

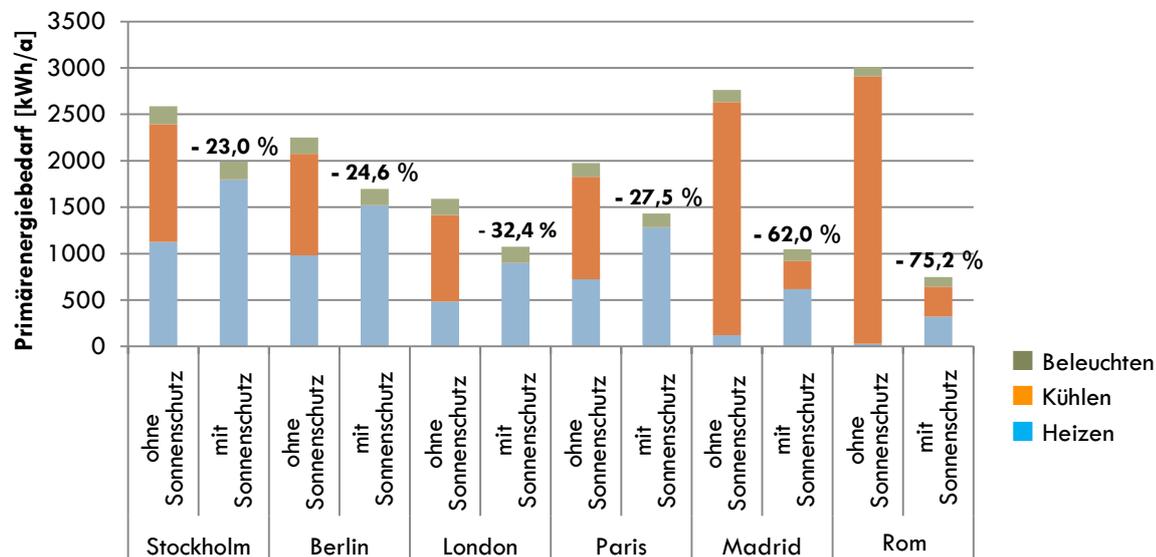


ABBILDUNG 17 – ENERGIEBEDARF (ERMITTELT MIT TEXTINERGIE®) FÜR VERSCHIEDENE EUROPÄISCHE STÄDTE

Die Verwendung einer Außenverschattung führt in allen Fällen zu erheblichen Energieeinsparungen.

Abbildung 17 veranschaulicht, welche wichtige Rolle das Verschattungs- und Steuerungskonzept hinsichtlich der Energieeinsparung spielt. In diesem Vergleich bedingt die sehr massive Reduktion der Helligkeit am Tisch (orientiert sich an den Mindestanforderungen nach den Normen für Kunstlicht und nicht an biologisch und visuell optimalen Werten, die deutlich höher sein können) eine hohe Verschattungshäufigkeit. Durch die Einbaulage des Systems vor der Fassade kommt es während der Heizperiode zu deutlichen Einbußen bei den solaren Gewinnen, was sich auf den Heizwärmebedarf auswirkt. Wäre die Verschattung, insbesondere der Blendschutz, nicht wegfahrbar (Sonnenschutzglas oder starre Verschattungen), würde sich der Energiebedarf fürs Heizen und Beleuchten weiter erhöhen!

Deshalb ist es wichtig, bereits in der frühen Planungsphase ein optimales Verschattungskonzept (inkl. optimaler Verglasung) zu entwickeln, das in jedem Fall dynamisch und intelligent gesteuert sein sollte.

Die Gesamtergebnisse für den Standort eines Büros zeigen, dass trotz des gewählten Verschattungskonzeptes (außenliegender Sonnenschutz dient auch dem Blendschutz), eine deutliche Einsparung, insbesondere des Kühlenergiebedarfs, erzielt wird.

Mit Ausnahme der südlichen Regionen (Madrid und Rom), in denen der Kühlenergiebedarf um über 60 % reduziert wird, kann in Mittel- und Nordeuropa auf eine Klimatisierung komplett verzichtet werden. Diese Einsparung an Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten ermöglicht eine rasche Amortisation der Sonnenschutzanlage.

IV.1.3. Einfluss der Ausrichtung

ABBILDUNG 18 zeigt die Auswirkungen der Büroausrichtung für drei Klimaregionen.

Abhängig von der geografischen Lage der jeweiligen Stadt, variiert die optimale Ausrichtung geringfügig. Den größten Energieeinspareffekt erzielen in Stockholm die Ostfassaden (-28,1 %), in Paris sind es die Westfassaden (-31 %) und in Rom die Südfassaden (-75,2 %).

Die Ergebnisse verdeutlichen aber auch, wie wichtig Sonnenschutzvorrichtungen an Nordwest-Fassaden sind und dass diese einen wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten können.

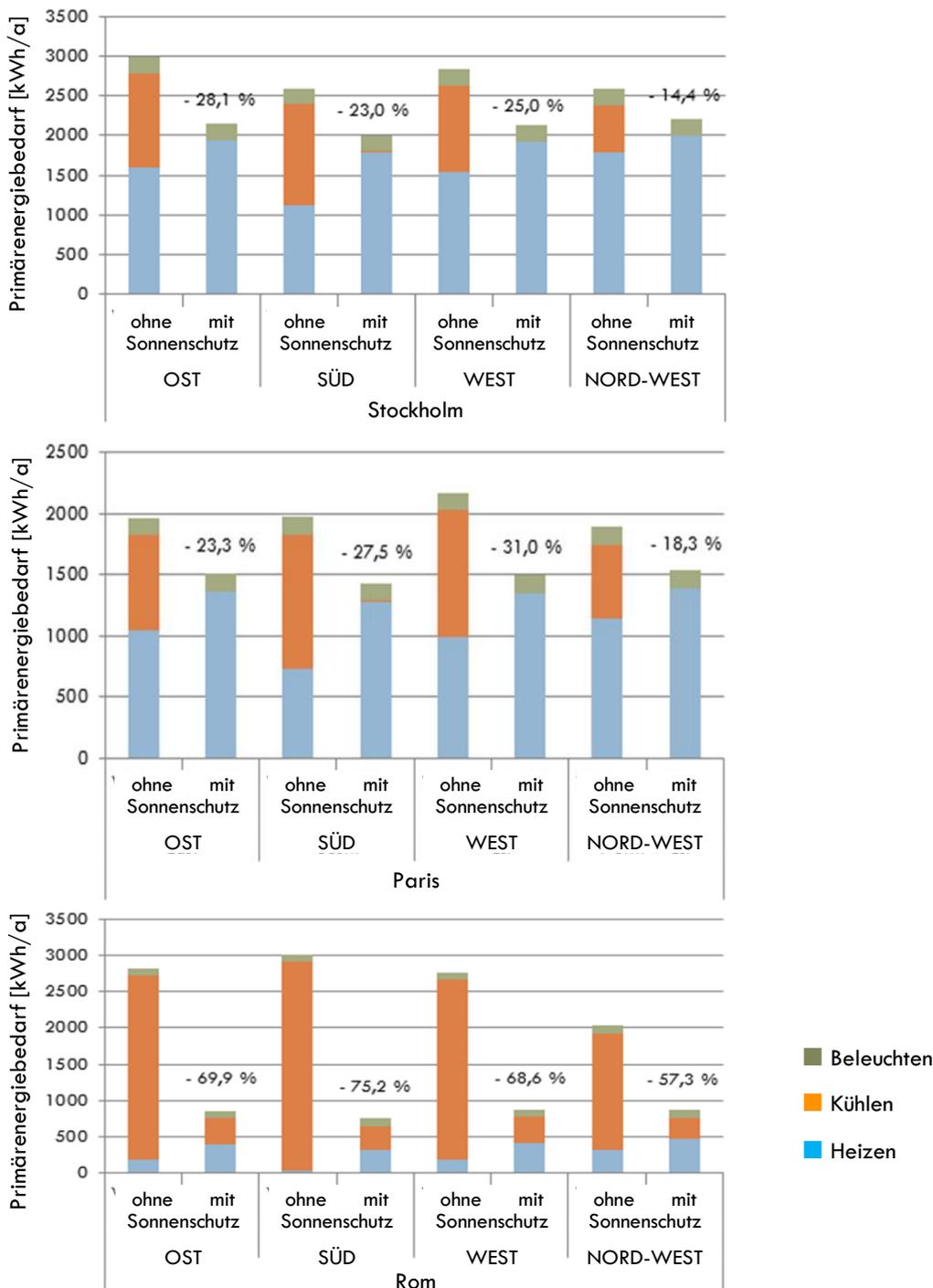


ABBILDUNG 18– ENERGIEBEDARF (ERMITTELT MIT TEXTINERGIE®) FÜR AUSRICHTUNGEN UND KLIMAREGIONEN

Ein weiteres nützliches Softwaretool zur Berechnung des Energiebedarfs fürs Heizen, Kühlen und Beleuchten sowie des thermischen und visuellen Diskomforts wurde von Bartenbach GmbH, Zumtobel Lighting GmbH und TU-Innsbruck) entwickelt und ist unter www.dalec.net abrufbar.

IV.2. ES-SO und REHVA Handbuch

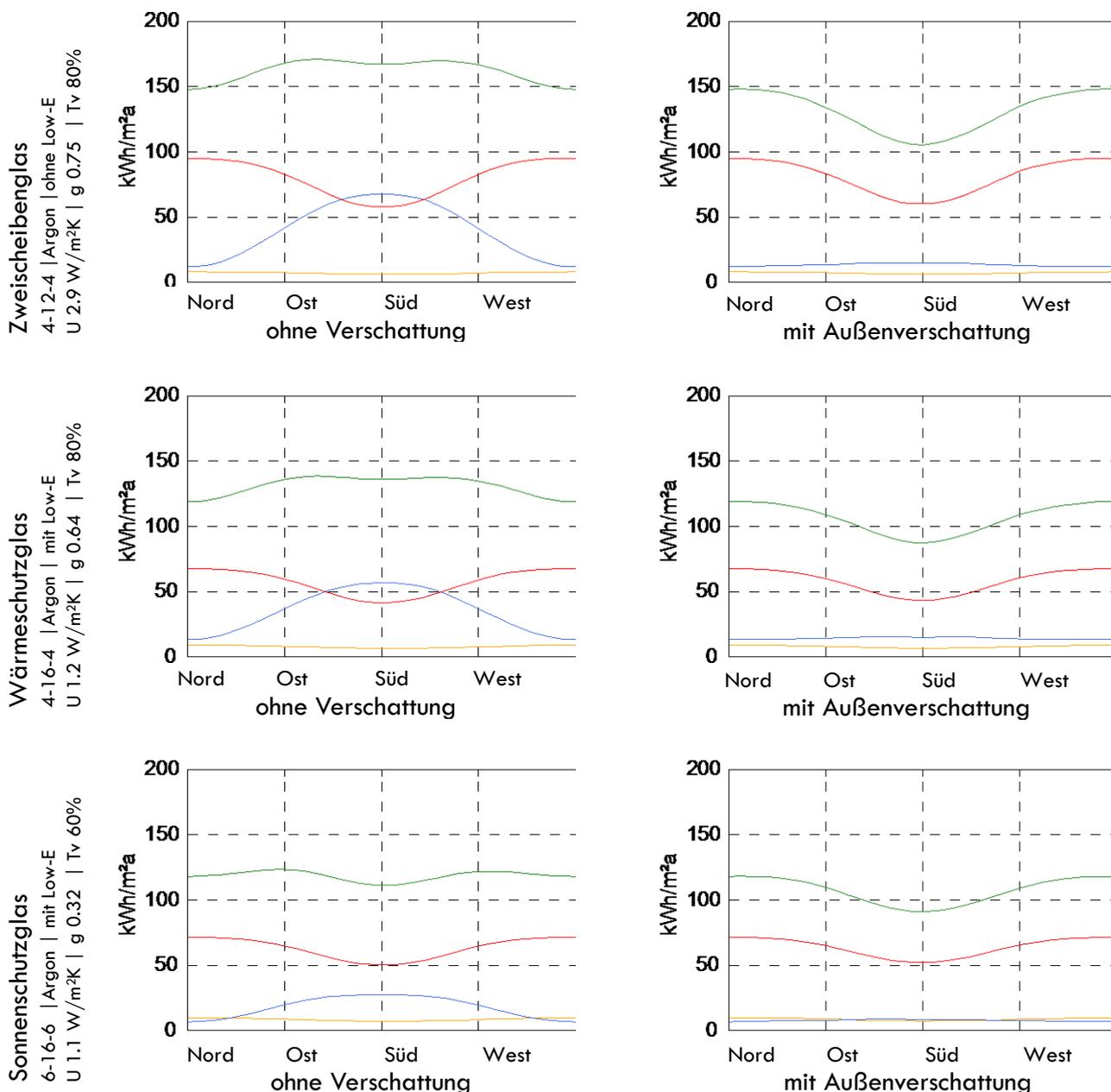
Im Jahr 2010 haben ES-SO und REHVA (Vereinigung der Europäischen Heizungs- und Klimaingenieurverbände) ein Handbuch zum Thema Sonnenschutz veröffentlicht¹. Unter anderem wurde darin der Energiebedarf eines Modellbüros für drei Klimaregionen, basierend auf klar definierten bzw. identen Eingabewerten, mittels EnergyPlus™ berechnet. Die Einzelheiten zur Methodik und zum Rechenmodell können im ES-SO & REHVA Handbuch nachgelesen werden.

¹ "Sonnenschutz, wie Sonnenschutz in nachhaltige Gebäude zu integrieren ist"

Hier werden nun die wesentlichen Ergebnisse für zwei Klimaregionen bzw. Städten zusammengefasst.

IV.2.1. Stockholm

Abbildung 19 zeigt den jährlichen Energiebedarf für unterschiedliche Ausrichtungen für das Modellbüro in Stockholm.



Die rote Linie zeigt den jährlichen Heizwärmebedarf.
 Die blaue Linie weist die vom Lüftungs- und Kühlsystem abgeführte Wärme aus.
 Die gelbe Linie repräsentiert die für die Beleuchtung benötigte elektrische Energie.
 Die grüne Linie weist die gesamte Primärenergie fürs Heizen, Kühlen und Beleuchten aus.
 Das detaillierte Berechnungsverfahren ist dem ES-SO/REHVA Handbuch zu entnehmen!

ABBILDUNG 19 – JAHRESENERGIEBILANZ FÜR DAS MODELLBÜRO IN STOCKHOLM (QUELLE ES-SO & REHVA HANDBUCH)

Der Energiebedarf der Büros wird eindeutig von der Heizwärme dominiert. Bei Südausrichtung ist der Wärmebedarf im Winter aufgrund der solaren Gewinne für alle Verglasungsarten deutlich niedriger als bei Nordausrichtung. Im Sommer kommt es bei Südausrichtung zu einem beträchtlichen Überangebot an solarer Wärme; dies führt zu einem erheblichen Energiebedarf für mechanisches Kühlen. Je höher der g-Wert der Verglasung, umso deutlicher steigt der Kühlbedarf ohne Verschattung.

Die Situation stellt sich - wie in der rechten Spalte von Abbildung 19 ersichtlich - deutlich anders dar, wenn ein äußerer Sonnenschutz installiert ist. Der Jahresenergiebedarf für die Kühlung reduziert sich bei Südorientierung um über 70 %. In diesem Modell wird der außenliegende Sonnenschutz zugleich als Blendschutz genutzt, das führt infolge einer temporären Reduktion des Energie- und Lichteintrags zu einer minimalen Erhöhung des Energiebedarfs beim Heizen und Beleuchten, der jedoch bei weitem durch die Energieeinsparung beim Kühlen kompensiert wird.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Variante Wärmeschutzverglasung mit Sonnenschutz (im Fallbeispiel mit Außenjalousie) den niedrigsten Primärenergiebedarf ($\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$) aufweist. Hingegen erweist sich, dass Sonnenschutzglas ohne Sonnenschutz deutlich höheren Bedarf an Heizwärme generiert, der bei weitem nicht durch Kühlenergieerzeugung kompensieren werden kann. Außerdem ist zu erkennen, dass die Kombination Sonnenschutzglas mit Verschattung im Vergleich zu der kostengünstigeren Kombination Wärmeschutzglas mit Verschattung zu einer leichten Erhöhung des Primärenergiebedarfs führt! Das liegt daran, dass ein im Schatten der Sonnenschutzvorrichtung liegendes Sonnenschutzglas in Hinblick auf die Kühllast beinahe wirkungslos ist, dafür aber infolge des geringeren Energie- und Lichteintrages der Bedarf an Kunstlicht und Heizwärme steigt.

Abbildung 20 zeigt die Kühllast (W/m^2) durch solare Einstrahlung in Abhängigkeit von der Fensterorientierung für die drei unterschiedlichen Verglasungen. Die durchgehenden Linien zeigen die Kühllast ohne Sonnenschutz, die gestrichelten Linien verdeutlichen die Kühllast mit Sonnenschutz.

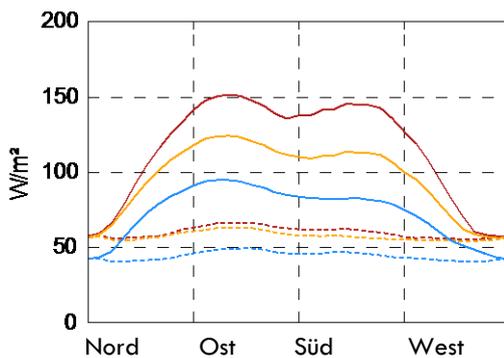


ABBILDUNG 20 - KÜHLLAST IN ABHÄNGIGKEIT VON DER FASSADENAUSRICHTUNG (QUELLE ES-SO & REHVA HANDBUCH)

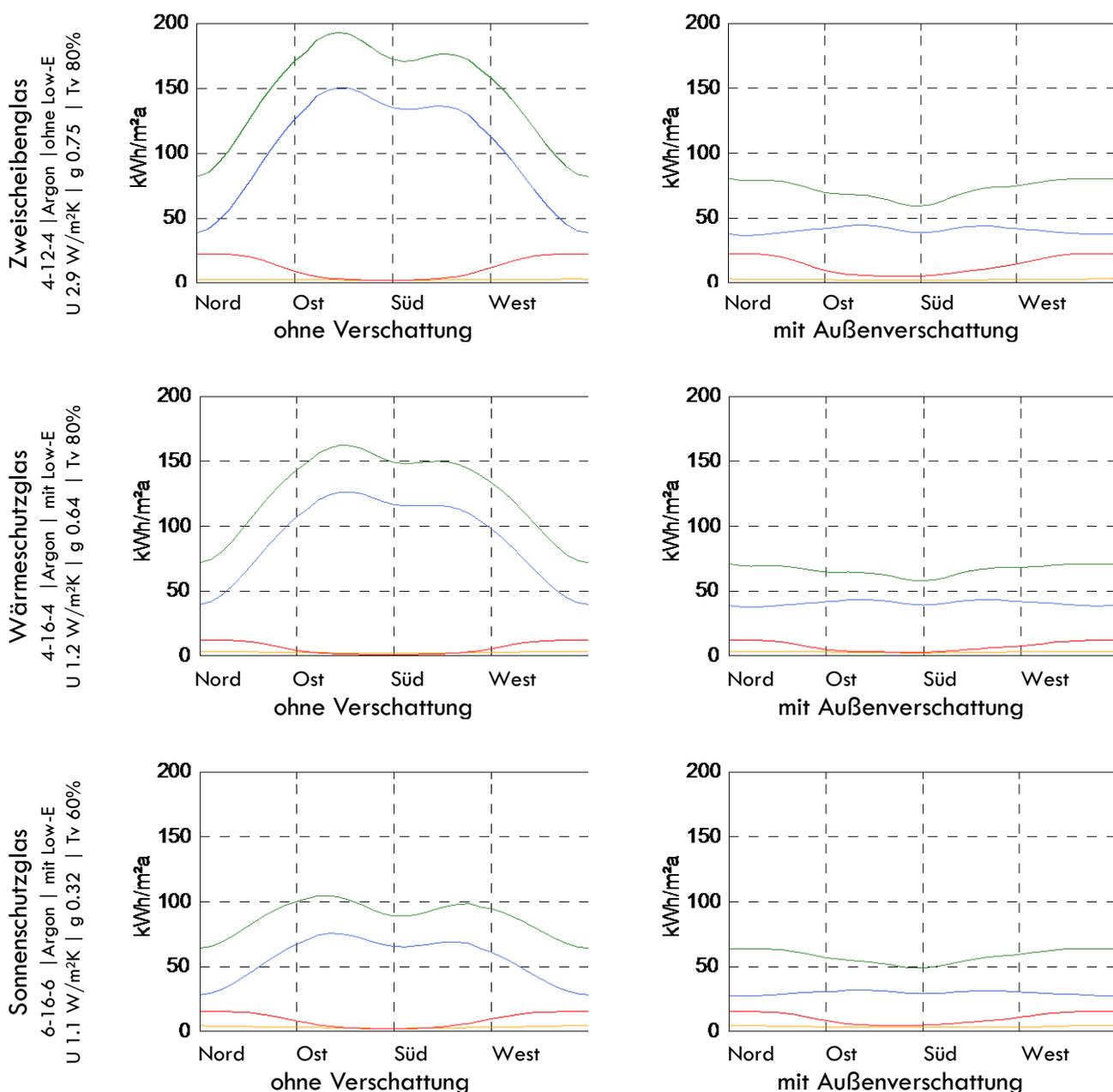
Rote Linie	Zweischeibenglas	$U\ 2.9\ \text{W}/\text{m}^2\text{K}$ $g\ 0.75$ $T_v\ 80\%$
Orange Linie	Wärmeschutzglas	$U\ 1.2\ \text{W}/\text{m}^2\text{K}$ $g\ 0.64$ $T_v\ 80\%$
Blaue Linie	Sonnenschutzglas	$U\ 1.1\ \text{W}/\text{m}^2\text{K}$ $g\ 0.32$ $T_v\ 60\%$

IV.2.2. Madrid

Abbildung 21 zeigt den Energiebedarf in Abhängigkeit von der Ausrichtung des Büros in Madrid. In diesem Fall wird der Energiebedarf eindeutig durch das Kühlen dominiert. Bei Südausrichtung fällt im Winter aufgrund der passiven Solargewinne kaum Heizwärmebedarf an; hingegen kommt es im Sommer zu einer beträchtlichen Wärmeeinstrahlung, die erheblichen Kühlenergiebedarf generiert.

Eine Sonnenschutzvorrichtung reduziert den Primärenergiebedarf für alle Fassadenorientierungen mit Ausnahme der Nordausrichtung erheblich. Im Fallbeispiel Madrid wird der niedrigste Primärenergiebedarf mit einer Kombination aus Sonnenschutzverglasung und Außensonnenschutz erreicht.

Die Kombination von Sonnenschutzverglasung mit Sonnenschutz ist eine etwas ungewöhnliche Wahl und nur für südliche Regionen in Erwägung zu ziehen. Normalerweise wird die Sonnenschutzverglasung als Alternative zum Außensonnenschutz beworben. In diesem Fall ist der Primärenergiebedarf für ein Büro, das mit Sonnenschutzglas und Raffstore ausgestattet ist, in etwa um 30 % niedriger als bei der Variante Sonnenschutzverglasung ohne Verschattung.



Die rote Linie zeigt den jährlichen Heizwärmebedarf.
 Die blaue Linie weist die vom Lüftungs- und Kühlsystem abgeführte Wärme aus.
 Die gelbe Linie repräsentiert die für die Beleuchtung benötigte elektrische Energie.
 Die grüne Linie weist die gesamte Primärenergie fürs Heizen, Kühlen und Beleuchten aus.
 Das detaillierte Berechnungsverfahren ist dem ES-SO/REHVA Handbuch zu entnehmen!

ABBILDUNG 21– JAHRESENERGIEBILANZ FÜR DAS MODELLBÜRO IN MADRID (QUELLE ES-SO & REHVA HANDBUCH)

Die Ergebnisse für Madrid sind in der Tendenz ähnlich zu jenen in Stockholm- für alle drei Ver- glasungsarten erweist sich die Außenverschattung als energieeffiziente Lösung! Als effizient ist insbesondere die Variante Wärmeschutzglas mit Sonnenschutz (im Fallbeispiel mit Außenjalousie) anzusehen. Im Vergleich dazu erweist sich die Variante Sonnenschutzglas mit Außenverschattung jedoch als noch etwas effektiver. Das liegt daran, dass in südlichen Regionen der Energiebedarf der Büros nicht von der Heizwärme dominiert wird und somit eine permanente Reduktion solarer Gewinne praktisch kaum Auswirkungen hat.

V. WIE SONNENSCHUTZSYSTEME DIE THERMISCHE UND VISUELLE BEHAGLICHKEIT DES GEBÄUDES VERBESSERN

Im vorangegangenen Kapitel sind die Auswirkungen des Sonnenschutzes auf den Energiebedarf von mechanisch gekühlten Büroräumen dargestellt worden. Dynamische Verschattungen spielen aber auch hinsichtlich der thermischen und visuellen Behaglichkeit der Nutzer bzw. Bewohner eine wesentliche Rolle. In diesem Kapitel werden Studienergebnisse zum Thema Komfort in der Gebäudeplanung präsentiert.

V.1. Auswirkungen von Außenverschattung auf die sommerliche Behaglichkeit

Im Jahr 2010 wurde vom Ingenieurbüro TBC im Auftrag des SNFPSA (Französischer Verband der Erzeuger von Sonnenschutzsystemen) eine Studie für typische Wohnhäuser an drei französischen Standorten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser thermischen Simulationen (gerechnet mit der Software Comfie+Pleiade²) zeigen, dass durch die Verwendung von Rollläden bei hohen Außentemperaturen die Maximaltemperatur im Raum um bis zu 6 °C niedriger gehalten werden kann.

Abbildung 22 zeigt die Höchsttemperaturen, die in der Wohnung bei unterschiedlichen Betriebsmodi der Rollläden (Außenverschattung) erreicht werden:

- Uhr-Modus von 8.00 bis 18.00 Uhr werden die Rollläden abgefahren
- Außentemperatur-Modus bei Außentemperatur über 23 °C werden die Rollläden zu 50 % und ab 26 °C zur Gänze geschlossen
- Lichtstärke-Modus sobald die Lichtstärke auf der Fassade 10.000 beträgt, werden die Rollläden komplett herunter gefahren

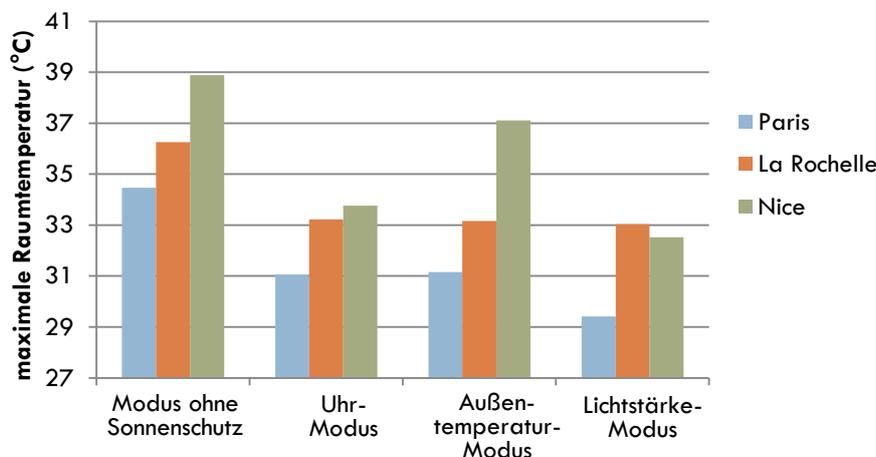


ABBILDUNG 22 – HÖCHSTTEMPERATUR FÜR VERSCHIEDENE BETRIEBSMODI VON ROLLLÄDEN (QUELLE TBC UND SNFPSA)

Detaillierte Ergebnisse werden in der Tabelle 9 gezeigt.

TABELLE 9 – HÖCHSTTEMPERATUR FÜR VERSCHIEDENE BETRIEBSMODI VON ROLLLÄDEN

	Paris	La Rochelle	Nizza
Rollläden tagsüber geöffnet	34,46 °C	36,26 °C	38,89 °C
Uhr-Modus	-3,41 °C	-3,04 °C	-5,13 °C
Außentemperatur-Modus	-3,31 °C	-3,10 °C	-1,78 °C
Lichtstärke-Modus	-5,05 °C	-3,23 °C	-6,37 °C

² Pleiades + Comfie hat das Berechnungssystem Comfie verwendet, entwickelt vom Zentrum für Energie der Ingenieurschule Mines Paris Tech.

Die Verwendung von Rollläden an warmen Tagen reduziert die Raumtemperatur gegenüber der Außentemperatur in allen Fällen.

Der Lichtstärke-Betriebsmodus liefert den besten Kompromiss. Er ist in Bezug auf die Reduktion der Überwärmung am effektivsten und bietet Bewohnern sonnenexponierter Räume die Vorteile eines freien Ausblicks und der Tageslichtnutzung auch bei geringer Außenhelligkeit.

Die thermische Unbehaglichkeitsgrenze (Diskomfort) definiert sich über die Innentemperatur. Diese muss entweder unter 16 °C oder über 27 °C betragen. Unter der Unbehaglichkeitsrate ist das Verhältnis zwischen den Stunden mit Diskomfort und den genutzten (bewohnten) Stunden zu verstehen.

Tabelle 10 zeigt die Berechnungsergebnisse der Unbehaglichkeitsrate für die drei Standorte je nach Betriebsmodus. Da in den Beispielen die Heizung bei 19 °C aktiviert wird, beziehen sich die unbehaglichen Stunden auf Raumtemperaturen von über 27 °C.

TABELLE 10 – RATE DER UNBEHAGLICHKEIT FÜR VERSCHIEDENE BETRIEBSMODI VON ROLLLÄDEN

	Paris	La Rochelle	Nizza
Rollläden tagsüber geöffnet	19,6 %	23,6 %	39,1 %
Uhr-Modus	4,1 % (- 15,5 %)	6,9 % (- 16,7 %)	30,4 % (- 8,7 %)
Außentemperatur-Modus	14,9 % (- 4,7 %)	18,1 % (- 5,5 %)	39,0 % (- 0,1 %)
Lichtstärke-Modus	4,3 % (-15,3 %)	5,8 % (- 17,8 %)	27,6 % (- 11,5 %)

Um die Unbehaglichkeitsrate zu reduzieren, stellt sich wiederum der Lichtstärkemodus als beste Option heraus- je nach Klimazone zwischen 11 % bis 18 %. Der Uhrzeitmodus liefert ähnliche Ergebnisse, würde jedoch das Tageslichtangebot nicht ausreichend nutzen, was von Seiten der Bewohner als unbehaglich angesehen werden würde. Der Außentemperaturmodus erweist sich als wenig effizient. Vor allem für warme, südliche Regionen wie Nizza ist er nahezu unwirksam. Die Region Nizza ist die wärmste Frankreichs. Daher sollten hier zusätzliche Maßnahmen getroffen (z. B. thermische Trägheit des Gebäudes), um eine angemessene Behaglichkeit zu erzielen.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommt das Fraunhofer-Institut ISE in einer Studie aus dem Jahre 2010. Unter anderem wurden für ein Büro- und ein Wohngebäude die Auswirkungen zweier Verschattungskonzepte (Sonnenschutzglas versus Wärmeschutzglas mit Raffstore, Lamellenposition Cut-Off bzw. 35° fix) untersucht (Simulation mittels TRANSYS). Das Ergebnis - eine Außenverschattung hält bei 33°C Umgebungstemperatur die Temperatur im Raum um 5 bis 7 °K niedriger als ein Sonnenschutzglas (29°C gegenüber 36°C; bei Wärmeschutzglas ohne Sonnenschutz sogar 47°C)! Außerdem wurde festgestellt, dass sich die Variante Außenverschattung mit innenliegendem Blendschutz als optimal erweist; der Primär-Energiebedarf fürs Heizen, Kühlen und Beleuchten ist um 40% geringer als bei der Variante Sonnenschutzglas!

V.2. Auswirkungen von Sonnenschutz auf die visuelle Behaglichkeit

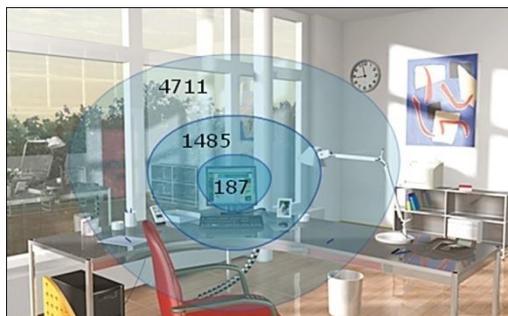
Visuelle Behaglichkeit beruht zum einen auf persönlicher Wahrnehmung. Die subjektive visuelle Behaglichkeit variiert in einer bestimmten Bandbreite von Person zu Person und hängt unter anderem auch vom Alter ab – ältere Menschen brauchen für die gleiche Sehaufgabe mehr Licht als jüngere Personen. Darüber hinaus ist Sehen ein kognitiver Prozess, der sich im Gehirn abspielt und beispielsweise die Ermüdung, die Fehlerhäufigkeit oder den Lernerfolg beeinflusst – diese Faktoren, wie auch jene, die die gesundheitlichen Auswirkungen der visuellen Umgebung betreffen, lassen sich nur durch objektive Methoden erfassen und bewerten.

Tageslicht stimuliert unsere Körpertemperatur, den Hormonhaushalt und es ist ein biologischer Taktgeber (z. B. für den Biorhythmus). Es besteht kein Zweifel daran, dass Tageslicht nicht ohne Konsequenzen durch künstliche Beleuchtung ersetzt werden kann.

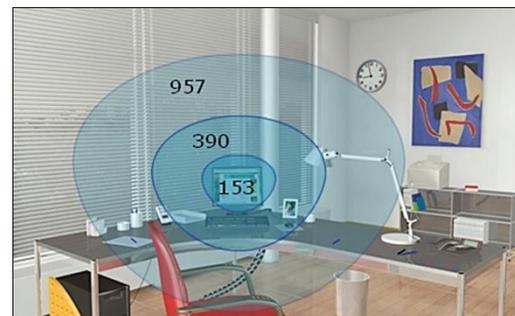
Natürlich belichtete Räume mit Büroarbeit – vor allem an Bildschirmen und in der Nähe von Glasflächen – bergen ein hohes Risiko in Bezug auf visuellen Diskomfort in Form von Blendung. Der direkte Blick in die Sonne (Direktblendung) schädigt das Auge und muss vermieden bzw. unterbunden werden. Aber auch das einfallende Tageslicht kann als zu hell empfunden werden (Kontrastblendung, z. B. gleißender Himmel, helle Fassaden in der Umgebung oder auch schneebedeckte Flächen). Entscheidend ist in diesem Fall der Kontrast (Leuchtdichteunterschied) zwischen Arbeitsfläche und Umgebung (z. B. Glasfläche). Der Kontrast lässt sich mittels Leuchtdichtemessungen bewerten.

Um Tageslicht sinnvoll bzw. bedarfsgerecht nutzen zu können, muss es der jeweiligen Seh-Aufgabe bzw. Tätigkeit angepasst werden. Für Bildschirmarbeit wie in Abbildung 23 ist zu beachten, dass die relativ geringe Leuchtdichte des Bildschirms (max. 200 cd/m^2) für die Helligkeit der Arbeitsfläche sowie der Umgebung (insbesondere der hellsten Fläche, dem Fenster) bestimmend ist. Dabei sollte der Kontrast im Arbeitsbereich (in Abbildung 23 die Fläche rund um den Bildschirm) den Wert von 1:3 bzw. 3:1 nicht über- bzw. unterschreiten. Der Kontrast im Sichtfeld (in Abbildung 23 die äußere, hellblaue Fläche) sollte auf ein Verhältnis von 1:10 bzw. 10:1 begrenzt werden.

Im Gegensatz zum konstant leuchtenden Bildschirmarbeitsplatz ändert sich beim Lesen eines Buches das Kontrastverhältnis auch bei zunehmender Helligkeit der Umgebung zwischen Arbeitsfläche (Buchseite) und Sichtfeld nicht gravierend. Während sich eine gedruckte Vorlage an die Umgebungshelligkeit anpasst, muss bei Bildschirmarbeit die Umgebung der Helligkeit des Monitors angepasst werden.



Ohne Sonnenschutz



Mit Sonnenschutz

ABBILDUNG 23 – LEUCHTDICHTE MIT UND OHNE SONNENSCHUTZ IN EINEM BÜRO (FOTOS: SOMFY)

Abbildung 23 stellt die Leuchtdichte in einem Büro dar, links ohne und rechts mit Blendschutz. Die Reduktion der Leuchtdichten (Werte in cd/m^2) an Fenstern, Wänden und Möbeln ist erheblich und die Anforderungen der Bildschirmarbeitsplatzverordnung (Kontrast 1:3 bzw. 1:10, Blendschutz verstellbar bzw. wegfahrbar) müssen erfüllt werden.

Das ES-SO und REHVA Handbuch aus dem Jahr 2010 (siehe IV.2) fasst jene wissenschaftlichen Forschungsergebnisse zusammen, die den Einfluss von Tageslicht im Hinblick auf die Leistungs- und Lernfähigkeit von Mitarbeitern und Studierenden beschreiben:

- Durch Maximierung von blendfreiem Tageslicht in Kombination mit tageslichtabhängiger Kunstlichtsteuerung wurde ein durchschnittlicher Produktivitätsvorteil von 3,75 % festgestellt! [Carnegie Mellon University, CMU 2004].
- Personen, die einen fensternahen Arbeitsplatz haben, haben im Vergleich zu jenen, die fensterfern arbeiten (kaum freien Blick nach außen und keine ausreichende Tageslichtversorgung), durchschnittlich zwischen 20 % und 25 % weniger nennenswerte gesundheitliche Beschwerden! [Hart 1999, Hart 1994].

- Der Zugang zu Fenstern (Ausblick) und Tageslicht führte zu einer 15%-igen Senkung von Fehlzeiten!
[Thay 1995].
- Direkte Sonneneinstrahlung in Klassenräumen, vor allem durch unverschattete, nach Osten oder Süden ausgerichtete Fenster, ist mit negativem Lernfortschritt verbunden!
[Hesh 2003b]
- Schüler mit ausreichendem Tageslicht in ihren Klassenzimmern haben, über ein ganzes Jahr hinweg betrachtet, um 20 % bessere Lernerfolge in Mathematik und 26 % bei Lesetests erzielt!
[Hesh 1999].

Aus den obigen Ausführungen kann geschlossen werden, dass natürliches Tageslicht einen bedeutenden und positiven Einfluss auf die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Produktivität hat. Um jederzeit den bedarfsgerechten visuellen Komfort gewährleisten zu können, ist die Anpassung der Tageslichtintensität (ohne Einflussnahme auf die Qualität bzw. das Spektrum des natürlichen Lichts) entsprechend der jeweiligen Außenbedingung notwendig.

Bibliographie

(1) Europäische Normen

- EN 14501 „Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Leistungsanforderungen und Klassifizierung“
- EN 14500 „Abschlüsse – Thermischer und visueller Komfort – Prüf- und Berechnungsverfahren“
- EN 13125 „Abschlüsse – Zusätzlicher Wärmedurchlasswiderstand – Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt“
- EN 13363-1 „Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Vereinfachtes Verfahren“
- EN 13363-2 „Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen - Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades - Detailliertes Berechnungsverfahren“
- EN ISO 10077-1 „Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Allgemeines“
- EN 410: "Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen"

(2) Handbücher

- “Guide de la Fermeture et de la Protection Solaire », 2010, gemeinsam herausgegeben von SEBPTP und Metal’Services
- “Solar Shading, how to integrate solar shading in sustainable buildings”, 2010, herausgegeben von REHVA, 40 rue de Washington, 1050 Brüssel, Belgien; info@rehva.eu

(3) FORSCHUNG

- “Création d'un outil d'aide au choix optimisé du vitrage du bâtiment selon des critères physiques, écologiques et économiques, pour un meilleur confort visuel et thermique”, Magali Bodart, UCL, April 2002.
- Analyse de l'apport énergétique du volet roulant, TBC & SNFPSA, März 2010
- Energiebedarfsberechnung für ein Büro und ein Wohngebäude, Fraunhofer ISE März 2010
- [CMU 2004] Guidelines for High Performance Buildings (Richtlinien für energieoptimierte Gebäude)2004<http://cbpd.arc.cmu.edu/ebids/images/group/cases/Daylighting.pdf>
- [Hart 1994] Hartkopf, V., V. Loftness, S. Duckworth, S. Lee, P. Drake, J. Posner und G. Rainer. The Intelligent Workplace Retrofit initiative: DOE Building Studies. Produziert im Auftrag des US-Energieministeriums, Dezember 1994.
- [Hart 1999] Hartkopf, V., Loftness, V. Global relevance of total building performance, Automation in Construction 8, (1999), Seiten 377-393.
- [Hesh 1999] Heschong, Mahone, Daylighting in Schools: An investigation into the relationship between daylighting and human performance, 1999.
- [Hesh 2003b] Heschong, L., Windows and Classrooms: A Study of Student Performance and the Indoor Environment. Für die Kalifornische Energiebehörde (California Energy Commission) vorbereiteter Bericht, 2003.
- [Thay 1995] Thayer, Burke Miller, Daylighting & Productivity at Lockheed, Solar Today, Band 9, 1995.

(4) Informative Links

- ES-SO Website: www.es-so.com
- Textinergie Tool: www.textinergie.org
- DALEC: www.dalec.net
- Win-Shelter Software : www.pit.enea.it

Die deutsche Ausgabe dieses Handbuches wurde herausgegeben von den nationalen Sonnenschutzverbänden Österreichs, Deutschlands und der Schweiz.

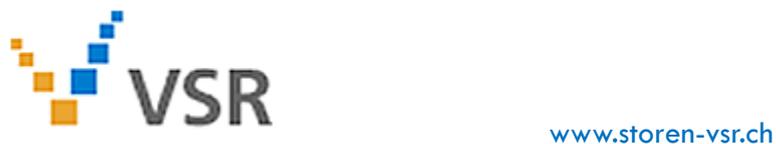
Bundesverband Sonnenschutztechnik Österreich



Industrieverband Technische Textilien - Rollladen - Sonnenschutz e.V.



VSR Verband Schweizerischer Anbieter von Sonnen- und Wetterschutz-Systemen



Die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ("EPBD") und insbesondere die Novellierung von 2010 fordert, dass ab 2020 alle neuen Gebäude in Europa Niedrigstenergiegebäude sein müssen. Dieses Ziel ist nur durch die Optimierung der Gebäudehülle erreichbar.

Innerhalb der Gebäudehülle spielt der transparente bzw. verglaste Teil eine wichtige Rolle, weil er Gebäude mit Licht und Wärme versorgt. Licht- und Wärmeniveaus variieren jedoch das ganze Jahr über. Um das Ziel des Niedrigstenergiegebäudes erreichen zu können, müssen zum einen die Wärmeströme kontrolliert (gesteuert) werden. Zum anderen muss der Komfort für die Bewohner und Nutzer eines Gebäudes gewährleistet werden. Die Sonnenschutztechnik, die über eine breite Palette an Produkten und Steuerungssystemen verfügt, bedient mit ihren dynamischen bzw. flexiblen Lösungen diese Anforderungen am besten, da sie die statischen (starr) Eigenschaften von verglasten Bauteilen sowohl an die äußeren Bedingungen als auch an die Bedürfnisse von Personen anpassen kann und so für ein stabiles Innenraumklima sorgt.

Deshalb darf Sonnenschutz nicht als untergeordnete Technik der verglasten Gebäudehülle angesehen werden, sondern muss in der ersten Phase der Projektentwicklung in die Gebäudeplanung mit einbezogen werden. Nur dann ist es möglich, die Leistungsbilanz transparenter Bauteile und Hüllen zu vergleichen und zu bewerten sowie den Energiebedarf fürs Heizen, Kühlen und Beleuchten zu berechnen. Außerdem lässt sich die visuelle und thermische Behaglichkeit für die zukünftigen Nutzer bereits gut im Voraus bestimmen, womit sich aufwendige Änderungen an Fassaden oder im Gebäude selbst nach der Übergabe vermeiden lassen.

Dieses Handbuch hat den Zweck, jene technischen Informationen bereitzustellen, die erforderlich sind, um die Leistung des Sonnenschutzes zu bewerten. Es beinhaltet die notwendigen Grundprinzipien, um die physikalischen Eigenschaften in Bezug auf die solare Einstrahlung durch Glas und Sonnenschutz zu verstehen. Dieses Handbuch beleuchtet auch die standardisierten Berechnungsverfahren zur Bewertung der thermischen und optischen Eigenschaften von Sonnenschutzsystemen und gibt einen Überblick zu den aktuellen technischen Studien und Forschungsarbeiten. Nicht zuletzt dokumentiert die Publikation die Auswirkungen von Sonnenschutzvorrichtungen auf den Energieverbrauch von Gebäuden und die Behaglichkeit seiner Bewohner.

Obwohl dieses Handbuch hauptsächlich für Sonnenschutzhersteller und Sonnenschutzmonteure bestimmt ist, wird es auch für Gebäudeplaner und Energieberater von Interesse sein.