



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 28.08.2015

S.A.D.L.E.S.S.

Systemische Betrachtung von Beschattungs-
systemen mit dem Fokus Tageslicht
zur Optimierung der sia – Norm 380/4

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energieforschung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:

Stadt Zürich, Amt für Hochbauten
Lindenhofstrasse 21, 8021 Zürich

Schenker Storen AG
Stauwehrstrasse 34, 5012 Schönenwerd

Siemens Schweiz AG
Freilagerstrasse 28, 8047 Zürich

Schnittstelle zur sia:

e-light GmbH, Stefan Gasser
Schaffhauserstr. 34, 8006 Zürich

Auftragnehmer:

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Zentrum für Integrale Gebäudetechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw/LU
www.hslu.ch

Autoren:

Björn Schrader	bjoern.schrader@hslu.ch
Silas Gerber	silas.gerber@hslu.ch
Urs-Peter Menti	urs-peter.menti@hslu.ch

BFE-Bereichsleiter:	Andreas Eckmanns
BFE-Programmleiter:	Rolf Moser
BFE-Vertragsnummer:	SI/500896-01

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

Zusammenfassung

Der seit Jahren etablierte Energienachweis nach SIA 380/4 für Beleuchtung ist zurzeit in Überarbeitung. In diesem Zusammenhang bezweckt das vorliegende Projekt die systemische Untersuchung von Sonnenschutzsystemen. Die Ergebnisse dienen der Optimierung der SIA 380/4 im Bereich der Tageslichtnutzung.

Analysiert wurden sieben Standardsysteme (Rafflamellenstoren, Stoffmarkisen), die alle eine hohe Marktdurchdringung aufweisen. Die Untersuchungen erfolgten mit Hilfe eines 1:1 Messaufbaus in dem drehbaren Lichtmesscontainer an der Hochschule Luzern.

Die zu Beginn der Arbeit durchgeführte Analyse der Aufgaben des Sonnenschutzes zeigt deutlich, dass der aussenliegende Sonnenschutz in erster Linie das Gebäude vor thermischer Überhitzung schützen soll (Primäraufgabe). Alle anderen essenziellen Aufgaben können ebenso gut mit anderen Systemen (z.B. mit innenliegenden Behängen) gelöst werden. Deshalb muss die Gebäudeplanung eine grundsätzlich optimale Tageslichtversorgung anstreben. Zudem ist die Zeitspanne, in welcher der aussenliegende Sonnenschutz auf Grund der Primäraufgabe geschlossen sein muss, zu minimieren.

Der Sonnenschutz kann bis über 50% der Betriebszeit geschlossen sein. Dies geht klar aus der Analyse der Klimadaten (den vertikalen Globalstrahlungsdaten) hervor und ist zwingend in die SIA 380/4 zu integrieren. Ebenso sind die bestehenden Abhängigkeiten zwischen sommerlichem Wärmeschutz und Beleuchtung in den unterschiedlichen SIA-Normen stärker zu verankern und zu vereinheitlichen.

Die Tageslichtmessungen fanden im Lichtmesscontainer unter realen Bedingungen statt. Sie wurden zur Überprüfung bzw. zur Bestätigung des Korrekturfaktors für den Sonnenschutz durchgeführt.

Die Wirkungsweise ist vom verwendeten Sonnenschutzsystem, der Lamellenform und der Materialität (Transmissions- und Reflexionseigenschaften) abhängig. Die SIA 380/4 erfasst diese Eigenschaften als Qualitätsmerkmale. Diese führen zu dessen Bewertung und schliesslich zum Korrekturfaktor für den Sonnenschutz, der direkten Einfluss auf die Reduktion der Volllaststunden hat.

Die Testmessungen zeigten deutlich, dass der Aufwand zum Erreichen des jeweiligen Betriebszustandes hoch ist. Dies trifft insbesondere bei einer reproduzierbaren Lamellenwinkeleinstellung zu. Grundlegende Systemeigenschaften des verwendeten Storens wie Aufhängung, Motor, Antrieb, Montage usw. haben dabei einen wesentlichen Einfluss. Diese wurden aber bislang nicht als Qualitätsmerkmale erfasst. Die gesamte Funktions- und Leistungsfähigkeit resultiert in der Fahrstrategie des Sonnenschutzsystems und der Abstimmung mit der Lichtsteuerung. Somit ist der Inbetriebnahme mehr Beachtung zu schenken, da sich die Qualität der Inbetriebnahme positiv auf die Leistungsfähigkeit des Systems auswirkt. Deshalb sollte die Fahrstrategie unbedingt in die SIA 380/4 implementiert werden.

Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass man Tageslichtnutzung bislang zu positiv bewertet hat. Der minimalst mögliche Wert für die Volllaststunden liegt aktuell bei 2 Stunden. Dieser steigt unter der Berücksichtigung der Klimaeinflüsse auf 3.5 Stunden (bezogen auf eine vertikale Globalstrahlung von 200 W/m^2) und auf 3.9 Stunden (bezogen auf eine vertikale Globalstrahlung von 150 W/m^2). Ob die Zeit, in der der Sonnenschutz heruntergefahren ist, die Volllaststunden weiter erhöht (auf bis zu 5,5 Stunden) oder eine Tageslichtnutzung zulässt, hängt von der gewählten Fahrstrategie des Gebäudeautomationssystems ab.

Der Einfluss des Sonnenschutzsystems an sich liegt je nach Fahrstrategie und Schwellwerten (Globalstrahlung, Aussentemperatur etc.), abhängig vom gewählten System, zwischen

11 und 25%. Die Messergebnisse legen klar dar, dass dunkle Lamellen selbst im fensternahen Bereich keine ausreichende Tageslichtnutzung ermöglichen; dunkle Stoffbehänge bieten im geschlossenen Zustand keinerlei Tageslichtnutzung.

Bei den optimalsten Mineralisierungen der untersuchten Standardprodukte (weisse Lamelle und weisser Stoffbehang) ist bis in eine Raumtiefe von 2.75 m eine gute Tageslichtversorgung möglich.

Bei Lamellen mit einer silbrigen Farbgebung (Reflexionsgrad ca. 50%) und grauen Stoffstoren (Transmissionsgrad ca. 20%) kann im fensternahen Bereich noch mit einer guten Tageslichtversorgung gerechnet werden.

Die Ergebnisse aus diesem Projekt werden in die überarbeitete Version der SIA 380/4 integriert werden.

Aufgrund der internationalen Normierungsbestrebungen wird weiter nachdrücklich empfohlen, eine Strategie für den Erhalt der SIA 380/4 zu entwerfen mit dem Ziel, die langjährigen Errungenschaften für die Schweiz zu erhalten. Der Nachweis soll weiterhin den effizienten Umgang von elektrischer Energie in der Beleuchtung fördern und den Planern als ein bewährtes Tool zur Optimierung des elektrischen Energiebedarfs dienen.

Der Aussenbezug wurde bei diesem Projekt nicht vertieft untersucht, auch wenn er eine wichtige Komfortanforderung für zukünftige Gebäude darstellt. Dieser sollte Inhalt eines Folgeprojektes sein.

Inhalt

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Ziele der Arbeit.....	1
1.3	Vorgehen und Methode.....	2
1.4	Abgrenzung.....	2
1.5	Nationale Zusammenarbeit	3
1.6	Internationale Zusammenarbeit.....	3
2	Grundlagen	4
2.1	Sonnenschutz	4
2.1.1	Typologien von Sonnenschutzsystemen	5
2.1.2	Abhängigkeit zu anderen Gewerken und Label.....	6
2.2	Beleuchtungsenergieverbrauch.....	7
3	Analyse.....	8
3.1	Einfluss des Tageslichts auf die Betriebsstunden.....	8
3.2	Berechnung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung	8
3.2.1	Analyse von Klimadaten	8
3.2.2	Fahrstrategie	15
3.2.3	Berechnung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung innerhalb der SIA 380/4.....	17
3.2.4	Alternative Berechnungsmethoden	19
3.3	Analyse der Berechnungsmethoden.....	19
3.4	Empfehlung.....	19
4	Messung zur Beurteilung des Einflusses des Sonnenschutzes auf die mögliche Tageslichtnutzung.....	21
4.1	Ziele der Messung.....	22
4.2	Messaufbau und Messsystem	22
4.2.1	Messraum.....	22
4.2.2	Messgrösse	23
4.2.3	Messraster.....	25
4.2.4	Wettersituation.....	26
4.3	Auswahl der Storesysteme für die Messungen.....	27
4.3.1	Positionierung Sonnenschutz.....	29
4.3.2	Messablauf	30
5	Ergebnisse.....	31
5.1	Rafflamellenstoren	31

5.2	Tageslichtverlauf im Raum und Messprotokolle	32
5.2.1	Messergebnisse Lamelle – weiss.....	33
5.2.2	Messergebnisse Lamelle – silber	35
5.2.3	Messergebnisse Lamelle – schwarz	36
5.2.4	Messergebnisse Lamelle – silber perforiert.....	38
5.3	Stoffstoren.....	40
5.3.1	Messergebnisse Stoff – weiss.....	40
5.3.2	Messergebnisse Stoff – grau	42
5.3.3	Messergebnisse Stoff – dunkelgrau	43
5.4	Subjektive Beurteilung des Ausblicks	44
5.5	Diskussion.....	45
6	Fazit.....	48
6.1	Fazit für die SIA 380/4.....	48
6.2	Fazit für Planende	50
6.3	Fazit für Gesetzgeber, Behörden, MINERGIE	50
7	Ausblick	51
8	Abkürzungsverzeichnis	52
9	Abbildungs- /Tabellenverzeichnis.....	54
10	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	56
11	Anhang	57

1 Einleitung

Der Beleuchtungsnachweis nach der SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau (SIA 380/4, 2006) ist seit Jahren in der Praxis etabliert. Zurzeit befindet sich diese Norm in Überarbeitung. Dabei werden Anpassungen vorgenommen, die einerseits neue Entwicklungen im Bereich der Lichterzeugung betreffen. Andererseits führt man notwendige Optimierungen durch, die aus den gesammelten Erfahrungen aus der Überprüfung der Nachweise und den Kontrollen vor Ort resultieren. Der Nachweis soll weiterhin den effizienten Umgang von elektrischer Energie in der Beleuchtung fördern und den Planern als ein bewährtes Tool zur Optimierung des elektrischen Energiebedarfs dienen.

Das Projekt S.A.D.L.E.S.S. fokussiert bei den Untersuchungen die Tageslichtnutzung. Unterschiedliche Sonnenschutzsysteme werden auf Ihre Eigenschaften bzgl. des Tageslichts in einem realen Raum untersucht. Das Ziel ist es, die Berechnungsalgorithmen, die den Elektrizitätsbedarf für die Beleuchtung berechnen, bzgl. des Tageslichteinflusses zu prüfen und zu optimieren. Die wichtigsten Einflussgrößen sind zu quantifizieren und als Korrekturfaktoren für die SIA 380/4 aufzubereiten. Die Auswahl und die Klassifizierung der verwendeten Sonnenschutzsysteme soll für den Anwender der SIA 380/4 transparenter und nachvollziehbarer werden.

1.1 Ausgangslage

Die Parameter, die auf die Tageslichtnutzung Einfluss haben, werden bisher innerhalb des Berechnungsmodells über Korrekturfaktoren abgebildet. Diese Korrekturfaktoren wurden mit Hilfe von lichttechnischen Simulationen ermittelt (Weber & Sinimalé, 2004). In der Norm wurden einige Fallunterscheidungen vorgenommen (wie z.B. die Ausrichtung der Fassade auf einen Wert reduziert wird). Diese Vereinfachungen dienen der Herabsetzung der Komplexität und des Aufwands bei der Eingabe. Dabei nahm man die damit einhergehende Ungenauigkeit bewusst in Kauf, um auf dem Markt die Akzeptanz für den Nachweis zu erhalten. Bei der SIA 380/4 geht es um eine Einschätzung des zu erwartenden Elektrizitätsbedarfs bei der Beleuchtung in einem Gebäude und nicht um eine exakte Berechnung, die alle denkbaren Einflussgrößen berücksichtigt. Vielmehr steht der rationelle Einsatz und die Möglichkeit zur Optimierung im Vordergrund, die eine Lenkungsmassnahme für die wesentlichen Einflussgrößen (wie z.B. die Tageslichtnutzung) ermöglicht.

Als Basis der vorliegenden Untersuchung dienten somit die in der SIA 380/4 realisierten Berechnungsalgorithmen sowie die Ergebnisse aus Simulationen. Ziel ist es, die bisherige Berechnungsmethode des Elektrizitätsbedarfs bzgl. Tageslichtnutzung und im speziellen die Klassifizierung der Sonnenschutzsysteme in Hinblick auf eine normgerechte Beleuchtung zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Analysiert werden ebenfalls die Methoden der EN 15193-1 (*prEN 15193-1*, 2014), die sich zur Zeit in Überarbeitung befindet.

1.2 Ziele der Arbeit

Die primären Fragestellungen werden innerhalb des Projektes bearbeitet; die sekundären Fragestellungen können in Abhängigkeit zu ihrer Relevanz bei Bedarf in das Projekt integriert werden.

Primäre Aufgaben und Fragestellungen

- Das aktuelle Berechnungsmodell des Elektrizitätsbedarfs für die Beleuchtung bzgl. Tageslichtnutzung ist zu überprüfen und weiterzuentwickeln.
- Können die aus den Simulationen ermittelten Korrekturfaktoren für den Sonnenschutz (Storentyp, Lamellenfarbe) und deren Wirkungsprinzipien durch die Messungen bestätigt werden?
- Gibt es weitere Einflussgrößen bzgl. Tageslichtnutzung, die bislang noch nicht berücksichtigt wurden, und Einfluss auf den Elektrizitätsbedarf haben?
- Wie erfolgt zukünftig die Klassifizierung der unterschiedlichen Sonnenschutzsysteme (Lamelle, Stoff, Rollladen). Welche Bewertungskriterien kommen dabei zum Einsatz?
- Welche Werte erhalten die Korrekturfaktoren für die jeweilige Klassifizierung?

Sekundäre Fragenstellungen

- Welche Faktoren sind entscheidend für eine optimale Tageslichtnutzung?
- Welche Abhängigkeiten bestehen zu anderen Gewerken? Werden diese in der SIA 380/4 berücksichtigt?
- Welche Systeme bieten die Möglichkeit des Ausblicks?
- Wie wirkt sich eine weitere Steigerung der Energieeffizienz bei den Leuchten auf die Tageslichtnutzung aus?

1.3 Vorgehen und Methode

Der erste Teil befasst sich mit den grundlegenden Zusammenhängen zu Sonnenschutzsystemen und den Grundlagen zur Ermittlung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung.

Im anschliessenden Analyseteil werden anhand der Klimadaten für ausgewählte Standorte die theoretischen Betriebsstunden für die künstliche Beleuchtung und die unterschiedlichen Tageslichtnutzungszeiten untersucht. Diese werden mit den Berechnungsmethoden der SIA 380/4 verglichen.

Der dritte Teil der Untersuchung widmet sich dem Messkonzept und den eigentlichen Messungen der unterschiedlichen Standard-Sonnenschutzsysteme.

Im Schlussteil werden die Resultate erörtert. Empfehlungen zur Implementation in die SIA 380/4 und ein Ausblick für die Zukunft schliessen die Arbeit ab.

1.4 Abgrenzung

Die SIA 380/4 bildet das Nutzungsprofil für Beleuchtung über die Volllaststunden ab. Auf die Reduktion dieser Volllaststunden haben unterschiedliche Parameter Einfluss, die in der Berechnung zu berücksichtigen sind. Neben der Raumnutzung und der Präsenzerfassung ist die Versorgung des Raumes mit Tageslicht von entscheidender Bedeutung. Eine zentrale Einflussgrösse ist dabei das verwendete Sonnenschutzsystem, das den Hauptbestandteil der Untersuchungen darstellt. Aufgrund ihres hohen Marktanteils beschränken sich die Untersuchungen allerdings auf vertikale Systeme.

Der nutzbare Tageslichtanteil wurde unter realen Bedingungen lichttechnisch in einem Referenzraum gemessen. Die Ergebnisse der Messungen dienen der Anpassung und Gewichtung des Korrekturfaktors Sonnenschutz. Die anderen Korrekturfaktoren wurden nur im Hinblick auf die Gewichtung untereinander analysiert, aber nicht messtechnisch geprüft. Die Resultate sind als Empfehlungen für die Neufassung der SIA 380/4 formuliert. Die direkte Implementation derselben in die SIA 380/4 ist jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

1.5 Nationale Zusammenarbeit

Überarbeitung SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau – Teilprojekt Beleuchtung“
(SIA, Stefan Gasser eLight)

Die Ergebnisse der Untersuchung werden mit dem Projektpartner eLight besprochen, um diese gezielt in die neue SIA 380/4 zu integrieren. Die Firma eLight leitet das Projekt der SIA zur Überarbeitung der SIA 380/4.

Projektpartner aus der Privatwirtschaft

Das Projekt steht in Zusammenarbeit mit den folgenden Projektpartnern aus der Privatwirtschaft:

- Die Firma *Schenker Storen AG* lieferte wichtige Erkenntnisse zur Marktdurchdringung von Standard-Sonnenschutzsystemen und stellte die sieben Sonnenschutzsysteme für die Messungen bereit.
- Die Firma *Siemens Schweiz AG* unterstützte das Projekt mit dem Aufbau der notwendigen Gebäudeautomationsstruktur und mit zusätzlichen Komponenten für die Messtechnik und die Datenspeicherung.
- Die Firma *Estia* aus Lausanne führte Lichtsimulationen des Versuchsraumes mit der eigenen Software durch. Die Resultate dienen im weiteren Verlauf der Verifizierung der Messergebnisse.

1.6 Internationale Zusammenarbeit

keine

2 Grundlagen

2.1 Sonnenschutz

Der heutige Sonnenschutz übernimmt in modernen Gebäuden verschiedenste Aufgaben. Primär soll er den Raum vor der thermischen Solarstrahlung und somit vor Überhitzung schützen. Zu diesem Zweck setzt man aussenliegende Systeme ein. Für die weiteren Sekundäraufgaben (siehe Tabelle 1) ist der Sonnenschutz aus ergonomischer, energetischer und funktionaler Sicht nicht optimal ausgelegt und kann diese deshalb auch nur suboptimal erfüllen. Diese Aufgaben werden deshalb den oben genannten primären Aufgaben untergeordnet.

Neben dem thermischen Schutz wird die Anforderung, den Nutzer vor Blendung zu schützen, als ein weiteres wichtiges Argument für das Herunterlassen des äusseren Sonnenschutzes angeführt. Aus ergonomischer Sicht ist diese Vorgabe wichtig. Ob es zu einer Blendungserscheinung am Arbeitsplatz kommt, ist von vielen Parametern wie beispielsweise von der Arbeitsplatzanordnung, dem Verwendungszweck der Räume und nicht zuletzt von den dort arbeitenden Personen abhängig. Deshalb sollte der Blendschutz in jedem Falle individuell bedient werden können. Ein innenliegender Blendschutz hat aus energetischer Sicht sogar Vorteile, da die solaren Gewinne in den kalten Monaten weiter genutzt werden können. Auch lassen sich einzelne Arbeitsplätze mit einem manuell bedienbaren Blendschutz gezielter schützen, ohne dass man einen grösseren Bereich des Raumes vom Tageslicht trennen muss. Aus diesem Grund wird der Blendschutz in der unten dargestellten Tabelle als sekundäre Aufgabe bewertet. Auch die weiteren Sekundäraufgaben können innenliegende Systeme erfüllen.

Tabelle 1: Aufgaben des Sonnenschutzes

Aufgabe	Art der Aufgabe	Eignung innenliegend	Eignung ausenliegend
Schutz vor thermischer Solarstrahlung	primär	-	++
Kälteschutz in der Nacht	sekundär	-	++
Blendschutz	sekundär	+	+
Verdunkelung	sekundär	+	+
Sichtschutz (von aussen nach innen bzw. von innen nach aussen)	sekundär	+	+
Vandalenschutz (Schutz vor Vandalismus oder Sicherheit)	sekundär	-	0

2.1.1 Typologien von Sonnenschutzsystemen

Auf dem Markt sind unterschiedliche vertikale Sonnenschutzsysteme erhältlich. Im Folgenden werden die auf dem Schweizer Markt meist verbreiteten vertikalen Sonnenschutzsysteme nach Ihren Eigenschaften und Wirkprinzipien analysiert.



FIG. 1: Systemübersicht: Stoff-, Rafflamelle, Rollladen (Quelle: Warema)

Vertikaler Storen mit Lichttransmission (z.B. Stoffstoren)

Zu den vertikalen Storen mit Lichttransmission zählen beispielsweise Stoffstoren mit einem lichtdurchlässigen Stoff. Je nach Art des Stoffes wird auch der Ausblick bei geschlossenem Storen ermöglicht. Bei Stoffstoren hängt die Windfestigkeit stark von der Art des Materials und der Grösse der Fläche ab. Im Gegensatz zu Lamellenstoren ist der Wartungs- bzw. Reinigungsaufwand grösser.

Rafflamellenstoren

Lamellenstoren werden häufig aus Metalllamellen zusammengefügt. Diese sind je nach Steuerung einstellbar. Abhängig von der Neigung können sie Tageslicht in den Raum lassen und gleichzeitig die thermische Einstrahlung reduzieren. Zudem ermöglichen Lamellen den Ausblick, wenn sie geöffnet sind. Sind sie geschlossen, kann der g-Wert auf rund einen Viertel reduziert werden. Rafflamellenstoren sind robust und können je nach Ausführung auch besonders windfest sein. Je nach Art der Lamelle (Perforation) wird auch der Ausblick bei geschlossenem Storen ermöglicht.

Storensystem mit Tageslichtumlenkung

Zu den Storensystemen mit Tageslichtumlenkung gehören unter anderen Rafflamellenstoren mit einer optimierten Anordnung und Steuerung der einzelnen Lamellen. Solche Storen können beispielsweise die Lamellen im unteren Bereich des Fensters, wo grosse thermische Einstrahlung herrscht, schliessen und gleichzeitig jene in den oberen Bereichen, wo Tageslicht ohne zusätzliche Einstrahlung in den Raum gelassen werden kann, waagrecht stellen.

Vertikaler Storen ohne Lichttransmission (Rollladen, lichtdichter Stoff usw.)

Bei Rollladen und lichtdichten Stoffen als vertikaler Sonnenschutz ist bei geschlossenem System keine Lichttransmission vorhanden. Deshalb sind solche Vorrichtungen für die Tageslichtnutzung kaum geeignet. Durch das geschlossene System lässt sich jedoch eine gute Reduktion des Transmissionskoeffizienten (g-Wert) erzielen. Bezüglich Wartung und Windfestigkeit unterscheiden sie sich nicht stark von den vertikalen Storen mit Lichttransmission. Ein Ausblick ist allerdings nicht möglich. Rollladen sind dagegen sehr robust und benötigen wenig Wartung.

2.1.2 Abhängigkeit zu anderen Gewerken und Label

Neben der guten Tageslichtausnutzung stellen weitere Normen aus anderen Gewerken zusätzliche Anforderungen an den Sonnenschutz, die ebenfalls zu berücksichtigen sind. Um keine sich widersprechende Anforderungen zu generieren, ist es zwingend, dass die unterschiedlichen Normen aufeinander abgestimmt sind.

Unter dem Kapitel Lüftung/Klimatisierung der SIA 380/4 wird in den Einzelanforderungen für den Sonnenschutz die folgende Voraussetzung getroffen:

„Der Sonnenschutz muss den Anforderungen der Norm SIA 382/1 (SIA 382-1, 2007), Ziffer 2.1.3, entsprechen. In der damals gültigen Norm ist hinterlegt, dass der Sonnenschutz bei einer Globalstrahlung von 150 W/m^2 auf der Fassade geschlossen heruntergefahren werden muss.“

Doch trotz dieses Hinweises wird im Berechnungsmodell der SIA 380/4 diesem Umstand nicht Rechnung getragen. Somit kann man davon ausgehen, dass der Einfluss des Tageslichts bislang viel zu positiv beurteilt worden ist.

Die Analyse der SIA-Referenzklimadaten (DRY Zürich Kloten warm und kalt) in Kapitel 3.2.1 und im speziellen jene der vertikalen Globalstrahlung machen ersichtlich, dass der Sonnenschutz aus thermischen Gründen innerhalb der betrachteten Nutzungszeiten während eines wesentlichen Zeitraums herunter zu fahren ist. In dieser Zeit ist eine Tageslichtnutzung nicht bzw. nur eingeschränkt möglich.

Auch bei anderen Tools wie z.B. Relux wird keine integrale Betrachtung durchgeführt. Diese sind rein auf die Betrachtung des Tageslichtes ausgerichtet und blenden den thermischen Einfluss aus. Dadurch können Tageslichtautonomien von über 90% ausgewiesen werden.

Label

Des Weiteren suggerieren Produktlabels, der Einsatz von Systemen mit dieser Auszeichnung führe automatisch zu einer sehr guten Energieeffizienz. Mit dem MINERGIE-Modul Sonnenschutz sollen z.B. Sonnenschutz-Systeme gekennzeichnet werden, die den in diesem Reglement festgelegten Vorgaben entsprechen und nach anerkannten Vorschriften hergestellt und montiert werden. Die mit diesem Label ausgezeichneten Sonnenschutz-Systeme weisen neben einer optimalen Energie-Effizienz auch eine hochwertige Qualität, Sicherheit und Komfort auf (Unterscheidung Home und Business).

„Ein MINERGIE-Modul Sonnenschutz besteht aus einem geprüften Sonnenschutz-Produkt (Lamellenstoren, Rollläden etc.) und einer geprüften Steuerung. Zwingend ist, dass das Sonnenschutz-Produkt beweglich, automatisiert und ‚ausenliegend‘ ist.“ (VSR, o. J.)

Aussagen zum Zielkonflikt Tageslicht versus thermischer Sonnenschutz oder zur integralen Planung sind jedoch nicht zu finden.

2.2 Beleuchtungsenergieverbrauch

Der elektrische Energieverbrauch für die Beleuchtung (in Nicht-Wohnbauten) ist in der SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau geregelt. Grundsätzlich beruht die Berechnung auf der folgenden Formel:

$$\text{Energie} = \text{Leistung} \cdot \text{Zeit} \qquad \text{Gl. 2-1}$$

Um die Leistung der Beleuchtungsanlage bestimmen zu können, ist eine Lichtplanung notwendig. Mittels einer lichttechnischen Simulation wird die Anzahl der zur Verwendung bestimmten Leuchten ermittelt. Aus der Systemleistung der einzelnen Leuchte und der Anzahl ergibt sich die Gesamtleistung der in einem Raum installierten Beleuchtung.

Auf weitere Einflussmöglichkeiten, die ausschliesslich die Leistung betreffen wie z.B. Standbyleistung, Maintenancecontrol usw., geht dieses Projekt nicht ein, da diese für die hier betrachteten Untersuchungen keine Relevanz haben.

Die Komponente Zeit ist mit wesentlich komplexeren Zusammenhängen verzahnt und unterliegt auch im Betrieb mannigfaltigen Beeinflussungen.

Die maximal möglichen jährlichen Betriebsstunden (t_y) sind mit 8760 Stunden vorgegeben. Diese Zeit wird meist nicht erreicht, da die Nutzung der Räume auf typische Arbeitszeiten ausgerichtet ist. Die zeitliche Nutzung des Raumes (Nutzungsprofil), wann Arbeiten in dem Raum durchgeführt werden, ist im SIA Merkblatt 2024 (SIA 2024, 2006), welches sich 2015 in Überarbeitung befindet, vermerkt. Dabei wird zwischen theoretischen Betriebsstunden am Tag und in der Nacht unterschieden.

Beispiel

- Nutzungsprofil Büro mit 11 Stunden Betriebsstunden pro Tag
- an 261 von 365 Tagen im Jahr
- in den Zeiten 7:00 – 12:00 und 13:00 – 19:00 bzw. 7:30 – 18:30 → 11 Stunden

Dies ergibt 2'871 Betriebsstunden pro Jahr.

3 Analyse

3.1 Einfluss des Tageslichts auf die Betriebsstunden

Bei ausreichendem Tageslicht kann die benötigte Beleuchtungsstärke im Innenraum theoretisch ohne Kunstlicht gewährleistet werden. Die folgenden Parameter bestimmen die mögliche Tageslichtnutzung:

- a. Grösse und Art der Öffnung
(Fassade, Glas, Rahmen, Verbauung, Balkon usw.)
- b. Grösse der Geometrie der zu beleuchtenden Fläche
(Innenraum, Arbeitsplatzanordnung usw.)
- c. geforderte Beleuchtungsstärke
- d. Tageslichtverfügbarkeit
(Wann steht an dem betrachteten Gebäudestandort die notwendige Aussenbeleuchtungsstärke zur Verfügung, die eine Tageslichtnutzung ermöglicht?)
- e. Einschränkung durch thermischen Sonnenschutz
(Das Gebäude muss vor thermischer Überhitzung geschützt werden.)

Die Grössen a. bis c. beeinflussen die mögliche Tageslichtnutzung. Bei optimalen Bedingungen kann in bestimmten Zonen auf Kunstlicht verzichtet werden. Die Parameter d. und e. verunmöglichen die Tageslichtnutzung bzw. schränken diese ein.

3.2 Berechnung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung

Für die Ermittlung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung existieren unterschiedliche Berechnungsmethoden. Im ersten Schritt werden Klimadaten analysiert, um die Tageslichtnutzung abschätzen zu können. Im zweiten Schritt werden die Ergebnisse mit den Berechnungsmethoden aus der SIA 380/4 verglichen. Des Weiteren wird auch ein alternatives Berechnungsverfahren der EN 15193-1 miteinbezogen.

3.2.1 Analyse von Klimadaten

Die unterschiedlichen Anteile pro Tag lassen sich aus den Klimadaten gewinnen und setzen sich aus den folgenden Komponenten zusammen:

$$t_{k\ TLN} + t_{Sg} + t_{e\ TLN} + t_{TLN} \quad \text{Gl. 3-1}$$

$t_{k\ TLN}$	Zeitlicher Anteil, bei dem die Aussenbeleuchtungsstärke nicht ausreicht, um eine Tageslichtnutzung zu ermöglichen.
t_{Sg}	Zeitlicher Anteil, bei dem der Sonnenschutz aus thermischen Gründen zwingend heruntergefahren und geschlossen sein muss.
$t_{e\ TLN}$	Zeitlicher Anteil, bei dem der Sonnenschutz aus thermischen Gründen zwingend heruntergefahren sein muss, aber eine eingeschränkte Tageslichtnutzung möglich ist (CutOff).
t_{TLN}	Zeitlicher Anteil, bei dem eine Tageslichtnutzung möglich ist.

Der zeitliche Anteil $t_{k\ TLN}$, bei dem die Aussenbeleuchtungsstärke nicht ausreicht, ist sowohl vom Standort, der baulichen Situation der Tageslichtöffnung als auch von der Standard-

nutzung abhängig. Das Berechnungsverfahren der SIA 380/4 berücksichtigt diesen Anteil mit pauschal 2h pro Tag (vgl. Gl. 3-2), was einer Aussenbeleuchtungsstärke (E_a) (in den meisten Standorten in der Schweiz) von 4500 lx entspricht.

Ob der Sonnenschutz aus thermischen Gründen heruntergefahren und geschlossen ist, wird im bisherigen Berechnungsverfahren der SIA 380/4 nicht berücksichtigt.

Der zeitliche Anteil t_{ksg} ist vom Schwellwert der vertikalen Globalstrahlung G_v der jeweiligen Fassade abhängig. Dieser Schwellwert ist in der im Jahr 2014 überarbeiteten Norm SIA 180 (SIA 180, 2014) mit 200 W/m^2 angegeben. Die frühere Version führte einen Wert von 150 W/m^2 auf. Dieser wird auch in Empfehlungen angegeben und ist in der Praxis häufig anzutreffen.

Die Bedingung für das Herunterfahren des Sonnenschutzes ist aber in den Wintermonaten nicht zwingend notwendig, denn bei tiefen Aussentemperaturen sollten die thermischen Gewinne genutzt werden können, um den Raum aufzuwärmen. In diesen Monaten steht die Sonne sehr tief und Blendungserscheinungen sind wahrscheinlich. Um die thermischen Gewinne dennoch zu nutzen und die Nutzer vor Blendung zu schützen, braucht es einerseits einen innenliegender Blendschutz; andererseits muss das Gebäudeautomationssystem diese Abhängigkeiten in der Fahrstrategie des Sonnenschutzes berücksichtigen.

Eine einschränkende Tageslichtnutzung t_{eTLN} liegt vor, wenn die vertikale Globalstrahlung den Schwellwert G_v übersteigt und der Sonnenschutz heruntergefahren werden muss. Da der thermische Ertrag, der einen Raum aufheizt, im Wesentlichen von der direkten Strahlung verursacht wird, muss dieser vom Sonnenschutzsystem abgehalten werden. Dies ist mit Rafflamellensystemen sehr gut möglich. Durch die Beeinflussung des Lamellenwinkels kann man auf die unterschiedlichen Sonnenhöhen reagieren. Oberhalb eines Sonnenhöhenwinkels von 45° lassen sich die meisten Standardrafflamellensysteme in eine horizontale Stellung fahren. Hier ist mit Standardsystemen eine eingeschränkte Tageslichtnutzung trotz herabgelassenen Behangs möglich. Allein dieser Anteil wird von der Lamellenoberfläche beeinflusst und soll innerhalb der Messungen genauer untersucht werden, da gemäss der SIA 380/4 die Lamellenoberfläche der massgebliche Faktor für die Bewertung der Qualität des Sonnenschutzes ist. Der daraus resultierende Korrekturfaktor geht aber vollumfänglich in die Berechnung der Volllaststunden ein und ist nicht nur auf einen Anteil begrenzt.

Um genaue Angaben für die jeweiligen Anteile der in der Gleichung Gl. 3-1 aufgeführten Zeiten zu erhalten, wurde eine Analyse der unterschiedlichen Standorten durchgeführt (SIA Referenzklimadaten / Design Reference Years (DRY) Zürich Kloten dry warm, Zürich Kloten dry kalt, Davos, Lugano, Zürich Kloten). Sämtliche Auswertungen berücksichtigen eine Betriebszeit von 11h (7.00 - 18.00). Als Schwellwert für das Herunterfahren des thermischen Sonnenschutzes unterschied man zwei Fälle. Die Auswertung der Klimadaten (SIA Zürich Kloten warm dry) wurde für die unterschiedlichen Fassadenausrichtungen durchgeführt. Dies geschah in Abhängigkeit zum gewählten Schwellwert für die vertikale Globalstrahlung $G_v = 150/200 \text{ W/m}^2$, der Aussentemperatur $T_a < 10^\circ \text{ Celsius}$, der Sonnenhöhe für CutOff $\gamma > 45^\circ$ und der minimal erforderlichen Beleuchtungsstärke $E_a > 4500 \text{ lx}$.

Fall 1: $G_v = 150 \text{ W/m}^2$ (DRY) ZH Klotten dry warm

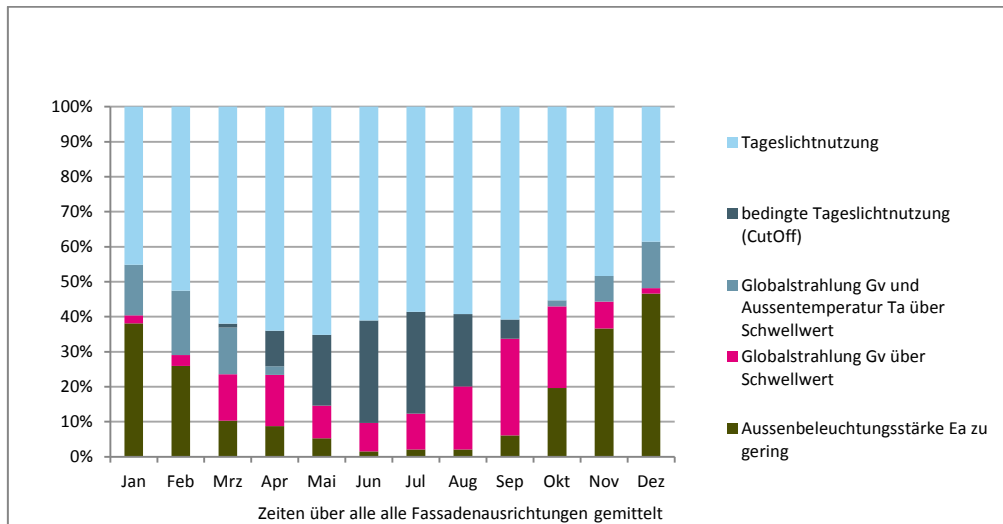


FIG. 2: Diagramm theoretisch mögliche Tageslichtnutzung ($G_v = 150 \text{ W/m}^2$)

Tabelle 2: Auswertung Fall 1 mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen

$$100 = t_{TLN} + t_{kTLN} + t_{Sg} + t_{TLN Ta} + t_{eTLN}$$

für $G_v = 150 \text{ W/m}^2$

$$100\% = 50\% + 18\% + 14\% + 4\% + 14\%$$

$$100\% = 54\% + 32\% + 14\% \cdot k'_{sp}$$

Rafflamelle & solare Gewinne

$$100\% = 54\% + 18\% + 28\% \cdot k'_{sp}$$

Stoffstoren & solare Gewinne

$$100\% = 50\% + 36\% + 14\% \cdot k'_{sp}$$

Rafflamelle

$$100\% = 50\% + 18\% + 32\% \cdot k'_{sp}$$

Stoffstoren

$$100\% = 50\% + 50\%$$

worst case
(lichtdichte vertikale Systeme)

$$100\% = 82\% + 18\%$$

Best case (theoretisch)

Tabelle 3: Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung ($G_v = 150 \text{ W/m}^2$)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø
t_{TLN} mögliche Tageslichtnutzung	74%	60%	58%	40%	37%	33%	47%	52%	50%	5.5h
t_{kTLN} Aussenbeleuchtungsstärke zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0h
T_{Sg} Globalstrahlung über Schwellwert therm. Sonnenschutz geschlossen	1%	8%	9%	17%	19%	24%	16%	14%	14%	1.5h
t_{eTLN} Globalstrahlung und Aussen-temperatur über Schwellwert	0%	2%	3%	6%	7%	6%	3%	1%	4%	0.4h
t_{eTLN} bedingte Tageslichtnutzung (CutOff Direktstrahlung)	7%	11%	11%	18%	19%	19%	15%	15%	14%	1.6h

Auswertung für Fall 2 $G_v = 200 \text{ W/m}^2$ (DRY) ZH Kloten dry warm

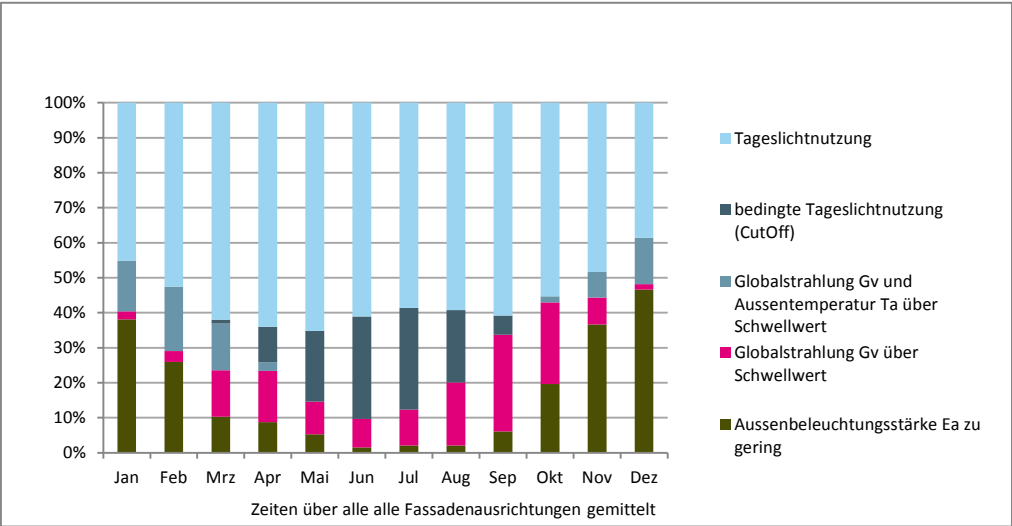


FIG. 3: Diagramm theoretisch mögliche Tageslichtnutzung ($G_v = 200 \text{ W/m}^2$)

Tabelle 4: Auswertung Fall 2 mit Fallunterscheidung verwendeter Sonnenschutz

$100\% = t_{TLN} + t_{kTLN} + t_{Sg} + t_{TLNTa} + t_{eTLN}$	für $G_v = 200 \text{ W/m}^2$
$100\% = 57\% + 18\% + 11\% + 3\% + 11\%$	
$100\% = 60\% + 29\% + 11\% \cdot k'_{sp}$	Rafflamelle & solare Gewinne
$100\% = 60\% + 18\% + 22\% \cdot k'_{sp}$	Stoffstoren & solare Gewinne
$100\% = 57\% + 32\% + 11\% \cdot k'_{sp}$	Rafflamelle
$100\% = 57\% + 18\% + 25\% \cdot k'_{sp}$	Stoffstoren
$100\% = 57\% + 43\%$	worst case (lichtdichte vertikale Systeme)
$100\% = 82\% + 18\%$	best case (theoretisch)

Tabelle 5: Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung ($G_v = 200 \text{ W/m}^2$)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø
t_{TLN} mögliche Tageslichtnutzung	82%	70%	65%	47%	41%	39%	56%	61%	57%	6.3h
t_{kTLN} Aussenbeleuchtungsstärke zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0h
T_{Sg} Globalstrahlung über Schwellwert; thermischer Sonnenschutz geschlossen	0%	7%	8%	14%	17%	20%	14%	10%	11%	1.2h
t_{eTLN} Globalstrahlung und Aussen-temperatur über Schwellwert	0%	1%	2%	5%	6%	5%	2%	1%	3%	0.3h
t_{eTLN} bedingte Tageslichtnutzung (CutOff Direktstrahlung)	0%	4%	7%	17%	18%	18%	11%	10%	11%	1.2h

Die Auswertung bezieht sich exemplarisch auf den Standort Zürich Kloten warm dry gemäss SIA. Der relative Anteil für eine Tageslichtnutzung liegt für den Fall 1 bei 50% und 57% für Fall 2. In beiden Fällen beträgt die Zeit mit einer zu geringen Aussenbeleuchtungsstärke 18%. Es verbleiben für eine eingeschränkte Tageslichtnutzung 32% bei einem Schwellwert 150 W/m^2 und 25% für 200 W/m^2 . Bei einer erweiterten Betrachtung lässt sich dieser Anteil weiter differenzieren. Der Sonnenschutz kann heraufgefahren werden, wenn man thermische Gewinne nutzen kann (Wintermonate, Blendung nicht berücksichtigt) sowie der Sonnenwinkel einen Wert von 45° überschritten hat. Ein Lamellensystem kann in solchen Fällen die Direktstrahlung bei horizontal gestellter Lamelle komplett blockieren. Wie der Tabelle 3 und Tabelle 5 zu entnehmen ist, muss der Sonnenschutz zwischen 11% bis 14% der Zeit heruntergefahren und mehrheitlich geschlossen sein. Lediglich für einen Anteil von 11% bis 14% (gleiche Werte zufallsbedingt / kein Schreibfehler) kann mit einer eingeschränkten Tageslichtnutzung gerechnet werden.

Welche Tageslichtnutzungen in Abhängigkeit des gewählten Systems (Stoff oder Lamelle) und Farbe erreicht werden, wird im Kapitel 4 beschrieben.

Bei Sonnenschutzsystemen aus Stoff haben die lichttechnischen Eigenschaften des Materials sowohl Einfluss auf den Anteil „eingeschränkte Tageslichtnutzung“ als auch auf den Anteil, bei dem der Sonnenschutz zwingend geschlossen sein muss. Daher ist hier der Einfluss der Systemeigenschaften grösser als bei einem Lamellensystem.

$$100\% = 57\% + 18\% + 25\% \cdot k'_{sp}$$

Stoffstoren mit $G_v = 200 \text{ W/m}^2$

$$100\% = 50\% + 18\% + 32\% \cdot k'_{sp}$$

Stoffstoren mit $G_v = 150 \text{ W/m}^2$

Nur auf den Anteil „eingeschränkte Tageslichtnutzung“ haben die Lamelleneigenschaften (Farbe, Lamellenform etc.) einen direkten Einfluss.

$$100\% = 57\% + 29\% + 11\% \cdot k'_{sp} \quad \text{Rafflamelle mit } G_v = 200 \text{ W/m}^2$$

$$100\% = 50\% + 36\% + 14\% \cdot k'_{sp} \quad \text{Rafflamelle mit } G_v = 150 \text{ W/m}^2$$

Die Schwellenwerte für die Globalstrahlung haben einen grossen Einfluss und werden in der bisherigen Berechnungsmethode nicht berücksichtigt. Diese hängen nicht vom gewählten Sonnenschutzsystem, sondern von den Funktionen und möglichen Funktionsausführungen des Gebäudeautomationssystems ab und sind in die SIA 380/4 zu integrieren.

3.2.2 Fahrstrategie

In der EN 15232 identisch mit der SIA 386-110 (SN EN 15232, 2012) „Gebäudeautomation – Einfluss auf die Energieeffizienz“ werden die energieeffizienzrelevanten Funktionen und mögliche Funktionsausführungen des Gebäudeautomationssystems beschrieben.

Da Gebäudeautomations-Systeme und das technische Gebäudemanagement TGM die Energieeffizienz eines Gebäudes in vielen Bereichen beeinflusst, werden darin weitere Gebäudeautomations-Effizienzklassen definiert. Nachfolgend ist die Definition der vier Effizienzklassen gemäss der EN 15232 dargestellt.

Tabelle 6: Energieeffizienzklassen nach EN SN 15232

Klasse	Energieeffizienz
--------	------------------

- | | |
|---|--|
| A | entspricht hoch energieeffizienten GA-Systemen und TGM <ul style="list-style-type: none">• vernetzte Raumautomation mit automatischer Bedarfserfassung• regelmässige Wartung• Energiemonitoring• nachhaltige Energieoptimierung |
| B | entspricht weiterentwickelten GA-Systemen und einigen speziellen TGM-Funktionen <ul style="list-style-type: none">• vernetzte Raumautomation ohne automatischer Bedarfserfassung• Energiemonitoring |
| C | <ul style="list-style-type: none">• entspricht Standard-GA-Systemen• vernetzte Gebäudeautomation der Primäranlagen• keine elektronische Raumautomation, Thermostatventile an Heizkörpern• kein Energiemonitoring |
| D | entspricht GA-Systemen, die nicht energieeffizient sind. Gebäude mit derartigen Systemen sind zu modernisieren. Neue Gebäude dürfen nicht mit derartigen Systemen gebaut werden <ul style="list-style-type: none">• keine vernetzten Gebäudeautomations-Funktionen• keine elektronische Raumautomation• kein Energiemonitoring |

Die Funktionen und Funktionsausführungen für Sonnenschutzeinrichtungen sind darin wie folgt hinterlegt:

6		Regelung der beweglichen Sonnenschutz- einrichtungen	Bemerkung gemäss Siemens	
		Es gibt zwei unterschiedliche Beweggründe für die Regelung von Sonnenschutzeinrichtungen: um Überheizen zu verhindern und um Blendung zu vermeiden.	Manuelle Intervention wird mehrheitlich zum Abblenden vorgenommen. Die Energieeinsparung ist stark vom Verhalten der Nutzer abhängig	
	0	Manuelle Betätigung: Meist nur für manuelle Abschattung verwendet; Energieeinsparung hängt nur vom Nutzerverhalten ab.		
	1	Motorbetrieben mit manueller Regelung: Meist nur für leichteste manuelle (motorgestützte) Abschattung verwendet; Energieeinsparung hängt nur vom Nutzerverhalten ab.	Motorische Unterstützung erleichtert nur die manuelle Intervention und wird mehrheitlich zum Abblenden vorgenommen. Die Energieeinsparung ist stark vom Verhalten der Nutzer abhängig	
	2	Motorbetrieben mit automatischer Regelung: Automatisch geregelte Verringerung der Lichteinstrahlung zur Reduzierung der Kühlenergie	Motorische Unterstützung ist Voraussetzung für automatisches Steuern. Schwerpunkt der Steuerfunktionen ist die Unterstützung des Sonnenschutzes zur Reduzierung des Wärmeeintrages und somit zur Einsparung von Kühlenergie. Handbetrieb durch den Nutzer sollte immer erlaubt sein, damit er unabhängig von der automatischen Sonnenschutzregelung abblenden kann.	
	3	Kombinierte Regelung der Beleuchtung/der Sonnenschutzeinrichtungen/der HLK-Anlagen: Zur Optimierung des Energieaufwands für die HLK-Anlage, die Sonnenschutzeinrichtungen und die Beleuchtung in Räumen, in denen sich Personen aufhalten und in denen sich keine Personen aufhalten.	Diese Funktionsausführung berücksichtigt alle Gründe ist nutzungsgerecht und energieoptimal (prioritätsmässig ausgewogen, für belegte und nicht belegte Räume)	

Definition Fahrstrategie innerhalb dieses Dokuments

Als Fahrstrategie werden in diesem Dokument ein oder mehrere Funktionen und deren möglichen Funktionsausführungen des Gebäudeautomationssystems bezeichnet. Zur weiteren Konkretisierung enthält diese auch die notwendigen Schwellwerte.

3.2.3 Berechnung der Betriebszeiten für die elektrische Beleuchtung innerhalb der SIA 380/4

Die Berechnung der Betriebszeiten mit notwendiger künstlicher Beleuchtung erfolgt in der SIA 380/4 mittels der Volllaststunden. Die Gleichung Gl. 3-2 ist eine der wichtigsten innerhalb des Berechnungsmodells. Das vollumfängliche Berechnungsmodell ist in der Norm enthalten. Dabei geht der Tageslichtquotient nicht direkt in die Berechnung ein. Die einzelnen Einflussparameter erhalten Korrekturfaktoren, die direkt auf die Volllaststunden wirken. Die Korrekturfaktoren wurden mit Hilfe von lichttechnischen Simulationen sowie durch Variation der Einflussparameter ermittelt und in Bezug zum Tageslichtquotienten gesetzt.

$$t_{Li,min} = \text{Min} [11h; 2h \cdot k_c \cdot k_{Re} \cdot k_T \cdot k_{sp} \cdot \text{Max}(k_{li} \cdot k_B) \cdot k_{sur}] \quad \text{Gl. 3-2}$$

Die Güte des verwendeten Sonnenschutzsystems wird in dieser Formel nur über einen einzigen Korrekturfaktor k_{sp} berücksichtigt und wirkt sich auf die gesamte Betriebszeit aus. Weiterhin fällt auf, dass unter optimalen Bedingungen die minimalen Volllaststunden einen Wert von 2h erreichen können. Dies ist ein Hinweis dafür, dass hier nicht berücksichtigt wird, dass der Sonnenschutz aus thermischen Gründen heruntergefahren und geschlossen sein muss, obwohl die SIA 380/4 im Kapitel Lüftung/Klimatisierung darauf hinweist. In der nachfolgenden Tabelle sind alle Korrekturfaktoren mit Ihren Berechnungsformeln bzw. Werten dargestellt.

Tabelle 7: Korrekturfaktoren für die Tageslichtnutzung in der SIA 380/4

Korrekturfaktor	Berechnung / Werte	Einflussgrösse	Beeinflussung
Horizontalverschattung	$k_{sur} = \frac{1}{1 - 0.35 \cdot \tan(\alpha)}$	$\alpha \triangleq$ Verbauungshöhenwinkel	Standort (gering beeinflussbar)
Balkon	$k_B = \frac{1}{(1 - 0.25 \cdot a_B)}$	$a_B \triangleq$ Balkontiefe in m	Architektur
Fenstersturz	$k_{li} = 1.8 (h_{li} - 1.2)$	$h_{li} \triangleq$ Höhe des Fenstersturzes in m (Boden bis Fensteroberkante)	Architektur
Transmissionsgrad	$k_t = \frac{0.7}{\tau}$	Transmissionsgrad; Angaben Hersteller	Architektur und Fassadenplanung
Reflexionsgrad	$k_{Re} = 1.0 \text{ bis } 1.5$	hell, normal, dunkel	Architektur
Sonnenschutz	$k_{sp} = 1.0 \text{ bis } 1.4$	gem. definierten Qualitätsstufen	Architektur, Fassaden- und Elektroplanung
Tageslichtregelung	$k_c = 1.0 \text{ bis } 2.0$	Konstantlichtregelung, manuelle Schaltung	Elektro-, MSRL-Planung

Anmerkung zu den Korrekturfaktoren

Neben dem Korrekturfaktor für den Sonnenschutz (siehe nächstes Kapitel), welchem das Hauptaugenmerk der Untersuchung galt, wurden zunächst alle Korrekturfaktoren analysiert. Diese Analyse zeigt, dass auch bei folgenden Faktoren eine Überarbeitung zu empfehlen ist.

Korrekturfaktor Fenstersturz

Bei Räumen mit einer Raumhöhe von über 3 m wird die dort mögliche, verbesserte Tageslichtnutzung nicht mehr berücksichtigt.

Die Korrekturfaktoren wurden mittels lichttechnischen Simulationen ermittelt und mit Hilfe einer gemittelten Funktion in Abhängigkeit des jeweiligen Parameters abgebildet.

$$k_{\text{Fenstersturz}} = 1 - 0.55 \cdot \text{Sturzhöhe [in m]} \quad \text{Gl. 3-3}$$

Diese Funktionen wurden nicht 1:1 in das heute verwendete Rechenmodell integriert, sondern teilweise aus Überlegungen der Komplexitätsreduktion weiter vereinfacht.

$$k_{li} = 1.8 (h_{li} - 1.2) \quad \text{Gl. 3-4}$$

Korrekturfaktor Tageslichtregelung

Die Berücksichtigung eines einzigen Faktors für die Tageslichtregelung ist aus Sicht des Sonnenschutzes ungenügend, da man damit ausschliesslich die Lichtsteuerung betrachtet. Die Fahrstrategie des Sonnenschutzsystems wird hier nicht berücksichtigt. Die Wahl einer konservativen bzw. undifferenzierten Strategie, die sich in erster Linie auf den Schutz des Gebäudes vor thermischer Überhitzung konzentriert, hat auf den Beleuchtungsenergieverbrauch massive negative Auswirkungen. Eine Strategie mit einem integralen Ansatz, der auf die Optimierung des Gesamtsystems ausgerichtet ist, führt zu einer Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz.

3.2.4 Alternative Berechnungsmethoden

Alternative Berechnungsmethoden, wie z.B. nach der EN 15193-1, arbeiten ebenfalls mit Korrekturfaktoren. Dabei werden jedoch nicht die Volllaststunden betrachtet, sondern die Betriebsstunden mit Korrekturfaktoren verringert. Diese Berechnungsmethode erscheint intuitiv und integriert Einflüsse, die in der SIA 380/4 bislang noch nicht enthalten sind.

Die EN 15193-1 berücksichtigt allerdings sehr viele Spezialfälle, welche die Komplexität des Nachweises erhöhen, den Zeitaufwand vergrössern und von dem Fachplaner ein hohes Fachwissen abverlangen. Den Autoren ist bislang kein Tool bekannt, welches die Berechnung für die prEN 15193-1 auf einfache Art ermöglicht.

3.3 Analyse der Berechnungsmethoden

Der Vergleich zwischen der Analyse der Klimadaten und der Berechnungsmethode nach SIA 380/4 führt zu den folgenden Erkenntnissen:

1. Das bisherige Berechnungsmodell hat die Tageslichtnutzung zu positiv bewertet.
2. Das Berechnungsmodell der SIA berücksichtigt nicht den Umstand, dass der Sonnenschutz aus thermischen Gründen heruntergefahren und geschlossen sein muss.
3. Einen wesentlichen Einflussfaktor bildet die Fahrstrategie des Sonnenschutzsystems. Diese sollte zukünftig berücksichtigt werden.

Folgende Einflussgrössen werden bislang nicht in der SIA 380/4 berücksichtigt:

- Geografischer Standort & Klima
- Ausrichtung der Fenster im Raum (längs oder quer)
- Unterteilung in unterschiedliche Tageslichtnutzungszonen im Raum
- Blendung

3.4 Empfehlung

Die Analyseergebnisse aus den Klimadaten machen deutlich, dass bei der Überarbeitung der SIA 380/4 der geografische Standort bzw. die klimatischen Einflüsse und die Vorgaben des thermischen Sonnenschutzes berücksichtigt werden sollten. In der Schweiz liegen die Standorte geografisch gesehen eng zusammen. Die klimatischen Unterschiede sind jedoch gross (z.B. von Davos und Lugano) und auch die topografischen Einflüsse wie beispielsweise die natürliche Verschattung kann man nicht durchwegs vernachlässigen.

Zur einfachen Handhabung wird empfohlen, einen typischen Standort festzulegen, der die Aufteilung der unterschiedlichen Tageslichtnutzungszeiten definiert.

Bei einer Implementierung in die SIA 380/4 ist die Optionen zu prüfen, ob eine Auswahl an Referenzstandorten (z.B. Zürich, Davos, Lugano) definiert werden sollte und ob der Nutzer den Klimadatensatz des Standortes in den Nachweis importieren kann, um eine genauere Aufteilung zu erhalten, der z.B. die speziellen topologischen Einflüsse berücksichtigt.

Mit einer Aufteilung der Betriebszeiten gemäss der Gl. 3-5 und die Verwendung von neuen Gewichtungsfaktoren $k_{sc0} - k_{sc3}$ liesse sich der Einfluss der verwendeten Fahrstrategie integrieren.

$$t_{Li} = t_{kTLN} + t_{sg} + (t_{eTLN} \cdot k_{sp}^* + t_{TLN}) \cdot k_c^* \cdot k_{Re}^* \cdot k_T^* \cdot \text{Max}(k_{li}^* \cdot k_B^*) \cdot k_{sur}^* \quad \text{Gl. 3-5}$$

Eine andere Methode ist die Verwendung einer Auswahlmatrix, die aus der Fallunterscheidung gemäss Tabelle 2 und Tabelle 4 resultiert. Um die Berechnungsformel nicht zu stark zu verändern, wird die Methode Auswahlmatrix empfohlen.

Die hier aufgeführten Empfehlungen sind in einem weiteren Schritt zu überprüfen und in die SIA 380/4 zu implementieren.

4 Messung zur Beurteilung des Einflusses des Sonnenschutzes auf die mögliche Tageslichtnutzung

Korrekturfaktor Sonnenschutz

Bei der Erstellung der SIA 380/4 2006 wich man für den Sonnenschutz von der Methode zur Beschreibung der Korrekturfaktoren mittels gemittelter Funktionen ab und definierte drei Sonnenschutztypen. Weiter wurde nicht für unterschiedliche Abstände vom Fenster ein Korrekturwert angegeben, sondern nur für den Abstand von drei Metern. Die Korrekturwerte wurden über ein Verhältnis zwischen Tageslichtquotient ohne Sonnenschutz und mit Sonnenschutz gebildet. Anteilig wird dieser Wert mit der relativen Sonnenscheindauer multipliziert und zwischen den unterschiedlichen Fassaden Nord, Ost, Süd, West unterschieden.

Tabelle 8: Korrekturfaktoren aus den Simulationen

Klassifizierung der Sonnenschutzeinrichtung	Korrekturfaktor Sonnenschutz k_{sp}		
	Ausrichtung		
	N	E/W	S
Optimaler Lamellenstoren mit Reflexionsgrad > 60%	1.0	1.0	1.0
Lamellenmechanik und Lamellensteuerung geeignet für Tageslichtoptimierung			
Suboptimaler Lamellenstoren 60% ≥ Reflexionsgrad > 40%	1.0	0.9	0.8
einfache Lamellenmechanik und Lamellensteuerung			
Schlechter Lamellenstoren Reflexionsgrad ≤ 40%	1.0	0.8	0.5
einfache Lamellenmechanik und Lamellensteuerung			
Stoffmarkisen	1.0	0.8	0.5

Tabelle 9: Implementation in das Berechnungsmodell SIA 380/4

Klassifizierung der Sonnenschutzeinrichtung	Korrekturfaktor Sonnenschutz k_{sp}
Optimaler Lamellenstoren Qualitätsstufe 1: Reflexionsgrad der Lamellen > 0.6; Lamellenmechanik und –steuerung, geeignet für Tageslichtoptimierung gem. Nachweistool: optimal (hohe Reflexionsgrad, elektronisch)	1.0
Suboptimaler Lamellenstoren Qualitätsstufe 2: Reflexionsgrad der Lamellen 0.4 – 0.6; einfache Lamellenmechanik und –steuerung gem. Nachweistool: suboptimal (mittlerer Reflexionsgrad, mechanisch)	1.1
Schlechter Lamellenstoren Qualitätsstufe 3: Reflexionsgrad < 0.4; einfache Lamellenmechanik und -steuerung, Stoffmarkise gem. Nachweistool: ungenügend (tiefer Reflexionsgrad, Stoffmarkise)	1.4

Eine weitere Beschreibung ist in der Hilfe des Nachweistools ReluxEnergyCH enthalten:

„Ein optimaler Sonnenschutz (Qualitätsstufe 1) hält die direkte Sonneneinstrahlung ab, mindert die Tageslichtnutzung aber wenig (bewegliche und beschichtete Lamellen). Stoffmarkisen (Rollos) bieten einen guten Sonnenschutz, beeinträchtigen die Tageslichtnutzung aber beträchtlich (Qualitätsstufe 3).“

Die unterschiedlichen Beschreibungen verdeutlichen, dass man sich in der Praxis nicht sicher ist, was unter Sonnenschutz zu verstehen ist. Bei der Überarbeitung ist darauf zu achten, dass eine einheitliche Klassifizierung und Beschreibung der verwendeten Begrifflichkeiten erfolgt.

4.1 Ziele der Messung

- Überprüfung unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme bzgl. ihrer Wirksamkeit zur Tageslichtnutzung
- Verifizierung der Simulationen, welche die Basis für die bestehenden Korrekturwerte für den Sonnenschutz bilden
- Erfassung noch nicht berücksichtigter Einflussparameter auf die mögliche Tageslichtnutzung
- Einheitliche und eindeutige Klassifizierung des Sonnenschutzsystems

4.2 Messaufbau und Messsystem

4.2.1 Messraum

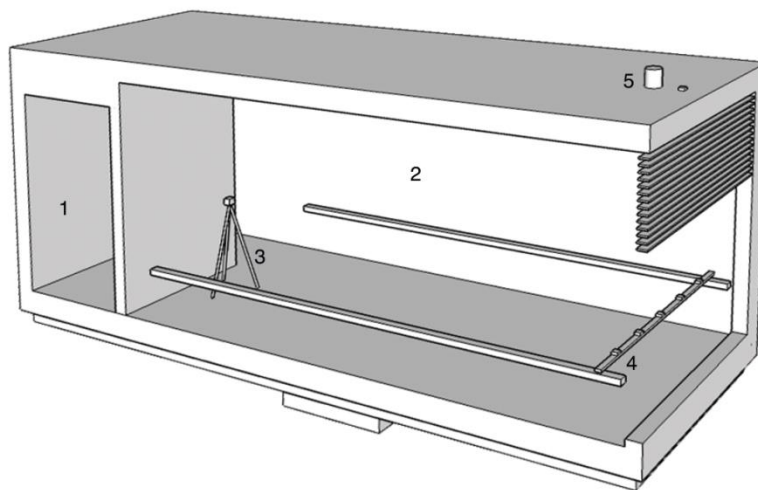
Für die Messungen innerhalb des Projektes wurde der Lichtmesscontainer der Hochschule Luzern Technik & Architektur genutzt. Der Messraum in Horw/LU hat eine Abmessung von 2.6 x 6.1 x 2.8 m (lxbxh) und ist auf einer Seite mit einem Fenster vollverglast. Für die Messungen wurden sowohl ein Sturz von 20 cm als auch eine Brüstung von 75 cm innenseitig integriert, um eine möglichst praxiskonforme Situation zu schaffen. Bei dem Glas des Fensters handelt es sich um ein VS-Glas mit zwei Scheiben, das einen Lichttransmissionsgrad von $\tau_{\text{vis}}=0.7$ hat.



FIG. 4 Lichtmesscontainer in Horw



FIG. 5 Aussenansicht Lichtmesscontainer mit Rafflamellensonnenschutz



- 1 Technikraum
- 2 Messraum
- 3 Leuchtdichtemesskamera
- 4 Beleuchtungsstärkeraumscanner mit Photometerköpfen
- 5 Wetterstation und Photometerkopf

FIG. 6: 3D-Ansicht Lichtmesscontainer

4.2.2 Messgrösse

Für die Beurteilung der Tageslichtnutzung im Raum durch das jeweilige Sonnenschutzsystem wurde der Tageslichtquotient verwendet. Der Tageslichtquotient D ist das Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p in einem Punkt einer Ebene im Innenraum, die durch direktes und indirektes Himmelslicht erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien:

$$D = Tq = \frac{E_p}{E_a} \cdot 100\%$$

Der Tageslichtquotient D setzt sich gemäss DIN 5034-1 (DIN 5034-1, 2011) wie folgt zusammen:

$$D = (D_H + D_V + D_R)$$

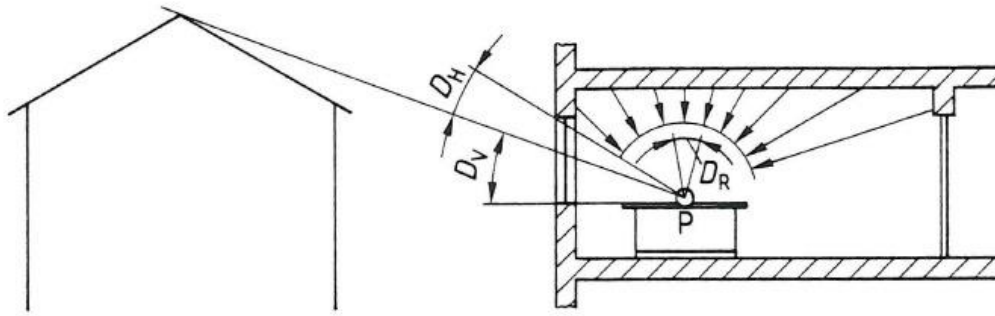


FIG. 7: Anteile des Tageslichtquotienten gemäss DIN 5034-2

Der Himmelslichtanteil D_H wird im Wesentlichen durch den Himmelsausschnitt erzeugt, der vom betrachteten Punkt aus sichtbar ist.

Der Aussenreflexionsanteil D_V resultiert aus dem reflektierten Licht der Umgebung (Massgebend sind auch hier die Flächen, die vom betrachteten Punkt aus durch das Fenster sichtbar sind.).

Der Innenreflexionsanteil D_R wird durch die Reflexionsgrade der Raumflächen beeinflusst (positive Beeinflussung durch helle Materialien). Der Tageslichtquotient bezieht sich immer nur auf Beleuchtungsstärken durch diffuses Himmelslicht. Direktes Sonnenlicht ist also ausgeschlossen! Der so definierte Tageslichtquotient gilt für die Rohbauöffnung. Er reduziert sich zudem um die folgenden Faktoren:

- Transmissionsgrad τ (Tau) der Verglasung
- Schwächungsfaktor k_1 für Fenstersprossen und -rahmen
- Schwächungsfaktor k_2 für Innen und Aussenverschmutzung der Verglasung.

Damit ergibt sich für den Tageslichtquotienten D im Innenraum folgender Zusammenhang:

$$D = (D_H + D_V + D_R) \cdot \tau \cdot k_1 \cdot k_2$$

Transmissionsgrad τ	Glas	0.7
Schwächungsfaktor k_1	Fenstersprossen	1
Schwächungsfaktor k_2	Innen und Aussenverschmutzung	1

Da der Einfluss des Sonnenschutzsystems im Zentrum der Betrachtungen stand, wurde über die Reduzierung des Reflexionsgrades der Wände und des Bodens der Einfluss des Innenreflexionsanteils auf einen realistischen Wert verringert. Dabei trug man ebenfalls dem Umstand Rechnung, dass der erstellte Versuchsraum mit weiss gestrichenen Wänden die in der Praxis anzutreffenden Räume nur in geringem Masse repräsentiert. So wurden die folgenden Reflexionsgrade im Versuchsraum realisiert und für die Messungen verwendet, die auch für die meisten Lichtberechnungen Verwendung finden.

Tabelle 10: Reflexionsgrade der Raumflächen

Raumfläche	Material	Reflexionsgrad
Decke	Holz weiss	67%
Wand	Stoff (grau/beige) jedoch zusätzlich variabel weiss und schwarz	50% (80% und 4%)
Boden	Teppich	17%

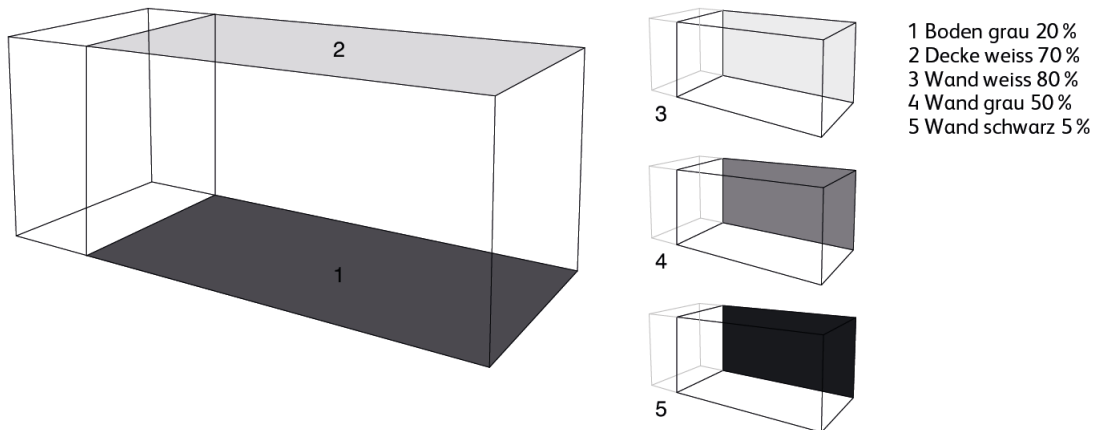


FIG. 8: Raumflächen des Messraumes

4.2.3 Messraster

Für die Messungen wurde ein Messraster von 50 × 50 cm verwendet, was bei der vorhandenen Raumgeometrie 60 Messpunkte ergibt. Die Messebene betrug – analog der Vorgabe nach SN EN 12464 (SN EN 12464-1, 2011) für ein Büro – 0.75 m. Um den Raum weiterhin betreten zu können, wurde anstelle von Einzelsensoren ein Raumbeleuchtungsstärkescanner verwendet. Ein Ausleger mit fünf Beleuchtungsstärkesensoren durchfährt den Raum in Längsrichtung. Die Dauer einer Raummessung lag bei ca. 65 Sekunden.

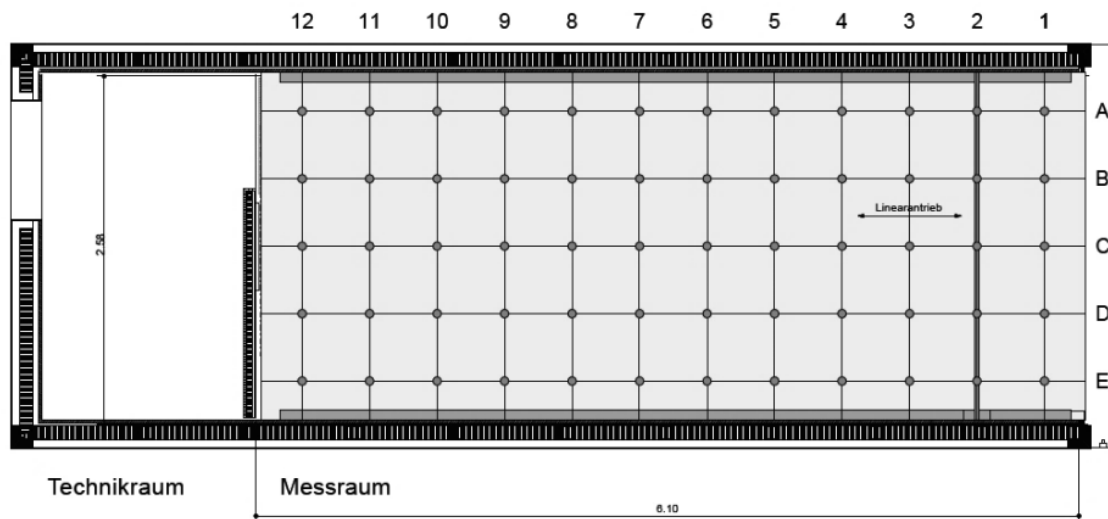


FIG. 9: Messraster / Raumbeleuchtungsstärkescanner, 0.75 cm



FIG. 10 Beleuchtungsstärkesensorkopf des Raumscanners

4.2.4 Wettersituation

Voraussetzung für die Messungen waren eine möglichst stabile und gleichbleibende Himmelsbedeckung und Aussenbeleuchtungsstärke. In der Planungsphase wählte man vier unterschiedliche Kombinationen aus Himmelszustand und Fassadenausrichtung aus:

- a) bedeckter Himmel (Fassade in Richtung Sonne ausgerichtet)
- b) klarer Himmel (Fassade in Richtung Sonne ausgerichtet)
- c) bedeckter Himmel (Fassade entgegen der Richtung der Sonne ausgerichtet)
- d) klarer Himmel (Fassade entgegen der Richtung der Sonne ausgerichtet)

Um bei einer horizontalen Lamellenstellung (0°) der Rafflamellenstoren keine direkte Sonne auf der Messebene zu erhalten, fanden alle Messungen bei einem Sonnenhöhenwinkel von 42.5° bis 50° statt. Bei diesem Winkel wird die direkte Sonnenstrahlung von den Lamellen ausgeblendet (CutOff). Der Zusammenhang zwischen Lamellenwinkel und Einfallswinkel der Sonne ist in Gl. 3-3 dargestellt.

$$\tau_d = 1 - \frac{L_L \cdot \sin \beta - L_L \cdot \cos \beta \cdot \tan h'}{H_L}$$

Gl. 4-1

- L_L : Lamellenlänge
 β : Neigungswinkel der Lamelle zur Horizontalen
 h' : Tatsächlicher Einfallswinkel der direkten Strahlung
 H_L : Abstand der Lamellen

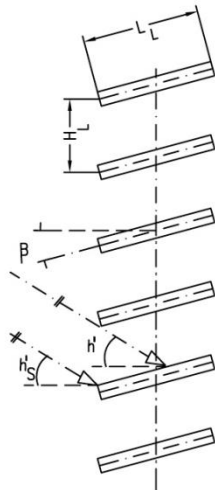


FIG. 11: Direktstrahlung bei horizontalen Rafflamellenstoren (Jäger, 2005)

Testmessreihen zur Wettersituation und Ausrichtung zeigten auf, dass die Ergebnisse bei Fassadenausrichtung entgegen der Sonne nur geringe Aussagekraft für die Praxis haben, denn bei nicht vorhandener Direktstrahlung ist der Sonnenschutz kaum notwendig. Am meisten Aussagekraft für die Tageslichtnutzung in Kombination mit einem Sonnenschutzsystem hat die Situation b). Die Situation a) mit bedecktem Himmel ist in der Praxis kaum anzutreffen. Da aber der völlig bedeckte Himmelszustand standardmässig für Tageslichtsimulationen und die Berechnung des Tageslichtquotienten verwendet wird, wurde auch diese Wettersituation mit einer Messung erfasst.

Dabei ist anzumerken, dass sich der reale völlig bedeckte Himmelszustand von dem theoretischen gemäss CIE stark unterscheidet. Zudem konnte man bei der Durchführung der Messung beobachten, dass schon geringe Anteile von Schleierwolken die Messung beeinflussen.

4.3 Auswahl der Storensysteme für die Messungen

Die Auswahl wurden in Absprache mit dem Projektpartner Schenker und eLight getroffen. Kriterien für die Auswahl waren Marktdurchdringung, Verbreitung und eine möglichst grosse Varianz bzgl. der lichttechnischen Eigenschaften. Aus diesem Grund wurden Verbundraffstoren und Vertikalstoren (Stoff) ohne Ausstellung ausgewählt. Die Angaben zum Reflexionsgrad und Typ sind in Tabelle 11 enthalten.

Tabelle 11: Eigenschaften der ausgewählten Sonnenschutzsysteme

Nr.	Hersteller	Typ	Farbe	ρ_{vis}^*	τ_{vis} 90°(45°)	g_{-tot_e} 90°(45°)
1	Schenker Storen AG	Verbundraffstore VR90	weiss NCS-S 0502-B	0.79	0 (0.1)	0.015 (0.08)
2	Schenker Storen AG	Verbundraffstore VR90	Aluminium RAL 9006	0.54	0 (0.07)	0.026 (0.075)
3	Schenker Storen AG	Verbundraffstore VR90	grau Anthrazit RAL 7016	0.05	0 (0.006)	0.04 (0.06)
4	Schenker Storen AG	Verbundraffstore VR90-LO perforiert	Aluminium RAL 9006	n.a.	n.a.	n.a.
5	Schenker Storen AG	Vertikalstore Stoffbehang	weiss 314 910	0.61 (0.70)*	0.23	0.16
6	Schenker Storen AG	Vertikalstore Stoffbehang	grau	0.43	0.08	0.13
7	Schenker Storen AG	Vertikalstore Stoffbehang	dunkelgrau	0.07	0.04	0.11

Anmerkungen zu Tabelle 11:

ρ_{vis} Reflexionsgrad gemäss Messung

*Messung erfolgt standardmässig mit einer schwarzen Unterlage bei den hellen Materialien ergaben sich jedoch bei der Messung mit einer weissen Unterlage Abweichungen nach oben (Werte in den Klammern).

τ_{vis} Transmissionsgrad gemäss MINERGIE-Modul Sonnenschutz (VSR, o. J.) (Mittelwert unterschiedlicher Hersteller)

g_{-tot_e} Gesamtenergiedurchlassgrad gemäss MINERGIE-Modul Sonnenschutz VSR für «geschlossenen» aussenliegenden Sonnenschutz mit Verglasung, Berechnung nach SN EN 13363-1-A1, Referenzverglasung C gemäss EN 14501, $g = 0.59$, $U = 1.20 [W/m^2 K]$ (Mittelwert unterschiedlicher Hersteller)

Der Transmissionsgrad ist für die lichttechnische Beurteilung von Stoffstoren die entscheidende Grösse. Für weisse Stoffe sind maximale Werte von ca. 23% bei den Herstellerangaben zu finden. Diese Werte beziehen sich auf den Neuzustand. Verschmutzungen sind dabei nicht berücksichtigt. Die Werte für dunkelgraue und graue Stoffe liegen bei nur 5 bis 10%. Bei den Rafflamellenstoren ist die lichttechnische Beurteilung von mehreren Grössen abhängig: einerseits von der Lamellenform, der Lamellenbeschichtung bzw. Farbton und andererseits von dem Lamellenwinkel. Die Hersteller geben meist die Werte der Transmissionsgrade für die sonnenschutzrelevanten Lamellenstellungen an. Dabei handelt es sich um die Stellung geschlossen, die mit 0% keine Tageslichtnutzung zulässt. Aber auch ein Lamellenwinkel von 45°, der einen gängigen Wert der Arbeitsstellung darstellt, wird angegeben. In dieser Stellung fährt das Storensystem herunter, damit der Raum nicht völlig dunkel erscheint, was die Nutzern kaum akzeptieren. Die Transmissionsgrade liegen in diesem Falle bei weissen

Lamellen bei 10%, bei grauen oder dunkelgrauen zwischen 3 und 8%. Diese Werte lassen erwarten, dass – wie bei dunklen Stoffstoren – kaum eine Tageslichtnutzung möglich ist. Somit lässt sich die Fragestellung für die Auswertung dahingehend konkretisieren, ab welcher Lamellenstellung eine Tageslichtnutzung möglich erscheint.

4.3.1 Positionierung Sonnenschutz

Die Einstellung der Storenposition wie auch der Lamellenwinkel erfolgen laufzeitgesteuert, was nur im begrenzten Rahmen eine exakte Einstellung erlaubt. Zur Abschätzung der Genauigkeit wurden im Vorfeld zur Ermittlung der Zusammenhänge Testmessungen durchgeführt. Diese ergaben für die Positionierung des Sonnenschutzes gute Ergebnisse. Eine manuelle und mechanische Kontrolle der Lamellenwinkeleinstellungen führte dagegen zu keinen befriedigenden Resultaten. Daher wurden die Rafflamellenstoren mit drei Neigungssensoren ausgerüstet, die permanent die Winkelstellung erfassen.

So konnte man feststellen, dass sich der gemessene Winkel in Abhängigkeit zur gewählten Schrittweite deutlich von dem in der Steuerungssoftware hinterlegten Endpositionen unterscheidet. Konkret heisst das, dass sich eine direkt angefahrne Winkelposition von 50% deutlich von einer unterscheidet, die in fünf 10%-Schritten angefahren wurde. Ebenso kann man nicht davon ausgehen, dass der ursprüngliche Winkel durch einen entgegengesetzten Schritt in gleicher Grösse wieder angefahren werden kann.

Für eine Lamellennachführung in Abhängigkeit zum Sonnenhöhenwinkel ist das System zu störanfällig, denn Eingriffe in die Lamellenstellung durch den Nutzer können nur mit einem Feedbacksystem und der Messung des aktuellen Lamellenwinkels ausgeglichen werden. Weiter stellte man fest, dass die horizontale Lamellenstellung nicht bei 0°, sondern bei ca. 9° liegt. Erst durch das Hochfahren des Storens wurde der maximale Lamellenöffnungswinkel von ca. –3° erreicht.

4.3.2 Messablauf

Bei den Messungen wurde immer mit den gleichen Ansteuerungswerten gearbeitet. Für Rafflamellen- und Stoffstoren definierte man zwei unterschiedliche Messabläufe. Der gesamte Messablauf konnte über eine eigene Web-Benutzeroberfläche gesteuert werden. Weiter erlaubte das verwendete Raumautomationssystem die Datenspeicherung aller Messgrößen.

Tabelle 12: Messablauf für Rafflamellenstoren

Index	Position Storen	Lamellenstellung
1	Position 0%; Storen hochgefahren; Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert.	n/a
2	Position 100%; Storen geschlossen	100% \triangleq > 80° max. geschlossen
3	Position 100%; Storen geschlossen	80% \triangleq ca. 79°
4	Position 100%; Storen geschlossen	60% \triangleq ca. 53°
5	Position 100%; Storen geschlossen	40% \triangleq ca. 38°
6	Position 100%; Storen geschlossen	20% \triangleq ca. 23°
7	Position 100%; Storen geschlossen	0% \triangleq > ca. 9°
8	Position 98%; Storen hochgefahren	0% \triangleq > ca. -3°
9	Position 0%; Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert Vergleich zu Messung 1 zur Erfassung der Veränderung der Himmelsverhältnisse	n/a

Tabelle 13: Messablauf für Stoffstoren

Index	Position Storen	Lamellenstellung
1	Position 0%; Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert.	n/a
2	Position 66%; Storen geschlossen	n/a
3	Position 33%; Storen geschlossen	n/a
4	Position 0%; Storen geschlossen	n/a
5	Position 0%; Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert. Vergleich zu Messung 1 zur Erfassung der Veränderung der Himmelsverhältnisse	n/a

5 Ergebnisse

Die Abhängigkeit zwischen Reflexionsgrad und Lichtverteilung im Raum konnte mit den Messungen gut aufgezeigt werden. Die Ergebnisse aus den Simulationen (Weber & Sinimalé, 2004), die für die Berechnungsmethode herangezogen wurden, konnten jedoch nur teilweise bestätigt werden. Die folgenden Unterkapitel gehen auf die Ergebnisse der zwei untersuchten Systeme ein.

5.1 Rafflamellenstoren

Durch die Einstellung des Lamellenwinkels kann eine Tageslichtnutzung trotz direkter Sonneneinstrahlung erzielt werden. Dies hängt jedoch erwartungsgemäss von dem verwendeten Reflexionsgrad der Lamellen ab. Bei einer Arbeitsplatzanordnung mit Standardtischen können folgende Messpositionen verwendet werden.

Tabelle 14: Entfernungen der Arbeitsplätze von der Fassade

Arbeitsplatz	Entfernung vom Fenster Ideale Position / Messposition
AP 1	130 cm (125cm)
AP 2	290 cm (275 cm)
AP 3	450 cm (425 cm)

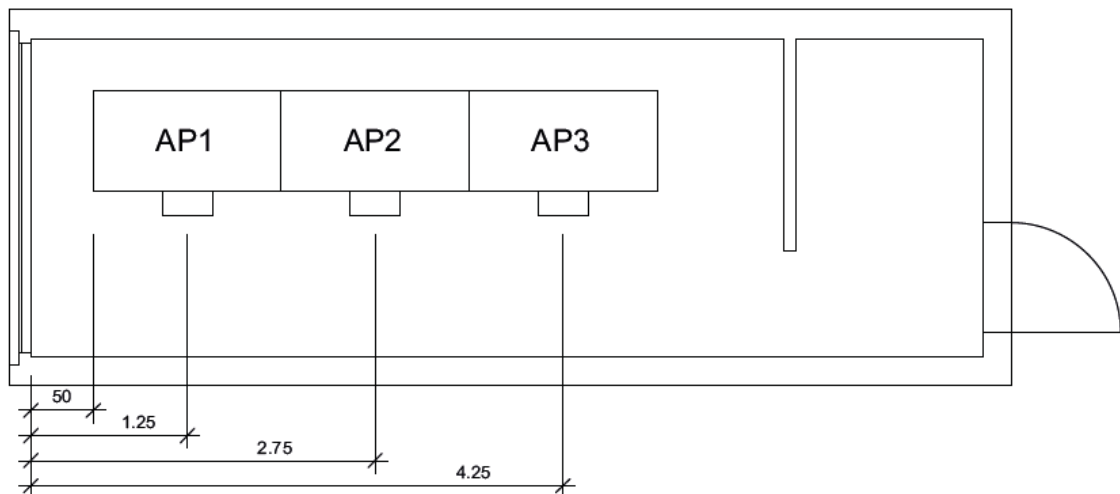
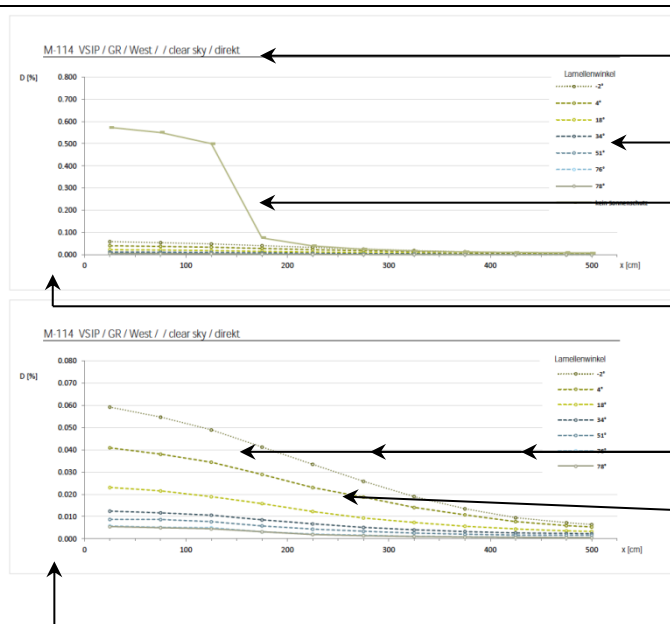


FIG. 12: Arbeitsplatzpositionen im Testraum

5.2 Tageslichtverlauf im Raum und Messprotokolle

Es wurden über 160 Messungen durchgeführt. In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse der Messungen für jedes Sonnenschutzsystem dargestellt. Zur einfachen Beurteilung der Verläufe des Tageslichtquotienten in Abhängigkeit zur Raumtiefe sind hier die wichtigsten Elemente erläutert. Die ausführlichen Messprotokolle zu den einzelnen Messungen befinden sich im Anhang.

Die obere Grafik enthält zum Vergleich auch eine Messung mit direkter Sonneneinstrahlung ohne Sonnenschutz.



Messnummer mit Messbedingungen (Abkürzungen Storentyp, Raumsituation, Wettersituation, Ausrichtung der Fassade zur Sonne

Legende mit Lamellenwinkel (normiert) bzw. Storenposition

Messsituation offen
(ohne Sonnenschutz und mit direkter Sonne)

Skala Tageslichtquotient (grob) inkl. direkte Sonne

Position von typischen Arbeitsplätzen

Verläufe des Tageslichtquotienten

Skala Tageslichtquotient (fein) – nur Sonnenschutz

FIG. 13: Erklärung der Darstellung der Messwerte

5.2.1 Messergebnisse Lamelle – weiss

Der weisse Rafflamellensonnenschutz erzielt bei horizontal gestellten Lamellen einen Tageslichtquotienten am Arbeitsplatz 1 von 7%. Der Wert fällt im Rauminnen auf 2.8% am Arbeitsplatz 2 und auf 1.3% am Arbeitsplatz 3.

Unter der Voraussetzung, dass bei einer vertikalen Globalstrahlung von 200 W/m^2 bzw. 150 W/m^2 eine Aussenbeleuchtungsstärke von mindestens $50'000 \text{ lx}$ vorhanden ist, kann bei einem Lamellenwinkel bis zu 30° mit einer Tageslichtnutzung an allen Arbeitsplätzen ausgegangen werden. Diese Annahmen setzen voraus, dass sich die Lamellen und Fenster in einem sauberen Zustand befinden.

Eine massive Verbesserung der Tageslichtnutzung in einer Raumtiefe über 4 Meter, wie sie mit idealen Tageslichtumlenklamellen erzielt werden kann, ist nicht möglich.

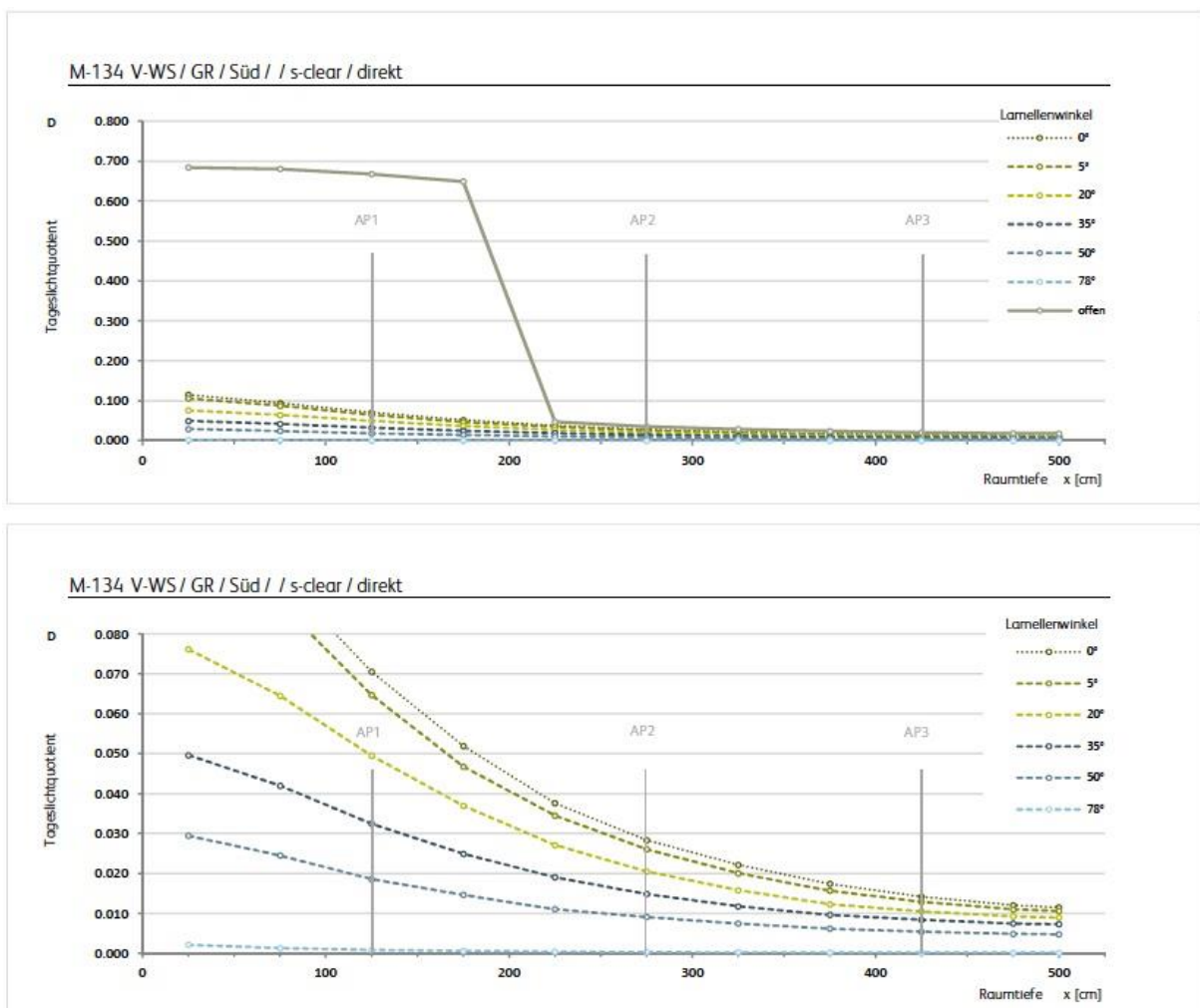


FIG. 14: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle weiss)



FIG. 15 Aussenansicht Rafflamelle weiss



FIG. 16 Innenansicht Rafflamelle weiss

5.2.2 Messergebnisse Lamelle – silber

Die Lamellen mit einer silbernen Oberfläche erzielten einen Tageslichtquotienten von 3% im Bereich der Arbeitsplatzposition 1, einen Wert von 1.5% bei der Arbeitsplatzposition 2. Im hinteren Raumbereich wird der Wert von 1% knapp unterschritten. Bei den oben beschriebenen Voraussetzungen können die Lamellen bis zu 10° geneigt werden, um dennoch eine Beleuchtungsstärke von 500 lx an den Arbeitsplätzen 1 und 2 zu erhalten.

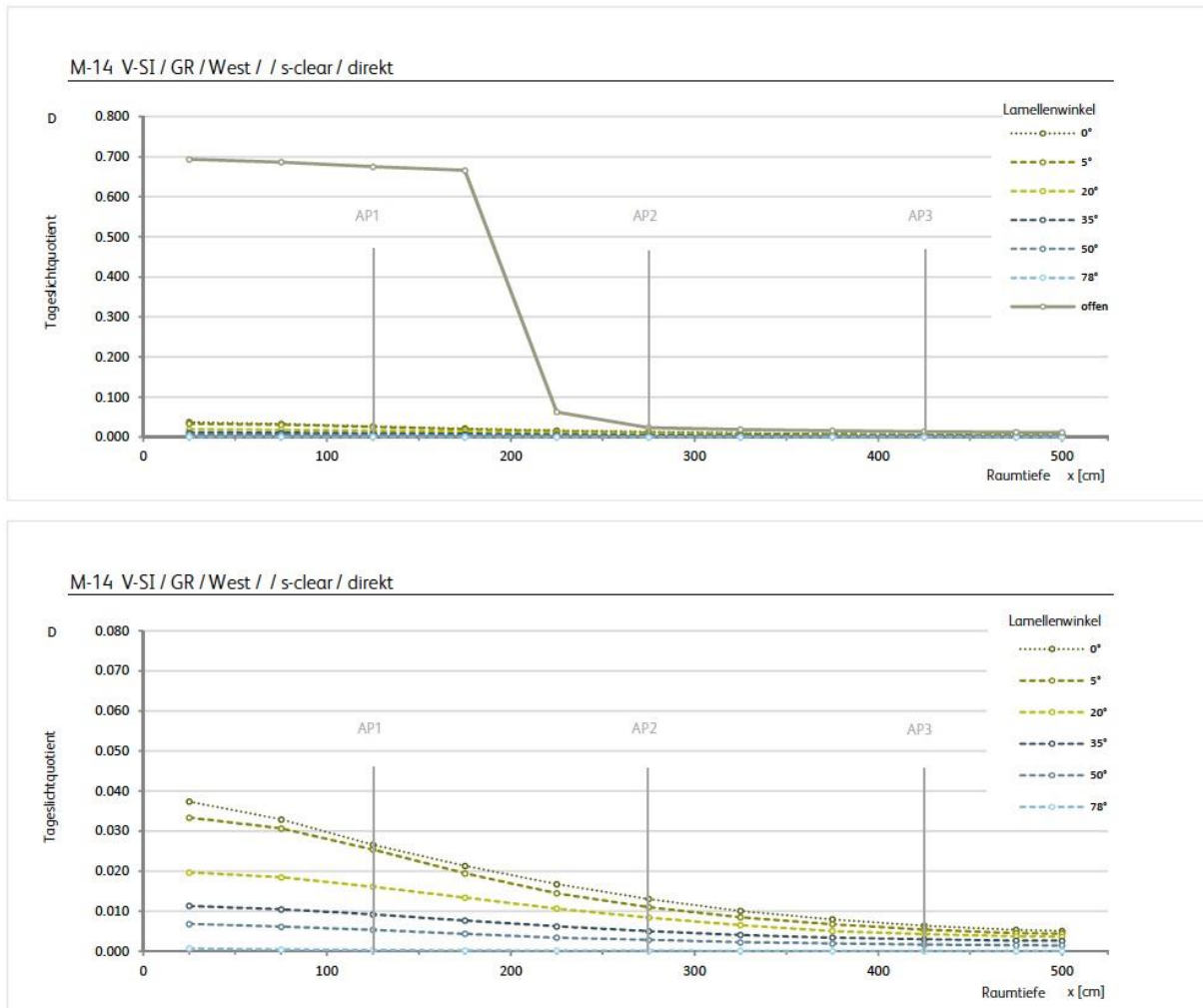


FIG. 17: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle weiss)



FIG. 18 Aussenansicht Rafflamelle silber



FIG. 19 Innenansicht Rafflamelle silber

5.2.3 Messergebnisse Lamelle – schwarz

Bei den schwarzen Lamellen kann nur bei horizontalen Lamellen mit einer Tageslichtnutzung gerechnet werden. Dabei lässt sich jedoch lediglich im fensternahen Bereich ein Tageslichtquotient von über eins erzielen. Dunkle Lamellen sind für diesen Einsatz somit nicht zu empfehlen. Diese Feststellung deckt sich mit den Ergebnissen aus den Simulationen.

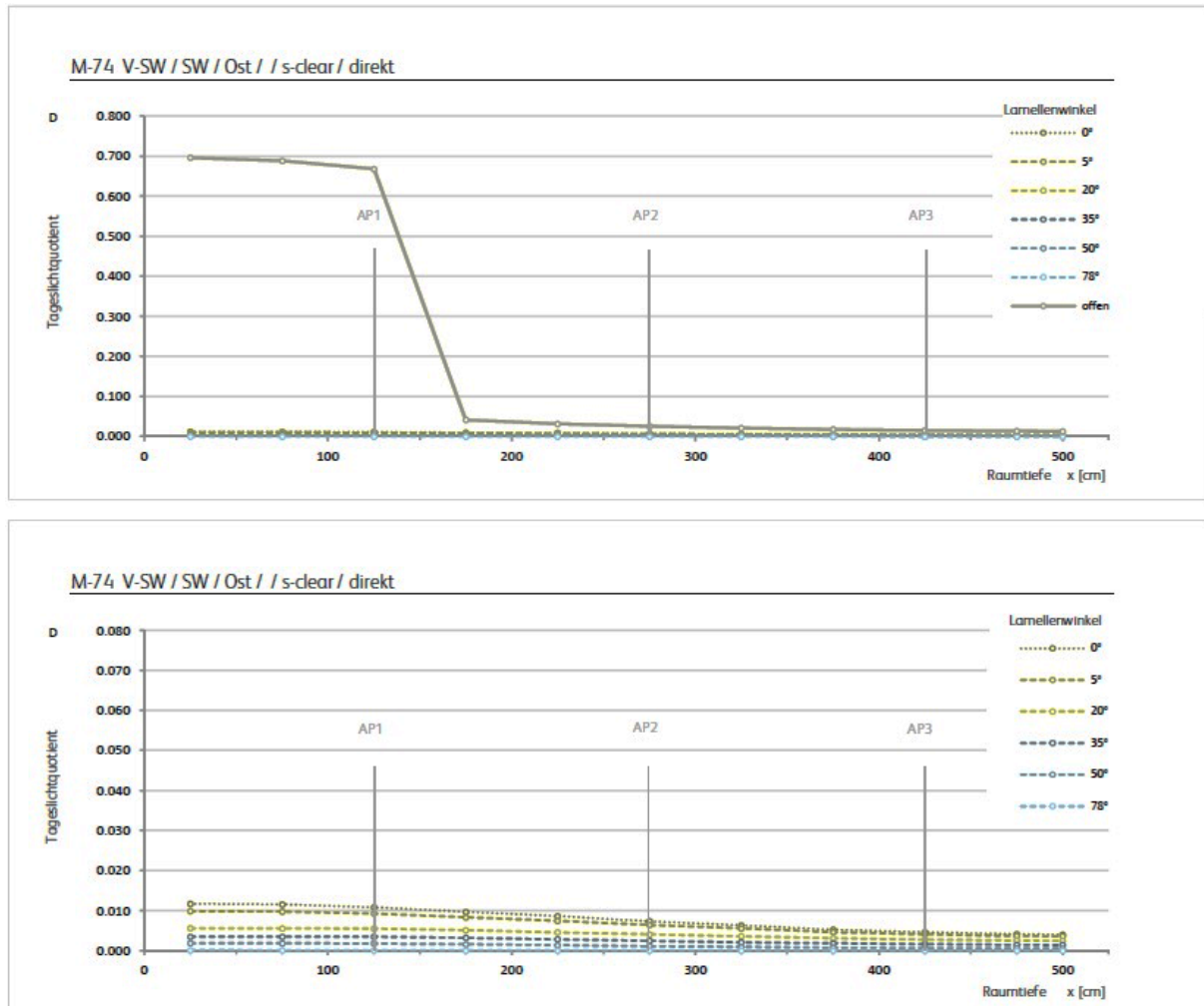


FIG. 20: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle schwarz)



FIG. 21 Aussenansicht Rafflamelle schwarz

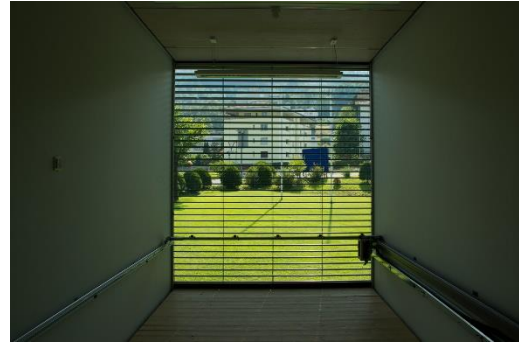


FIG. 22 Innenansicht Rafflamelle schwarz

Die schwarzen Lamellen beeinflussen den subjektiven Raumeindruck negativ. Durch die harten Kontraste entsteht eine Barriere, die den Innenraum nach aussen hin abschliesst. Eine konkrete Angabe zu den minimalsten Reflexionsgraden lässt sich aus diesen Untersuchungen nicht ableiten. Für den Nachweis empfiehlt sich ein Wert von über 45%. Dieser liegt unterhalb der grauen bzw. silbernen Farbtöne.

5.2.4 Messergebnisse Lamelle – silber perforiert

Als eine weitere Variante untersuchte man einen Rafflamellenstoren in Silber mit Perforation. Der maximal erreichbare Tageslichtquotient bei voll geschlossenen Lamellen liegt unter 0.5% im unmittelbaren Fensterbereich. Das Tageslicht kann keinen wesentlichen Anteil zur geforderten Beleuchtungsstärke von 500 lx liefern.



FIG. 23 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, offen



FIG. 24 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, geschlossen



FIG. 25 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, offen



FIG. 26 Innenansicht Rafflamelle schwarz

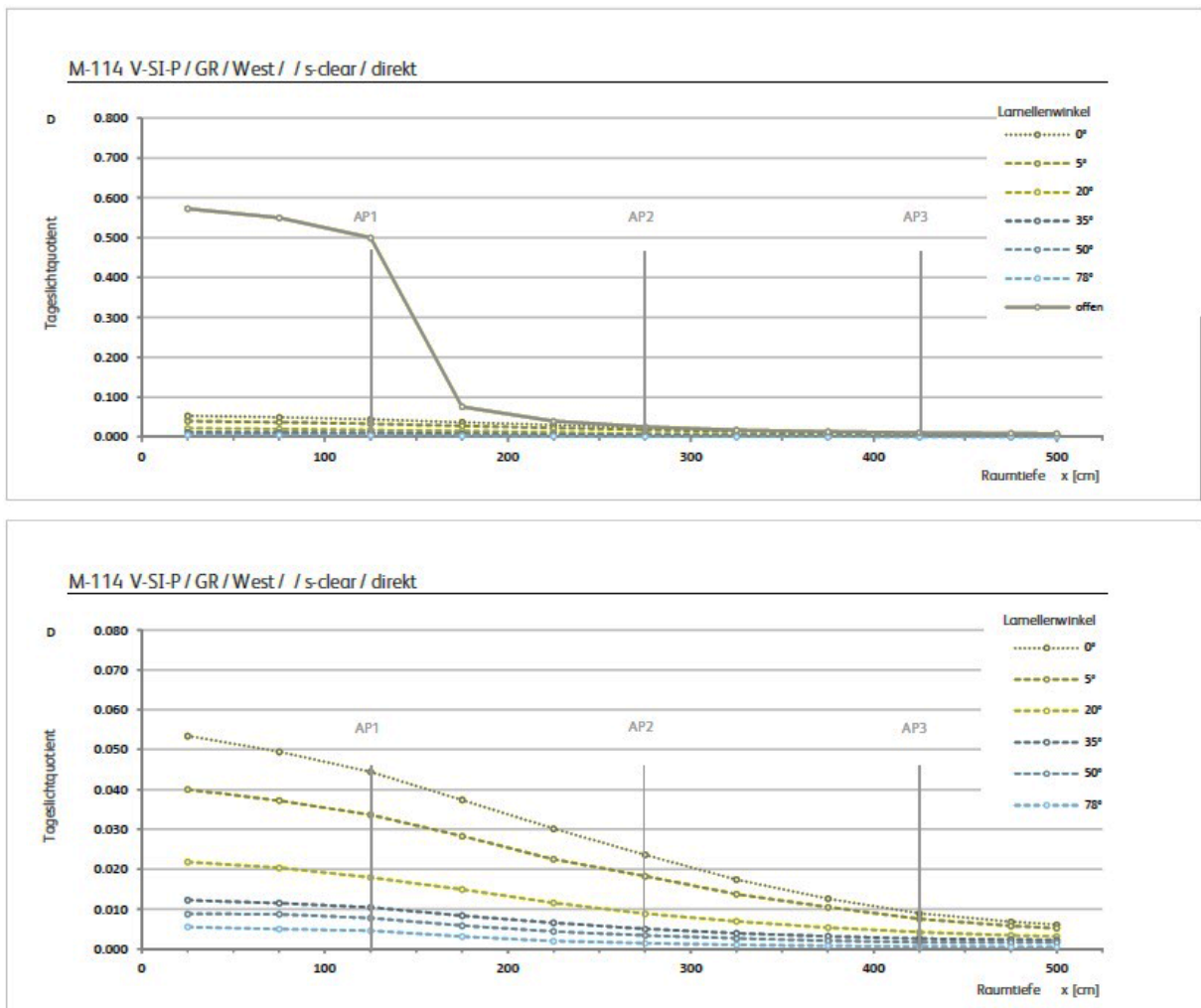


FIG. 27: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle schwarz)

5.3 Stoffstoren

Die Messergebnisse für Stoffstoren zeigen ein klares Ergebnis: Mit dunklen Farbtönen bzw. tiefen Transmissionsgraden reduziert sich die mögliche Tageslichtnutzung stark. Alle verwendeten Stoffstoren waren ohne eine Perforation ausgestattet; ein Aussenbezug ist mit solchen Stoffen ausgeschlossen. Aussagen über die Wettersituation (direkter Sonnenschein noch vorhanden oder nicht) konnten die einzelnen Testpersonen nach weniger als 10 Minuten nicht mehr machen. In Hinblick auf den Aussenbezug haben völlig geschlossene Stoffstoren einen wesentlichen Nachteil. Ob kleine Öffnungen ausreichen könnten, die Situation zu verbessern, wurde nicht untersucht, da dafür eine andere Untersuchungsmethodik erforderlich wäre.

5.3.1 Messergebnisse Stoff – weiss

Der weisse Stoff verteilt das Licht der direkten Sonne sehr gleichmässig in den Raum. Dies gilt sowohl für den fensternahen Bereich als auch für die tieferen Zonen im Rauminneren. Somit werden mit weissem Stoff die Arbeitsplatzpositionen 1-3 annähernd so gut mit Tageslicht versorgt wie mit einem weissen Rafflamellenstoren.



FIG. 28 Aussenansicht Stoffstoren weiss



FIG. 29 Innenansicht Stoffstoren weiss

Bei hellen Stoffstoren kommt es bei direktem Sonnenschein zu einem weiteren Effekt, der den Einsatz trotz positiver Lichtverteilung in den Raum negativ beeinflussen kann: Durch die hohen Aussenbeleuchtungsstärken können bei klarer Wettersituation die hellen Stoffe zu einer Blendequelle werden. Je nach Nutzung des Raumes sind unterschiedliche Leuchtdichten zulässig. Nach Empfehlungen des Arbeitsschutzes (VBG, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft, 2005) sollten die Transmissionsgrade unter 8% liegen. Dies würde die Verwendung eines weissen Stoffes nicht erlauben. Auch das Reglement des MINERGIE-Moduls Sonnenschutz schränkt die Nutzung solcher Stoffe für Nichtwohnbauten ein.

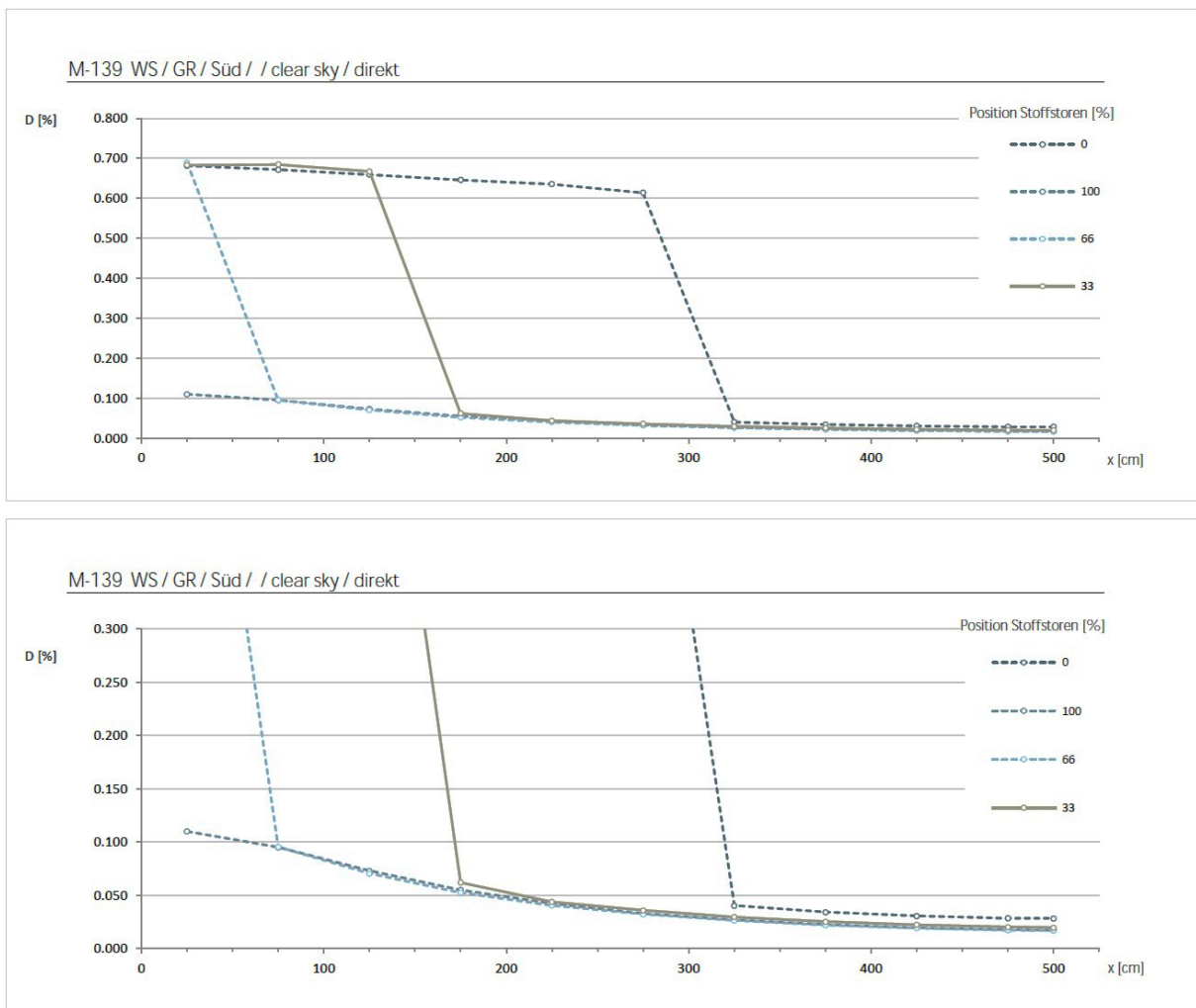


FIG. 30: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren weiss bei klarem Himmel

5.3.2 Messergebnisse Stoff – grau

Die ermittelten Messwerte für graue Stoffstoren überraschen. Diese sind mit dem Rafflamellenstoren mit silbernen Lamellen vergleichbar.



FIG. 31: Aussenansicht Stoffstoren grau



FIG. 32: Innenansicht Stoffstoren grau

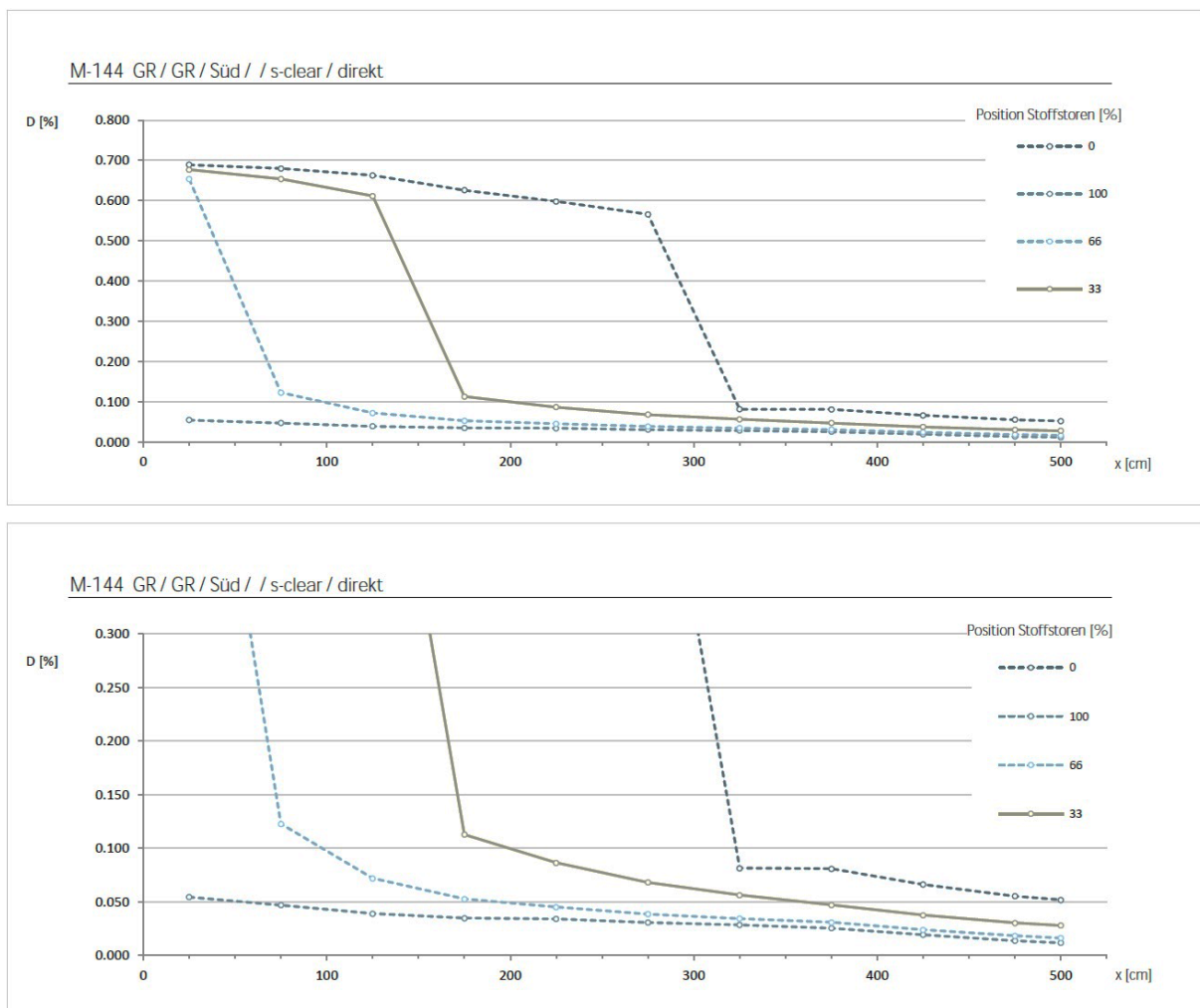


FIG. 33: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren grau bei klarem Himmel

5.3.3 Messergebnisse Stoff – dunkelgrau

Bei den dunkelgrauen Stoffstoren kann bei herabgelassenem Behang kein Tageslichtgenutzt werden. Ohne Perforation ist kein Aussenbezug möglich. Aus Sicht der Tageslichtnutzung stellt ein dunkelgrauer Stoffstoren die schlechteste Wahl dar.



FIG. 34: Aussenansicht Stoffstoren dunkelgrau



FIG. 35: Innenansicht Stoffstoren dunkelgrau

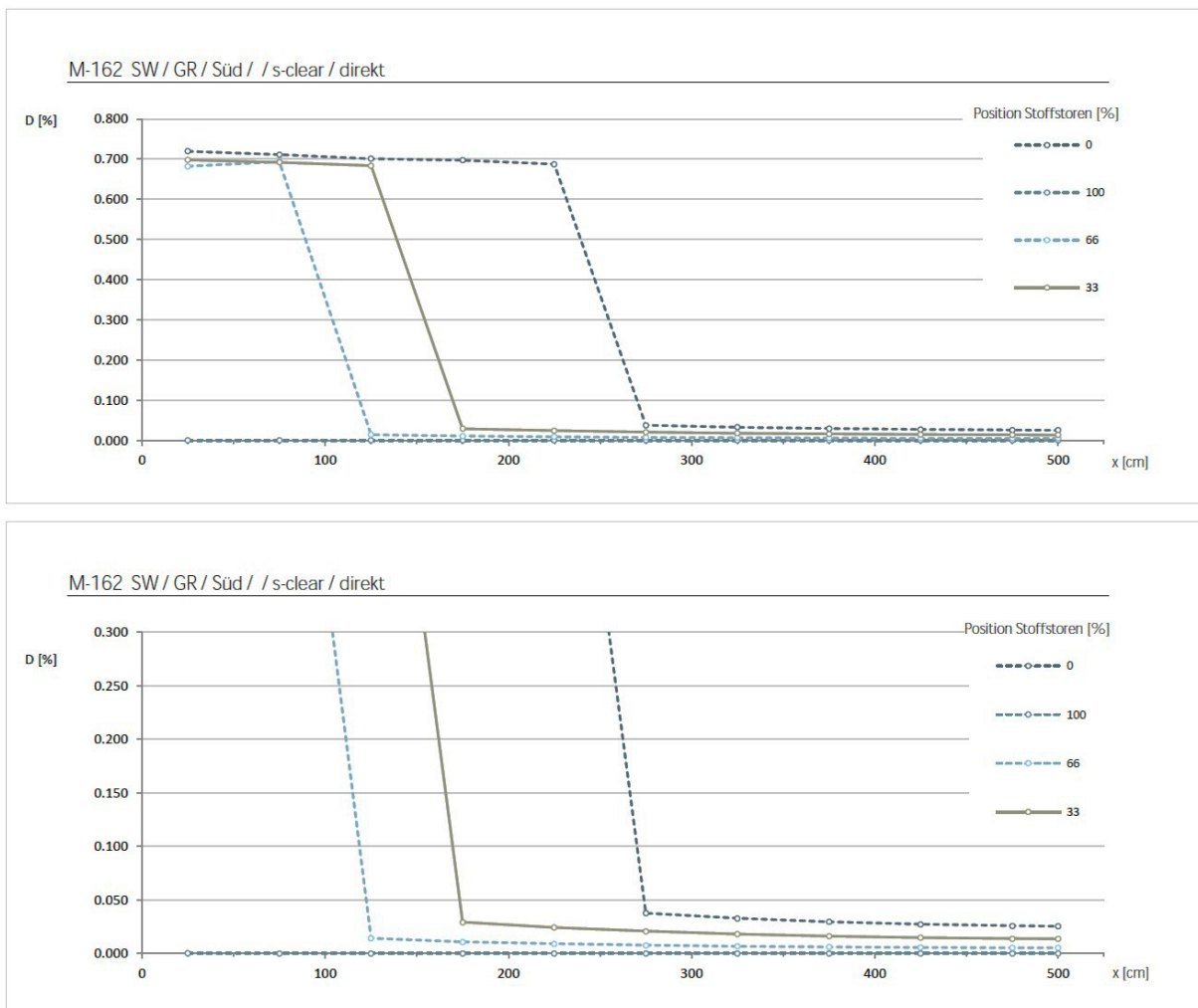


FIG. 36: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren dunkelgrau bei klarem Himmel

5.4 Subjektive Beurteilung des Ausblicks

Zusätzlich zu den Messungen wurden die Storensysteme vom Projektteam subjektiv beurteilt und fotografisch dokumentiert. Dennoch ist darauf hinzuweisen, dass diese Beurteilung nicht umfassend und abschliessend ist.

Die weissen und grauen Stoffstoren lassen eine Aussage über die aktuelle Tageslichtsituation kurz nach dem Herunterfahren noch zu. Diese verliert sich jedoch und es lässt sich ohne Schattenbildung auf dem Textil nicht feststellen, ob die Fassade direkt besonnt wird oder der Himmel bedeckt ist. Ein Blick in die Umgebung ist nicht möglich. Die Situation könnte durch perforierte Systeme verbessert werden. Diese wurden jedoch nicht getestet.

Ein Aussenbezug kann nur gewährleistet werden, wenn die Person senkrecht zur Fassade steht. Da Arbeitsplätze meist parallel zur Fassade angeordnet sind, ist der positive Effekt für Nichtwohnbauten als gering einzustufen. Im unmittelbaren Fensterbereich kann die Perforation im peripheren Gesichtsfeld mitunter zu Irritationen führen.



FIG. 37: Sonnenschutz mit perforierter Rafflamelle: Rafflamellenstoren; Betrachtung bei unterschiedlichen Entfernungen und Winkeln

5.5 Diskussion

Das nachfolgende Diagramm veranschaulicht die Tageslichtquotienten aller Sonnenschutzsysteme in Abhängigkeit zur Raumtiefe. Bei sämtlichen Messungen war die Fassade direkt zur Sonne ausgerichtet und der Himmelszustand war klar (sonnig). Die Stoff- und die Rafflamellenstoren waren komplett nach unten gefahren und die Lamellen der Rafflamellenstoren für eine maximale Tageslichtausnutzung horizontal gestellt.

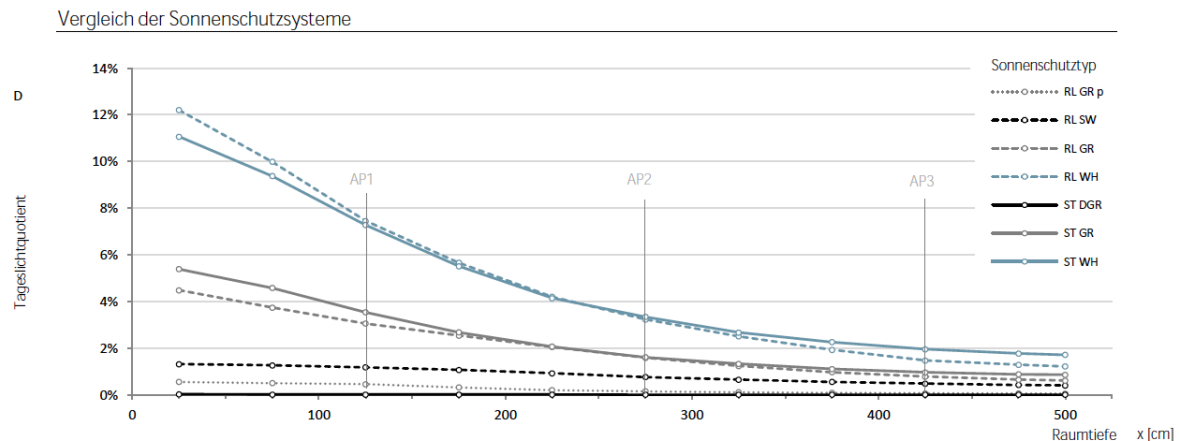


FIG. 38: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Vergleich unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme

Anmerkung zur Legende in FIG. 38:

Abkürzung	Bezeichnung	Abkürzung	Bezeichnung
RL WH	Rafflamelle weiss	ST WH	Stoffstoren weiss
RL SI	Rafflamelle silber	ST GR	Stoffstoren grau
RL SW	Rafflamelle schwarz	ST DGR	Stoffstoren dunkelgrau

Der Tageslichtquotient nimmt mit zunehmender Raumtiefe nichtlinear ab. Der Verlauf für die weissen und grauen Systeme kann über folgende Polynome 2ten-Grades beschrieben werden:

Rafflamelle

Weiss (RL-WH) $y = 6 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0005x + 0.1341$ Gl. 5-1

Grau (RL-GR) $y = 1 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0002x + 0.0485$ Gl. 5-2

Stoffstoren

Weiss (ST-WH) $y = 5 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0005x + 0.1229$ Gl. 5-3

Grau (ST-GR) $y = 3 \cdot 10^{-7}x^2 - 0.0002x + 0.0598$ Gl. 5-4

Die Tageslichtverläufe der Systeme (Lamelle/Stoff) mit ähnlicher Farbigkeit unterscheiden sich nur minimal. Das Sonnenschutzsystem aus weissem Stoff weist beim Arbeitsplatz AP1 einen Tageslichtquotient von 7.3% und die der weisse Rafflamelle einen von 7.5% auf. Bei einer reinen Betrachtung der Tageslichtnutzung unter den oben beschriebenen Rahmenbedingungen hängt die Auswahl primär von der verwendeten Reflexionsgrad bzw. Transmissionsgrad des Sonnenschutzes ab. Der Systemscheid Lamelle oder Stoff ist dagegen nur

von sekundärer Bedeutung. Diese Ergebnisse widersprechen der langläufigen Meinung, dass Rafflamellen grundsätzlich eine bessere Tageslichtnutzung ermöglichen. Ab einer Raumtiefe von 3 m zeigen die Messungen, dass die Stoffstoren sogar einen grösseren Anteil Tageslicht in das Rauminnere bringen als das System mit Rafflamellen.

Somit liegt der Vorteil der Standard-Rafflamelle vielmehr in der hohen Flexibilität aufgrund der Verstellbarkeit der Lamellen und weniger an deren Lichtumlenkeigenschaften.

Der Lamellenwinkel lässt sich je nach Bedarf von Wärmeschutz, Ausblick und Tageslichtnutzung beliebig ändern. Die horizontale Stellung der Lamellen ist so oft als möglich einzustellen. Eine Perforierung der Lamellen bringt keine nennenswerte Verbesserung; der Ausblick wird nur gewährleistet, wenn der Betrachter frontal vor dem Fenster steht.

Theoretisch kann eine Reduzierung der Betriebszeiten von bis zu 80% errechnet werden. Im schlechtesten Fall dagegen liegen diese Werte – abhängig von der Globalstrahlung – bei 57%, bezogen auf $G_v = 200 \text{ W/m}^2$, und 50%, bezogen auf $G_v = 150 \text{ W/m}^2$. Dabei geht man aber davon aus, dass der Sonnenschutz nur als Wärmeschutz heruntergelassen wird, da dies die einzige primäre Anforderung an einen aussenliegenden Sonnenschutz ist. Zur Vermeidung von Blendung lassen sich auch andere innenliegende Systeme einsetzen, die nur die betroffene Zone schützen, aber nicht das gesamte Tageslicht ausschliessen.

In dem Berechnungsverfahren kann dies über die Korrekturfaktoren Sonnenschutz k_{sp} und Fahrstrategie Sonnenschutz k_{cs} berücksichtigt werden.

Die Fahrstrategie entscheidet über die Verteilung der Tageslichtnutzungsanteile.

Die nachfolgende Aufstellung enthält die Verteilung bei einer Globalstrahlung von 200 W/m^2 (siehe Tabelle 4).

$$100\% = t_{TLN} + t_{kTLN} + t_{sg} + t_{TLN Ta} + t_{eTLN} \quad \text{für } G_v = 200 \text{ W/m}^2$$

$$100\% = 57\% + 18\% + 11\% + 3\% + 11\%$$

$$100\% = 57\% + 32\% + 11\% \cdot k'_{sp} \quad \text{Rafflamelle}$$

$$100\% = 57\% + 18\% + 25\% \cdot k'_{sp} \quad \text{Stoffstoren}$$

Sonnenschutzsysteme auf der Basis von Rafflamellen beeinflussen den Anteil der eingeschränkten Tageslichtnutzung t_{eTLN} nur dann, wenn der Sonnenschutz auf Grund der Globalstrahlung geschlossen ist, aber die Sonnenhöhe (CutOff-Winkel) es ermöglicht, die Lamelle horizontal zu stellen. Dieser Anteil ist jedoch mit 11 Prozent sehr klein. Er liesse sich erhöhen, wenn weitere Lamellenstellungen in die Berechnung mit einbezogen würden.

Bei dem Sonnenschutzsystem aus Stoff muss das System immer geschlossen sein, wenn die Globalstrahlung überschritten wird, – dies unabhängig von der Sonnenhöhe. Somit hat der Sonnenschutz Einfluss auf die Anteile eingeschränkter Tageslichtnutzung t_{eTLN} und Sonnenschutz geschlossen t_{sg} und ist mit 25% grösser.

Wenn ein Tageslichtquotient von 3% am Arbeitsplatz als Mass für eine ausreichende Tageslichtversorgung angenommen wird, ergeben sich folgende Werte für eine mögliche Tageslichtnutzung: (Die Aufstellung erfolgte für die beiden Systeme und deren Materialeigenschaften.)

Tabelle 15 Auswertung mögliche Tageslichtnutzung – Rafflamelle

$100\% = 57\% + 32\% + 11\%$	Rafflamelle schwarz
$100\% = 57\% + 43\%$	$D_{AP1, Ap2, Ap3} < 3\%$
$100\% = 57\% + 3.5\% + 32\% + 7.5\%$	Rafflamelle silber
$100\% = 60.5\% + 39.5\%$	$D_{AP1} > 3\%, D_{Ap2, Ap3} < 3\%$
$100\% = 57\% + 7.5\% + 32\% + 3.5\%$	Rafflamelle weiss
$100\% = 64.5\% + 35.5\%$	$D_{AP1, Ap2} > 3\%, D_{Ap3} < 3\%$

Tabelle 16 Auswertung mögliche Tageslichtnutzung – Stoff

$100\% = 57\% + 18\% + 25\%$	Stoffstoren dunkelgrau
$100\% = 57\% + 43\%$	$D_{AP1, Ap2, Ap3} < 3\%$
$100\% = 57\% + 8\% + 18\% + 17\%$	Stoffstoren grau
$100\% = 65\% + 35\%$	$D_{AP1} > 3\%, D_{Ap2, Ap3} < 3\%$
$100\% = 57\% + 17\% + 18\% + 8\%$	Stoffstoren weiss
$100\% = 74\% + 26\%$	$D_{AP1, Ap2} > 3\%, D_{Ap3} < 3\%$

Beide Systeme mit den dunkelsten Materialien erreichen einen Tageslichtquotienten von 1% im Bereich des ersten Arbeitsplatzes vom Fenster aus gesehen. Eine Tageslichtnutzung ist somit nicht gewährleistet.

Dunkle Stoffe sollten in Gebäuden, die nach SIA 380/4 erstellt werden, keine Verwendung mehr finden. Schwarze bzw. dunkle Lamellen sollte man nur bedingt einsetzen dürfen. Bei silbrigen Lamellen mit einem Reflexionsgrad von 50% und grauen Stoffen liegt die Betriebszeit bei einer möglichen Tageslichtnutzung bei 60.5% für die Rafflamelle und bei 65% für einen grauen Stoff.

Bei Verwendung der hellsten Systeme erhöht sich der Anteil auf 64.5% für die weisse Lamelle und 74% für den weissen Stoff.

Dies setzt aber voraus, dass sich die Systeme in einem sehr sauberen Zustand befinden. Das bessere Abschneiden des Sonnenschutzes aus Stoff überrascht. Dabei ist jedoch zu beachten, dass dieser positive Effekt für die Tageslichtnutzung auf Kosten des thermischen Schutzes geht. Auch Blendungsprobleme, die durch die direkt besonnenen Stoffe entstehen, sind hier nicht berücksichtigt.

Daher kann selbst bei idealen Systemen die Betriebszeit der elektrischen Beleuchtung durch Tageslicht maximal um 65% reduziert werden.

6 Fazit

6.1 Fazit für die SIA 380/4

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass das bestehende Berechnungsmodell der SIA 380/4 das Tageslicht und den Sonnenschutz nicht zufriedenstellend einbindet. Die bisher verwendeten Werte zur Reduzierung der Volllaststunden sind zu hoch und der Einfluss des verwendeten Sonnenschutzsystems ist überbewertet.

In der nächsten Überarbeitung der SIA 380/4 sind die folgenden Einflussgrössen mit einzubeziehen:

- a) geografischer Standort und Klima
- b) Gebäudeautomation / Fahrstrategie Sonnenschutz
- c) Korrekturfaktor Sonnenschutz

Die Autoren empfehlen eine schrittweise Anpassung. Einerseits hat die Untersuchung gezeigt, dass viele Faktoren, die aus Simulationen bzw. Annahmen stammen, in der Praxis die angestrebten Reduzierungen der Einschaltzeiten nicht erreichen. Die beschriebenen Güteparameter sind unzureichend. Dies gilt für den Sonnenschutz, den Präsenzmelder wie auch für die Steuerung (Licht und Sonnenschutz).

Zur Berücksichtigung des geografischen Standorts und des Klimas ist ein typischer Standort für die Schweiz zu definieren. Die Implementierung erfolgt mit der Aufteilung der Betriebszeiten gemäss der Gl. 3-5.

Die Standorte liegen in der Schweiz geografisch gesehen eng zusammen; die klimatischen und topografischen Unterschiede sind jedoch gross (z.B. von Davos und Lugano) und dürfen deshalb in den Berechnungen nicht vernachlässigt werden. Für Planer, die erweiterte Klima-Analysen durchgeführt haben, ist eine Option zu ermöglichen, mit welcher sich zusätzliche Standorte inklusive deren Daten implementieren lassen. Somit könnten erfahrene Nutzer Klimadaten des Standortes in den Nachweis importieren, um damit eine genauere Aufteilung zu erhalten, die beispielsweise die speziellen topografischen Einflüsse berücksichtigt. Im Vollzug (Kontrolle der Nachweise) könnten mit diesen Angaben weitere wichtige Erkenntnisse gewonnen werden.

Die gewählte Fahrstrategie und die dafür notwendigen Parameter sind zukünftig Bestandteil des Nachweises. Als Vorschlag sind folgende Kategorien erarbeitet worden, die als Basis für die Überarbeitung des SIA 380/4 dienen sollen. Es ist anzumerken, dass diese Kategorien wesentlich ausführlicher sind als die in der EN SN 15232 aufgeführten.

.

Tabelle 17: Kategorien für den Korrekturfaktor Fahrstrategie Sonnenschutz k_{spc}

Typ Korrekturfaktor	Auswahl
Kat. 1 sehr gut	<ul style="list-style-type: none"> Fahrstrategie mit ausgewiesenem integralen Ansatz und auf Tageslichtnutzung optimiert Schliessen des Sonnenschutzsystems bei einer vertikalen Globalstrahlung auf dem jeweiligen Fassadenbereich $> 200 \text{ W/m}^2$ Manueller Eingriff durch Nutzer möglich Sonnenschutzsystem ist geschoss- und abschnittsweise max. 6 m unterteilt Berücksichtigung der Verbauung (natürliche Verschattung) beim Schliessen des Sonnenschutzes Priorität Direkt-Beam/CutOff – Lamellenstellung verhindert Direktstrahlung bei max. Öffnung für Tageslichtnutzung Selektives und prädiktives Verhalten (Aussen- und Innentemperatur, Wetterprognose) <p>Alle Bedingungen sind erfüllt.</p> <p>Kann nicht mit allen Sonnenschutztypen erreicht werden.</p>
Kat. 2 gut	<ul style="list-style-type: none"> Fahrstrategie mit ausgewiesenem integralen Ansatz und auf Tageslichtnutzung optimiert Schliessen des Sonnenschutzsystems bei einer vertikalen Globalstrahlung auf dem jeweiligen Fassadenbereich $> 200 \text{ W/m}^2$ Manueller Eingriff durch Nutzer möglich Sonnenschutzsystem ist geschoss- und abschnittsweise max. 6 m unterteilt Priorität Direkt-Beam/CutOff – Lamelle horizontal 0° oder Stoffstoren mit Ausstellung <p>Alle Bedingungen sind erfüllt.</p>
Kat. 3 befriedigend	<ul style="list-style-type: none"> Fahrstrategie hat keinem ausgewiesen integralen Ansatz Schliessen des Sonnenschutzsystems bei einer vertikalen Globalstrahlung auf den jeweiligen Fassadenbereich $> 150 \text{ W/m}^2$ manueller Eingriff nicht möglich Sonnenschutzsystem ist nicht geschoss- und abschnittsweise unterteilt <p>Alle Bedingungen sind erfüllt.</p>
Kat. 4 mangelhaft	<p>Es liegen keine Informationen zur Fahrstrategie bzw. zum Schwellwert für die Globalstrahlung vor.</p>
X	<p>Rein manuelle Fahrstrategien können die Anforderungen bei Nichtwohnbauten nicht einhalten und sind daher nicht möglich. (Diesbezüglich besteht ein Widerspruch zur SIA 382.)</p>

Für den neuen Korrekturfaktor Sonnenschutz $k_{sp,neu}$ empfehlen die Autoren die folgenden Qualitätsstufen:

Tabelle 18: Korrekturfaktor Sonnenschutz neu $k_{sp,neu}$

Qualitätsstufe	$k_{sp,neu}$	Beschreibung
0	1.0	kein Sonnenschutz notwendig
sehr gut	0.75	Tageslichtoptimiertes System (Umlenkung, Unterteilung der Lamellen)
gut	0.65	Rafflamellenstoren mit heller Oberfläche ($\varphi \geq 0.6$) Behang mit transparentem Material ($\tau \geq 0.25$)
befriedigend	0.3	Rafflamellenstoren mit mittlerer Oberfläche ($\varphi \geq 0.4 < 0.6$) oder Behang mit transparentem Material ($\tau \geq 0.1 < 0.25$)
noch ausreichend	0	Rafflamellenstoren mit dunkler Oberfläche ($\varphi < 0.4$)
nicht ausreichend	-	Behang mit nichttransparentem Material oder transparentem Material ($\tau < 0.1$)

Die Korrekturwerte müssen an den Berechnungsalgorithmus angepasst werden. Eine Perforation oder eine Ausstellung verbessert die Qualitätsstufe um einen halben Punkt. Aus energetischen Überlegungen und aus Sicht des Komforts sind verdunkelnde Stoffe nicht mehr ausreichend. Dunkle Lamellen (Reflexionsgrad $< 40\%$) sind noch möglich, werden aber als noch ausreichend eingestuft.

6.2 Fazit für Planende

Nach Integration der Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen in die SIA 380/4 müssen die Planer bzgl. der Anpassungen informiert und geschult werden. Grundsätzlich wird in Zukunft das Erreichen der Vorgaben wieder anspruchsvoller.

6.3 Fazit für Gesetzgeber, Behörden, MINERGIE

Die Normen im Bereich der Gebäudetechnik sind aktuell in der Überarbeitung. Es ist damit zu rechnen, dass es durch den internationalen Druck zu Veränderungen kommt, die ebenfalls Auswirkungen auf die SIA 380/4 haben. Seitens der Gesetzgeber, der Behörden und dem Verein MINERGIE sind notwendige Massnahmen zu ergreifen, damit die Lenkungs-massnahme durch die SIA 380/4, die seit Jahren zu positiven Ergebnissen geführt hat, weitergeführt werden kann.

7 Ausblick

Ein weiterer Grund für die Empfehlung einer schrittweisen Anpassung liegt in den Bestrebungen, die prEN 15193-1 als europäische bzw. als internationale Norm durchzusetzen. Die Schweiz ist an Abkommen mit der Europäischen Union bzgl. Normierung gebunden. Es laufen Abklärungen, inwieweit die SIA 380/4 Normen der EN15193 übernehmen muss.

Die SIA 380/4 hat im Vergleich zu der prEN 15193-1 jedoch grosse Vorteile, da sie schon seit Jahren in der Schweiz etabliert ist und eine hohe Akzeptanz bei Planern und Experten besitzt. Auch die klaren Vorgaben zum Erreichen von geforderten Grenz- und Zielwerten ist vorbildlich und führte dazu, dass sie auch in der Gesetzgebung einzelner Kantone Einzug gefunden hat.

In den letzten Jahren konnten viele Erkenntnisse und Erfahrungen aus den Nachweisen und Kontrollen vor Ort gewonnen werden. Eine Einführung der prEN 15193-1 in der aktuellen Form würde der Schweiz mehr schaden als nützen.

Das europäische Berechnungsmodell deckt viele spezielle Situationen ab, ist aber dadurch auch wesentlich komplexer.

Es ist nicht ratsam, die Komplexität weiter zu erhöhen, da die entsprechende Software für Planer, welche diese nicht regelmässig verwenden, kaum noch nutzbar wäre. Generell würde die bis anhin hohe Akzeptanz der Norm darunter leiden. Gerade diese hohe Akzeptanz hat wesentlich zum Erfolg der SIA 380/4 beigetragen.

Mit der im Jahre 2010 eingeführten Software ReluxEnergyCH ist das Erbringen des Nachweises nochmals einfacher geworden. Zudem gestaltet der Datenaustausch mit der Lichtberechnungssoftware ReluxProfessional den Planungsprozess nochmals effizienter. In den nächsten Jahren wird sich der Druck durch die unterschiedlichen Labels (LEED, DGNB-Zertifikat usw.) weiter verstärken. Zudem kann gerade bei Grossprojekten die Nachvollziehbarkeit der Nachweiserstellung kaum noch gewährleistet werden. Eine Optimierung und Analyse ist hier sehr schwierig, obwohl dies gerade bei solchen Gebäuden von grossem Interesse wäre. Die Veränderungen im Bereich der CAD-Software hin zu erweiterten Building-Information-Modeling-Systemen (BIM) wird die Qualität der Planung verbessern, da wegen der parametrisierten Eingabe die Energieberechnung im Hintergrund erfolgt. Planer werden von der aufwändigen Eingabe entlastet und können ihre Tätigkeit vermehrt auf die Optimierung des Gebäudes fokussieren. Die Verwendung von BIM-Software stellt somit eine Alternative dar. Langfristig wird daher empfohlen, den Nachweis der SIA 380/4 auch in BIM-Software zu integrieren. Zudem ist das aktuelle einfache Rechenmodell aufgrund der heute vorhandenen Rechenleistungen zu hinterfragen. Die Autoren empfehlen diesbezüglich die Durchführung eines weiterführenden Projekts, das die Erkenntnisse aus den vorliegenden Untersuchungen in einem Simulationstool abbildet.

Eine mittelfristige Strategie soll eine optimale Abstimmung mit anderen betroffenen Gewerken gewährleisten. Dies betrifft sowohl die Normen in den Bereichen Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie den Sonnenschutz.

8 Abkürzungsverzeichnis

Bezeichnung	Einheit	Bedeutung
A	m ²	Fläche
h	m	Höhe
b	m	Breite
bzgl.		bezüglich
t	m	Tiefe
E	lx	Beleuchtungsstärke horizontal
E _n	lx	Beleuchtungsstärke am Punkt n
E _a	lx	Beleuchtungsstärke aussen
E _v	lx	Beleuchtungsstärke vertikal
t _{KL}	lx	Einschaltzeit für das Kunstlicht
E _{BH}	lx	Beleuchtungsstärke horizontal bei bewölktem Himmel
E _{KH}	lx	Beleuchtungsstärke horizontal bei klarem Himmel
E _S	lx	Beleuchtungsstärke horizontal durch Sonneneinstrahlung
SSW	%	Sonnenscheinwahrscheinlichkeit
B	%	Bedeckungsgrad
D	%	Tageslichtquotient
k		Korrekturwert
K _S	lm/W	Photometrisches Strahlungsäquivalent für die Sonne horizontal
K _H	lm/W	Photometrisches Strahlungsäquivalent für den Himmel horizontal
E ₀		Solarkonstante
Φ	lm	Lichtstrom
A _K		Kugeloberfläche
A _B		Fläche des Beschattungssystems
r _K	m	Kugelradius
Ω	m ²	Raumwinkel
Ω ₀	°	Einheitsraumwinkel
LON	°	Meridianwinkel
Φ LAT	°	Breitenwinkel
K _m		Photometrisches Strahlungsäquivalent
V(λ)	W/lm	Spektrale Hellempfindlichkeit
I	cd	Lichtstärke
E	lx	Beleuchtungsstärke
L	cd/m ²	Leuchtdichte
L _z	cd/m ²	Zenitleuchtdichte
J	xx	Tag im Jahr
δ	°	Sonnendeklination
ω	°	Stundenwinkel
h'	°	Sonnenazimut
τ	%	Transmissionsgrad

ρ	%	Reflexionsgrad
α	%	Absorptionsgrad
φ	°	Geographische Breite des Ortes
γ	°	Winkel zwischen Himmelspunkt und Horizont
ε	°	Winkel zwischen Himmelspunkt und Zenit
β	°	Neigungswinkel der Lamelle
L_L	m	Lamellenlänge
H_L	m	Lamellenabstand

9 Abbildungs- /Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufgaben des Sonnenschutzes	4
Tabelle 2: Auswertung Fall 1 mit unterschiedlichen Sonnenschutzsystemen	10
Tabelle 3: Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung ($G_v = 150 \text{ W/m}^2$)	11
Tabelle 4: Auswertung Fall 2 mit Fallunterscheidung verwendeter Sonnenschutz	12
Tabelle 5: Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung ($G_v = 200 \text{ W/m}^2$)	13
Tabelle 6: Energieeffizienzklassen nach EN SN 15232.....	15
Tabelle 7: Korrekturfaktoren für die Tageslichtnutzung in der SIA 380/4	17
Tabelle 8: Korrekturfaktoren aus den Simulationen.....	21
Tabelle 9: Implementation in das Berechnungsmodell SIA 380/4.....	21
Tabelle 10: Reflexionsgrade der Raumflächen	25
Tabelle 11: Eigenschaften der ausgewählten Sonnenschutzsysteme	28
Tabelle 12: Messablauf für Rafflamellenstoren	30
Tabelle 13: Messablauf für Stoffstoren.....	30
Tabelle 14: Entfernungen der Arbeitsplätze von der Fassade	31
Tabelle 15 Auswertung mögliche Tageslichtnutzung – Rafflamelle	47
Tabelle 16 Auswertung mögliche Tageslichtnutzung – Stoff	47
Tabelle 17: Kategorien für den Korrekturfaktor Fahrstrategie Sonnenschutz k_{spc}	49
Tabelle 18: Korrekturfaktor Sonnenschutz neu $k_{sp,neu}$	50

FIG. 1: Systemübersicht: Stoff-, Rafflamelle, Rollladen (Quelle: Warema)	5
FIG. 2: Diagramm theoretisch mögliche Tageslichtnutzung ($G_v = 150 \text{ W/m}^2$)	10
FIG. 3: Diagramm theoretisch mögliche Tageslichtnutzung ($G_v = 200 \text{ W/m}^2$)	12
FIG. 4 Lichtmesscontainer in Horw	23
FIG. 5 Aussenansicht Lichtmesscontainer mit Rafflamellensonnenschutz	23
FIG. 6: 3D-Ansicht Lichtmesscontainer	23
FIG. 7: Anteile des Tageslichtquotienten gemäss DIN 5034-2	24
FIG. 8: Raumflächen des Messraumes	25
FIG. 9: Messraster / Raumbeleuchtungsstärkescanner, 0.75 cm	25
FIG. 10 Beleuchtungsstärkesensorkopf des Raumscanners	26
FIG. 11: Direktstrahlung bei horizontalen Rafflamellenstoren (Jager, 2005).....	27
FIG. 12: Arbeitsplatzpositionen im Testraum	31
FIG. 13: Erklärung der Darstellung der Messwerte	32
FIG. 14: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle weiss) ...	33
FIG. 15 Aussenansicht Rafflamelle weiss	34
FIG. 16 Innenansicht Rafflamelle weiss	34
FIG. 17: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle weiss) ...	35
FIG. 18 Aussenansicht Rafflamelle silber.....	35
FIG. 19 Innenansicht Rafflamelle silber.....	35
FIG. 20: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle schwarz)	36
FIG. 21 Aussenansicht Rafflamelle schwarz	37
FIG. 22 Innenansicht Rafflamelle schwarz	37
FIG. 23 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, offen.....	38
FIG. 24 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, geschlossen	38
FIG. 25 Aussenansicht Rafflamelle silber, perforiert, offen.....	38

FIG. 26 Innenansicht Rafflamelle schwarz	38
FIG. 27: Tageslichtquotient in Abhängigkeit von der Raumtiefe (M-14 Rafflamelle schwarz).....	39
FIG. 28 Aussenansicht Stoffstoren weiss.....	40
FIG. 29 Innenansicht Stoffstoren weiss.....	40
FIG. 30: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren weiss bei klarem Himmel	41
FIG. 31: Aussenansicht Stoffstoren grau.....	42
FIG. 32: Innenansicht Stoffstoren grau	42
FIG. 33: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren grau bei klarem Himmel.....	42
FIG. 34: Aussenansicht Stoffstoren dunkelgrau	43
FIG. 35: Innenansicht Stoffstoren dunkelgrau	43
FIG. 36: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Stoffstoren dunkelgrau bei klarem Himmel	43
FIG. 37: Sonnenschutz mit perforierter Rafflamelle: Rafflamellenstoren; Betrachtung bei unterschiedlichen Entfernungen und Winkeln	44
FIG. 38: Tageslichtquotient Verteilung im Raum – Vergleich unterschiedlicher Sonnenschutzsysteme.....	45

10 Literatur- und Quellenverzeichnis

- DIN 5034-1 Tageslicht in Innenräumen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen.* (2011). Institut für Normung e.V.
- EN 15193-1 Energetische Bewertung von Gebäuden - Modul M9 - Energetische Anforderungen an die Beleuchtung - Teil 1: Spezifikationen.* (2014).
- SIA 180 * SN 520180 - Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden.* (2014). Zürich: SNV-SIA.
- SIA 180 - Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden.* (2014). SNV-SIA.
- SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau.* (2006) (Auflage, Bd. Norm SIA). Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein.
- SIA 382-1 Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen (ersetzt 2014).* (2007). SNV-SIA.
- SIA 2024 Merkblatt - Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik.* (2006). Zürich: SNV-SIA.
- SN EN 12464-1 - Licht und Beleuchtung - Teil 1: Beleuchtung von Arbeitsstätten.* (2011) (Ausgabe 2011-01). Winterthur: SNV.
- SN EN 15232 * SIA 386.110 Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement.* (2012). Zürich: SNV-SIA.
- VBG, Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (Hrsg.). (2005). *BGI 827- Sonnenschutz im Büro: Hilfen für die Auswahl von geeigneten Blend- und Wärmeschutzvorrichtungen an Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen* (Ausg.: Februar 2005.). Hamburg, 2005.
- VSR (Hrsg.). (o. J.). Reglement Minergie-Modul Sonnenschutz. Abgerufen von http://www.minergie.ch/tl_files/download/Reglement_Minergie-Modul_Sonnenschutz_d.pdf
- Weber, A., & Sinimalé, K. (2004). *SIA 380/4 Tageslichtnutzung.* Zürich: SIA, Amstein + Walther AG.

11 Anhang

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit des Berichts und zur leichteren Lesbarkeit sind Messprotokolle, Rechenprogramme, längere mathematische Herleitungen usw. im Anhang aufgeführt.

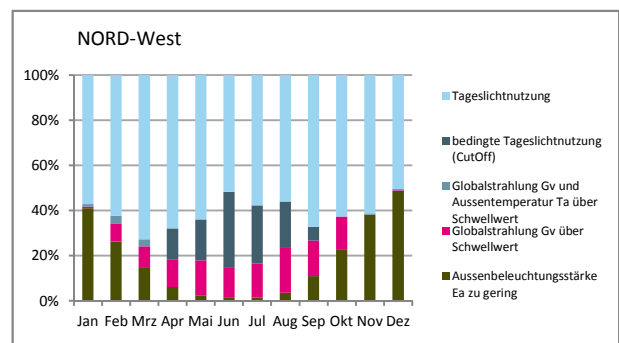
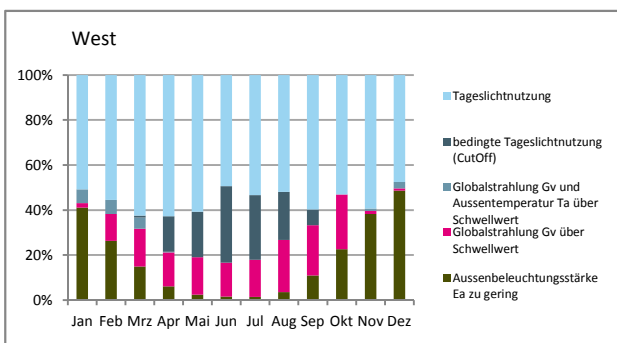
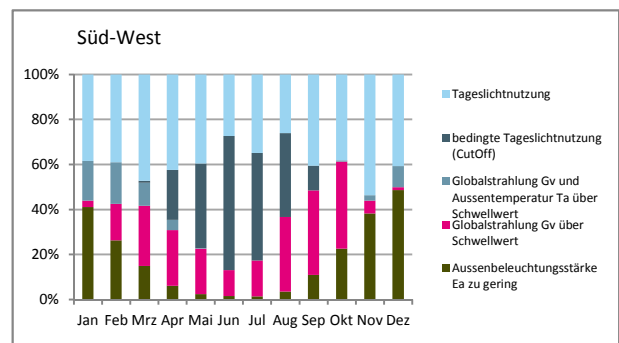
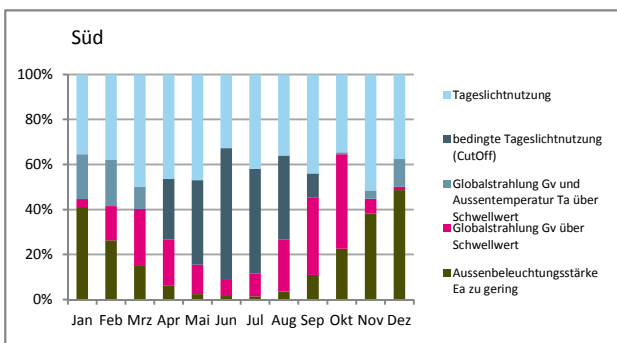
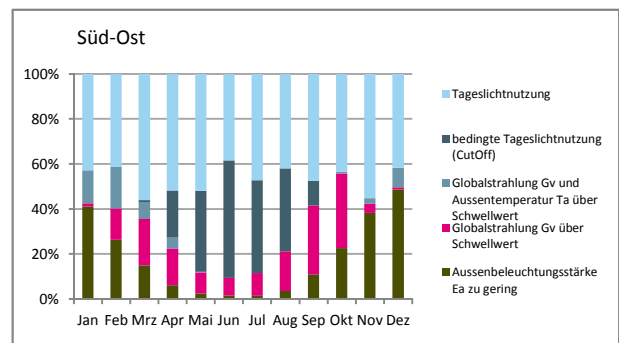
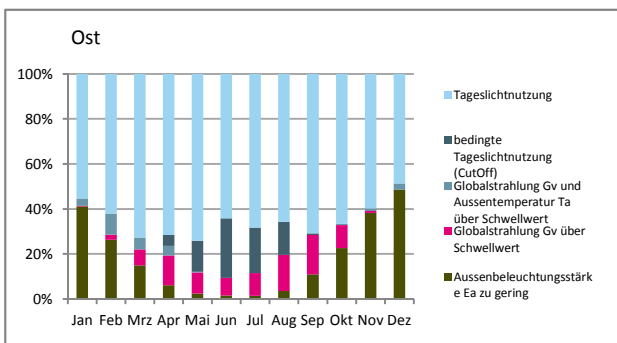
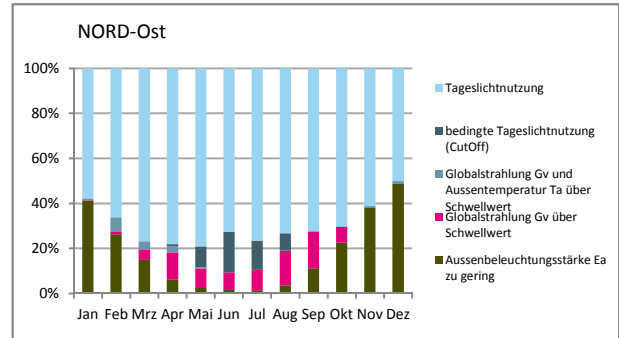
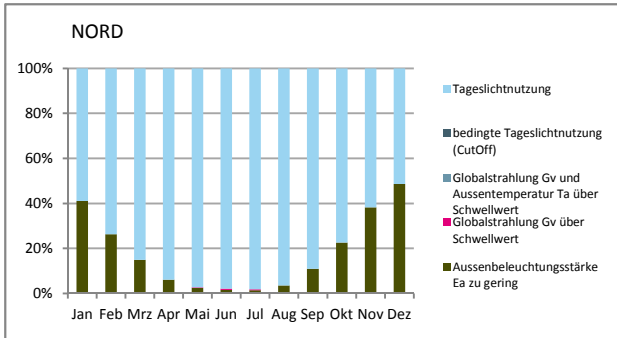
A1. Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

- DIY SIA ZH Kloten warm $G_v = 150 \text{ W/m}^2$
- DIY SIA ZH Kloten warm $G_v = 200 \text{ W/m}^2$
- DIY SIA ZH Kloten kalt $G_v = 150 \text{ W/m}^2$
- DIY SIA ZH Kloten kalt $G_v = 200 \text{ W/m}^2$
- Davos $G_v = 150 \text{ W/m}^2$
- Davos $G_v = 200 \text{ W/m}^2$
- Lugano $G_v = 150 \text{ W/m}^2$
- Lugano $G_v = 200 \text{ W/m}^2$

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten SIA ZH KLO dry warm
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 200 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

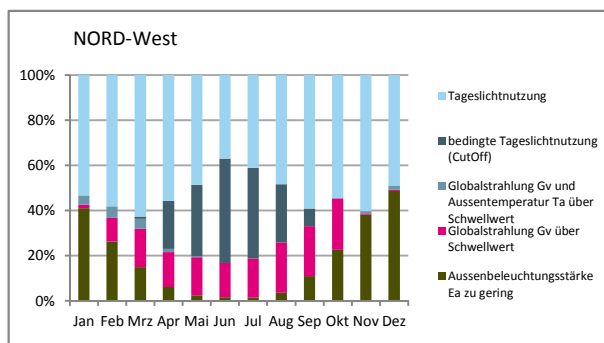
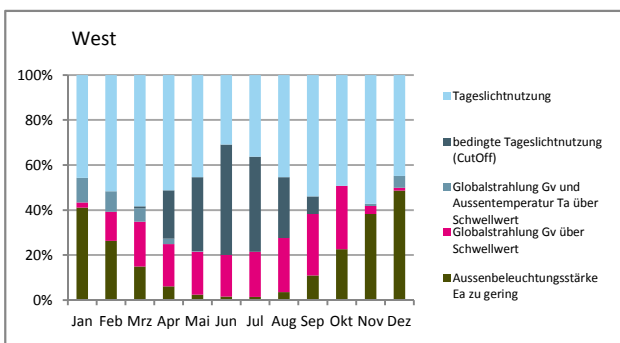
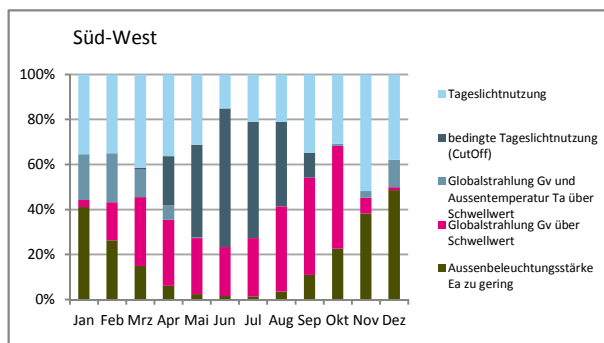
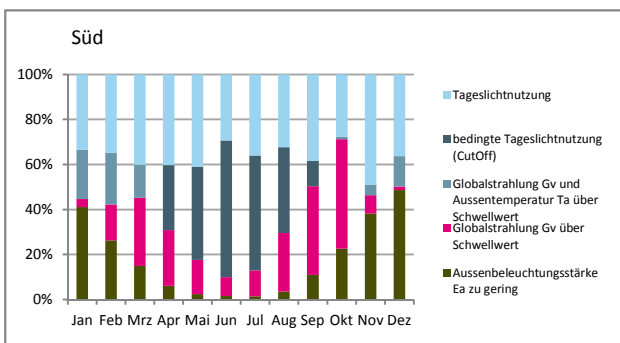
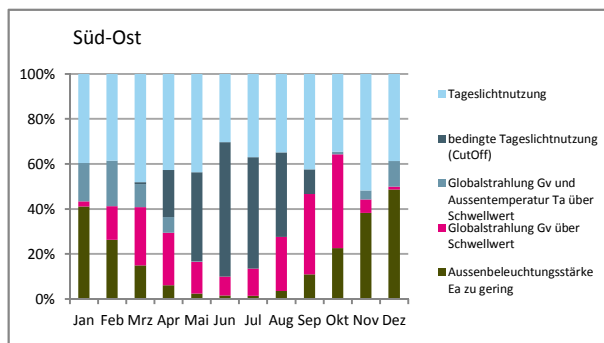
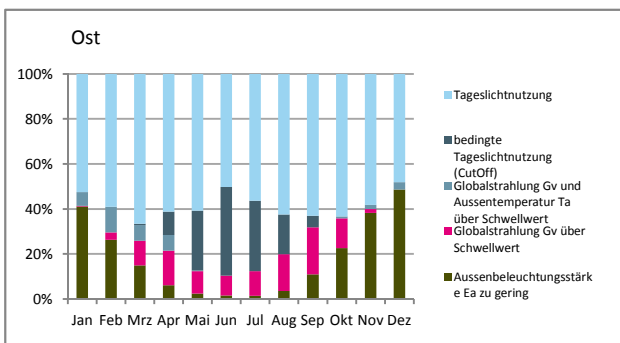
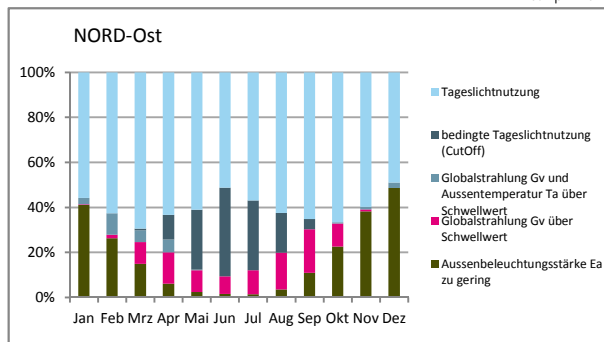
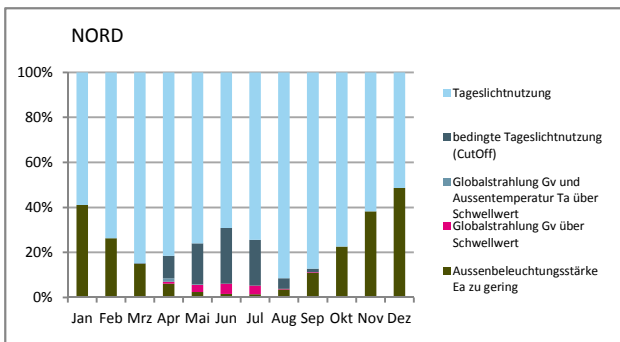


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	82%	70%	65%	47%	41%	39%	56%	61%	57%	6.3
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	0%	7%	8%	14%	17%	20%	14%	10%	11%	1.2
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	0%	1%	2%	5%	6%	5%	2%	1%	3%	0.3
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	0%	4%	7%	17%	18%	18%	11%	10%	11%	1.2

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten SIA ZH KLO dry warm
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 150 \text{ W/m}^2$, $T_a < 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

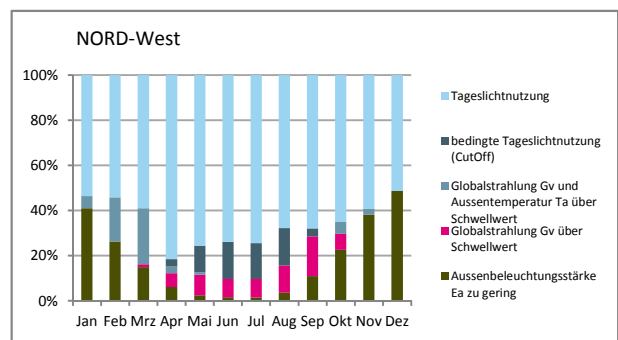
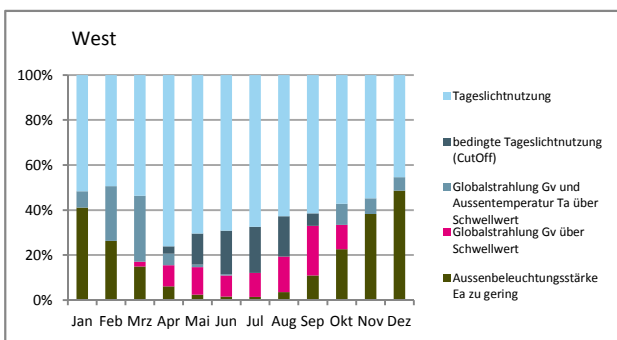
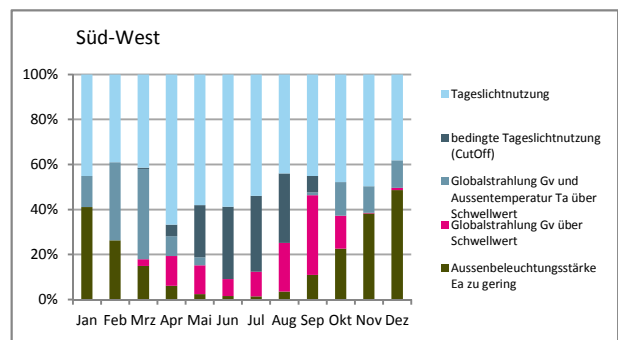
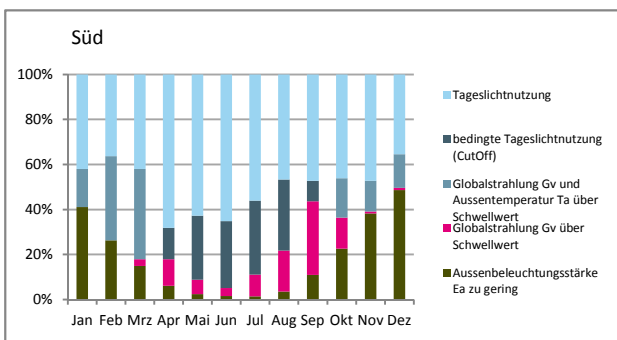
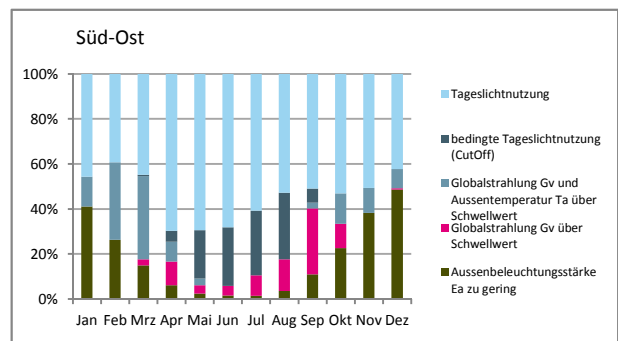
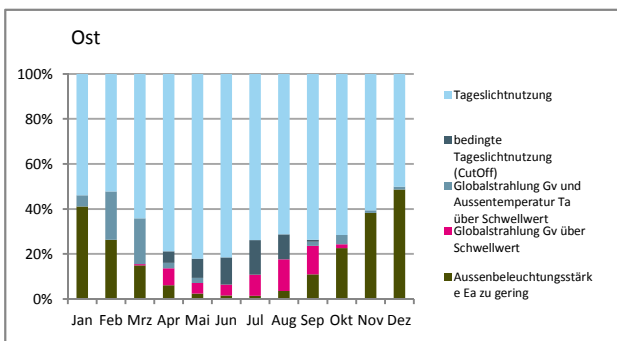
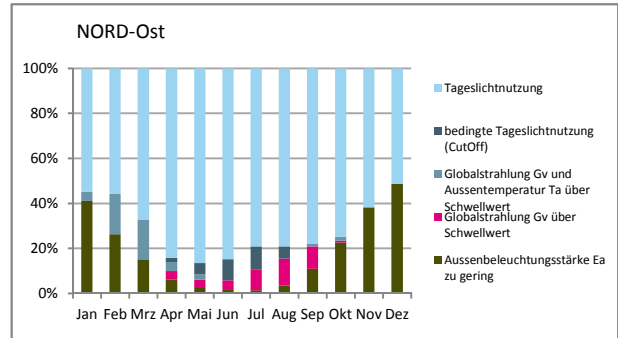
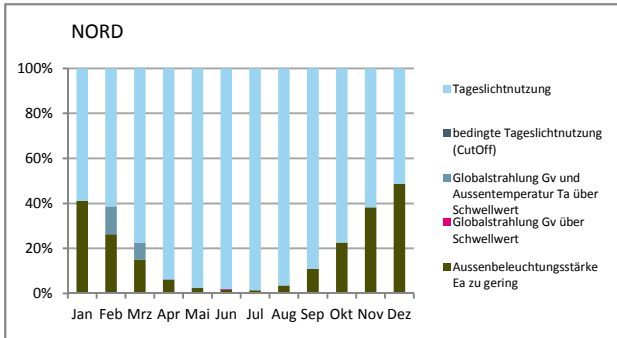


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	74%	60%	58%	40%	37%	33%	47%	52%	50%	5.5
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	1%	8%	9%	17%	19%	24%	16%	14%	14%	1.5
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	0%	2%	3%	6%	7%	6%	3%	1%	4%	0.4
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	7%	11%	11%	18%	19%	19%	15%	15%	14%	1.6

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten SIA ZH KLO dry kalt
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 200 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

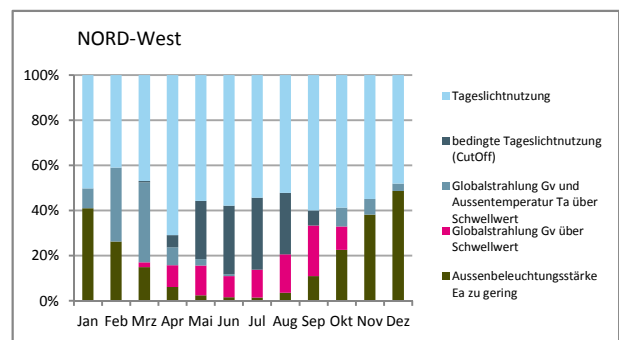
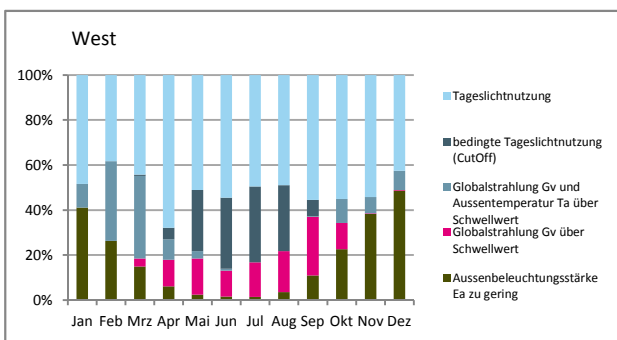
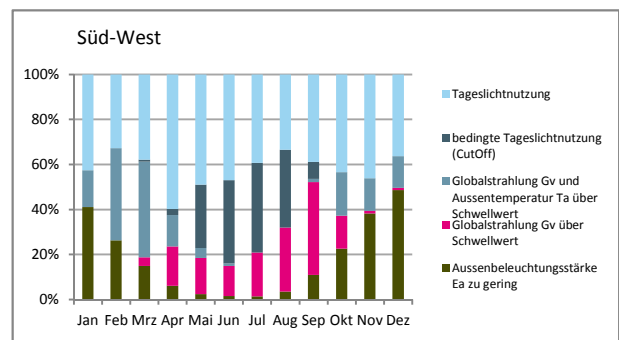
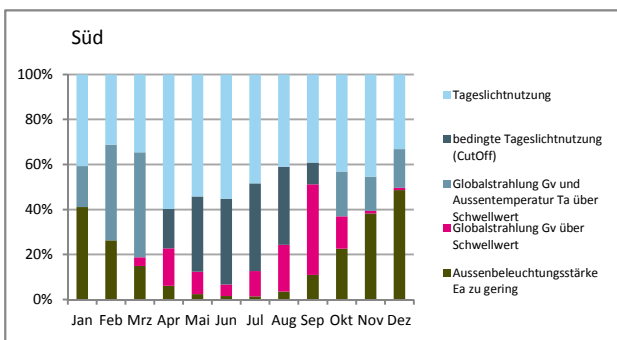
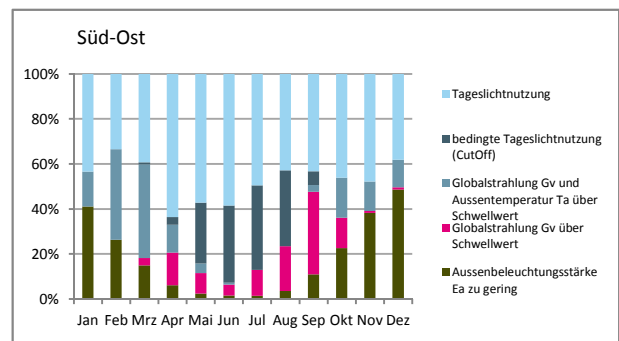
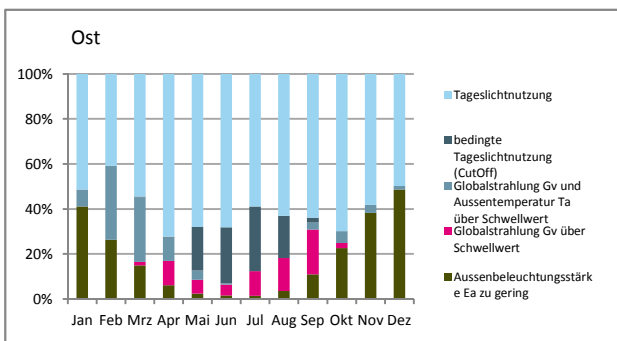
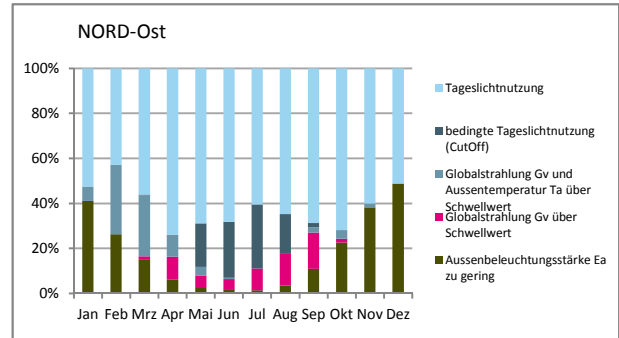
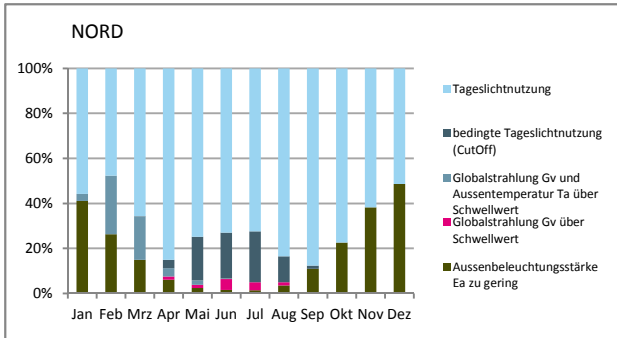


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	80%	72%	68%	54%	50%	49%	60%	65%	62%	6.8
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	0%	4%	5%	7%	8%	10%	8%	6%	6%	0.7
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	2%	4%	5%	11%	12%	12%	7%	5%	7%	0.8
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	0%	3%	4%	10%	12%	11%	7%	6%	7%	0.7

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten SIA ZH KLO dry kalt
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 150 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

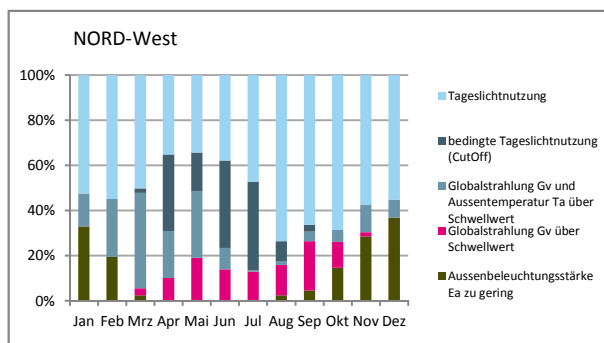
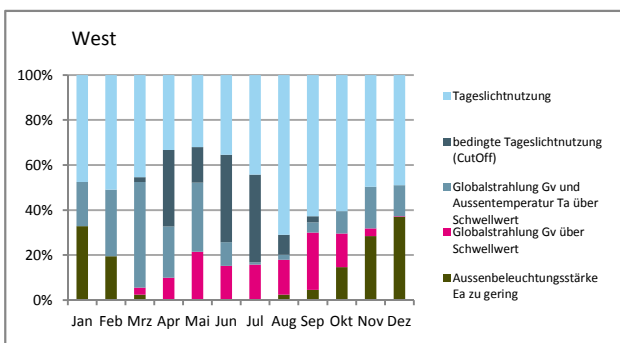
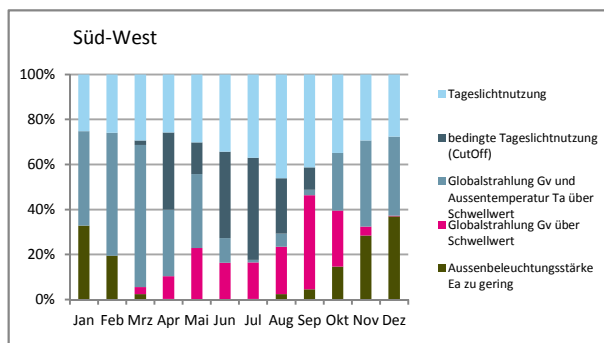
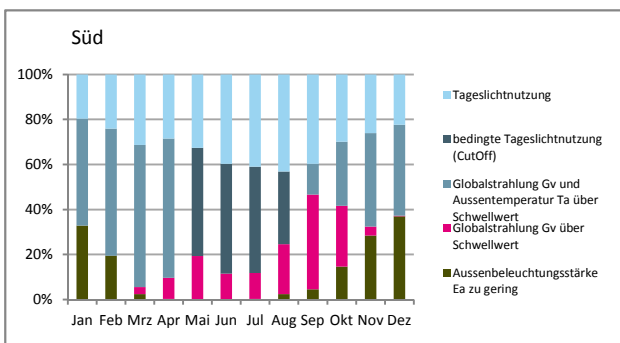
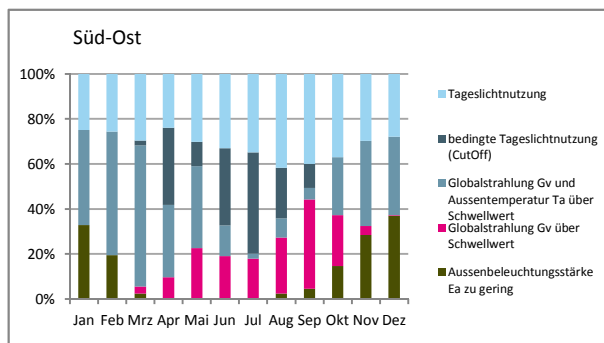
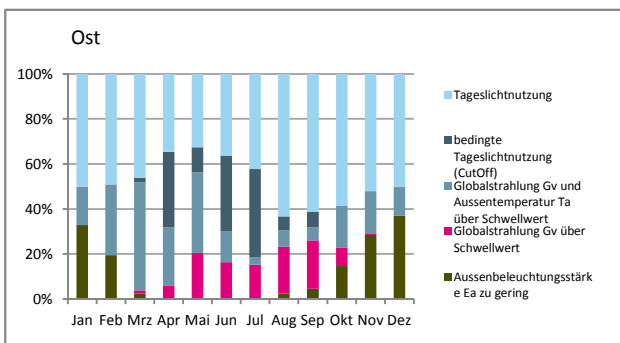
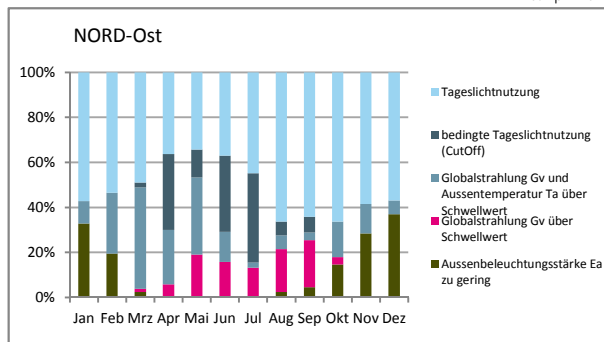
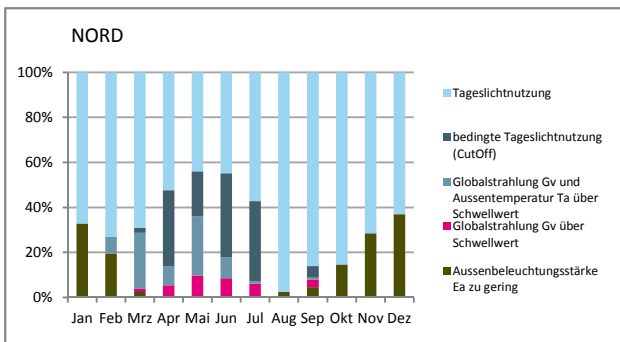


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	70%	62%	60%	47%	44%	42%	51%	54%	54%	5.9
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	18%	2.0
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	1%	5%	6%	10%	10%	13%	10%	8%	8%	0.9
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	4%	7%	8%	13%	13%	14%	10%	9%	10%	1.1
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	7%	8%	8%	12%	14%	13%	11%	11%	10%	1.1

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten Davos
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 2000 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

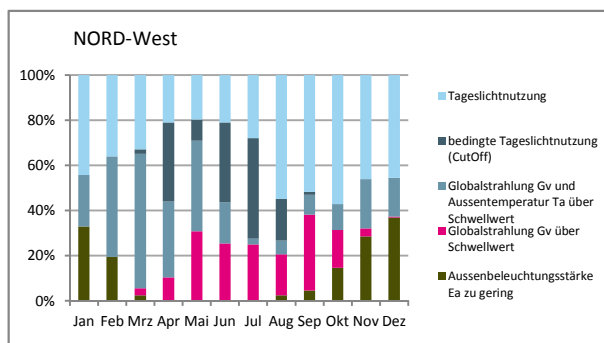
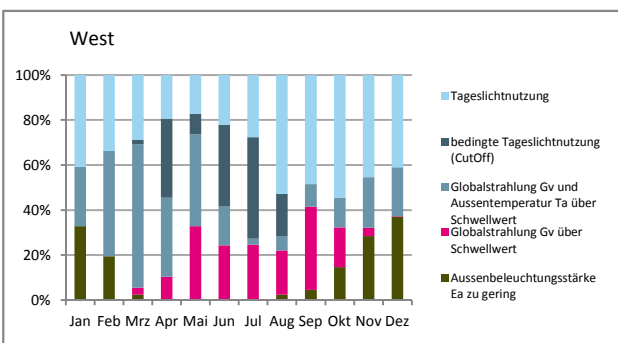
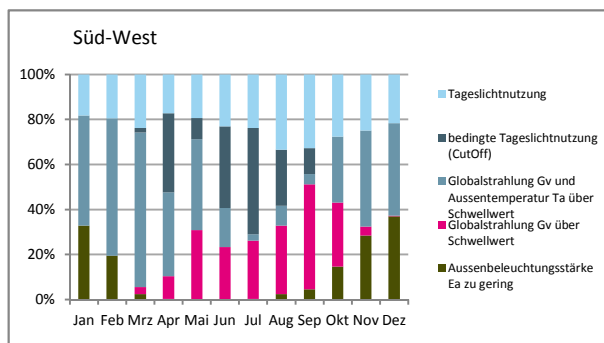
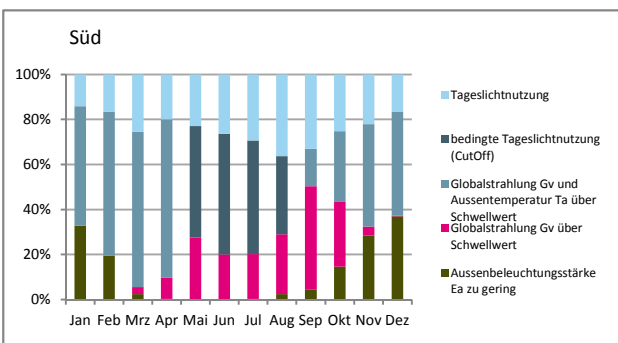
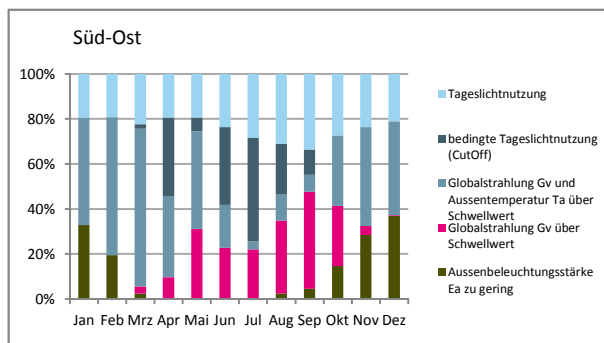
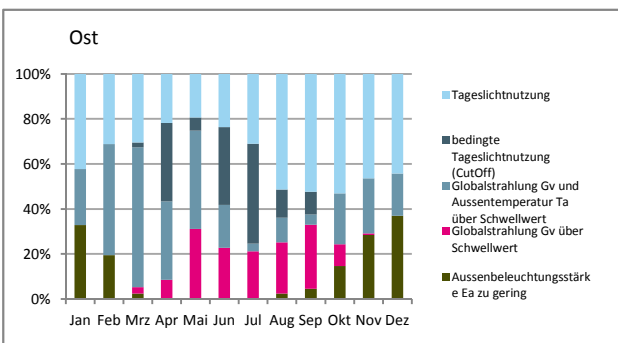
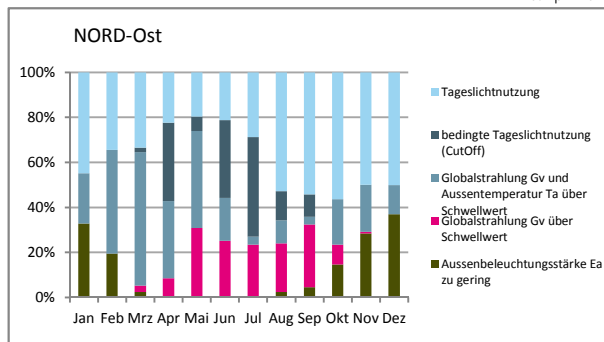
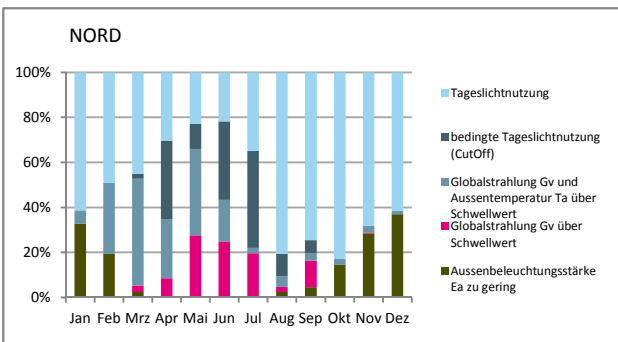


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	68 %	52 %	48 %	32 %	32 %	32 %	48 %	53 %	46 %	5.0
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	12 %	1.3
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	3 %	8 %	9 %	14 %	13 %	13 %	10 %	9 %	10 %	1.1
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	7 %	17 %	20 %	30 %	29 %	28 %	17 %	14 %	20 %	2.2
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	11 %	11 %	11 %	13 %	15 %	14 %	12 %	12 %	12 %	1.4

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten Davos
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 150 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

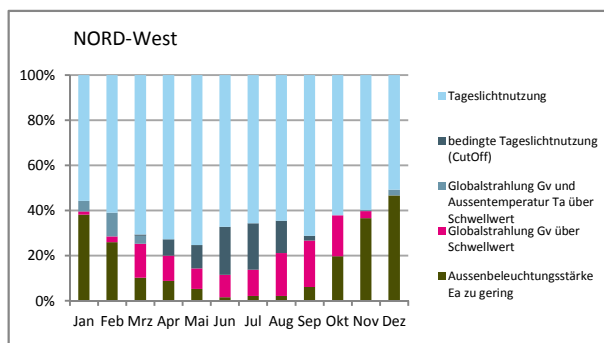
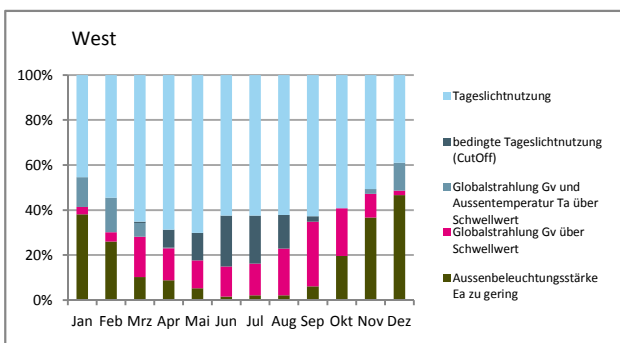
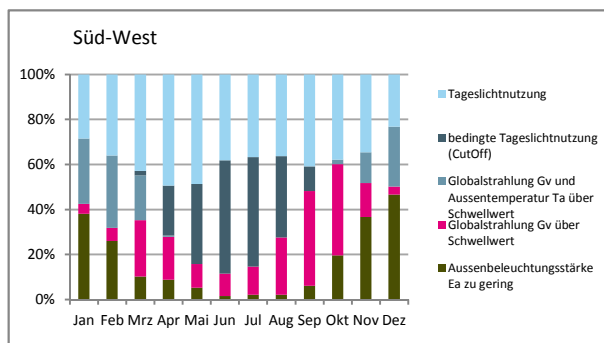
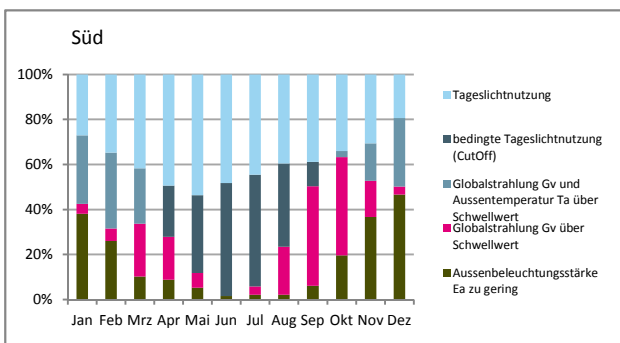
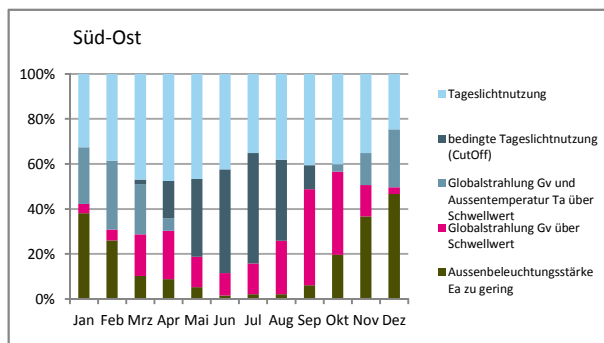
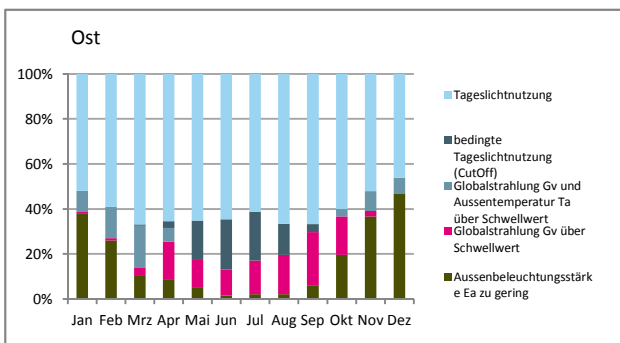
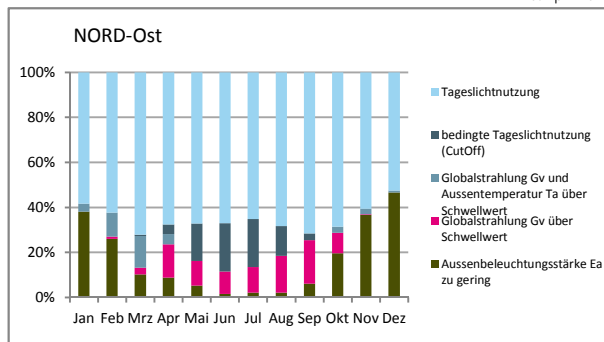
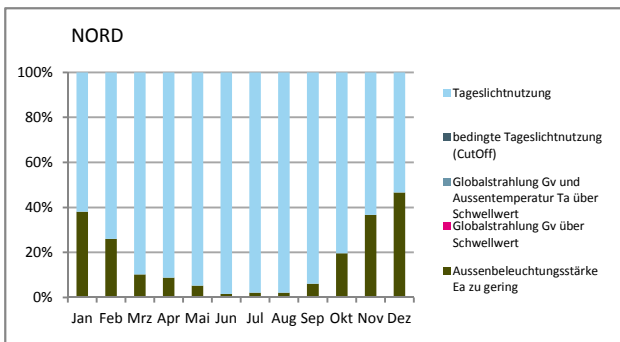


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	53%	39%	37%	24%	24%	24%	36%	38%	34%	3.8
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	1.3
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	8%	13%	12%	16%	16%	17%	14%	14%	14%	1.5
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	15%	24%	26%	35%	33%	33%	25%	24%	27%	3.0
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	12%	12%	12%	13%	16%	14%	12%	12%	13%	1.4

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

Basis: Klimadaten Lugano
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 200 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015

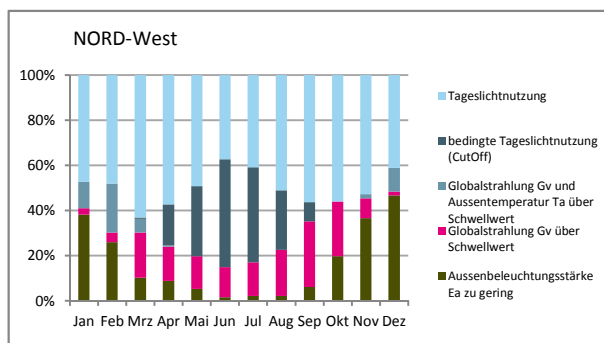
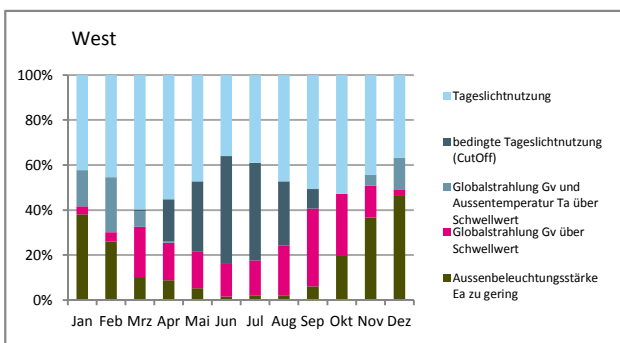
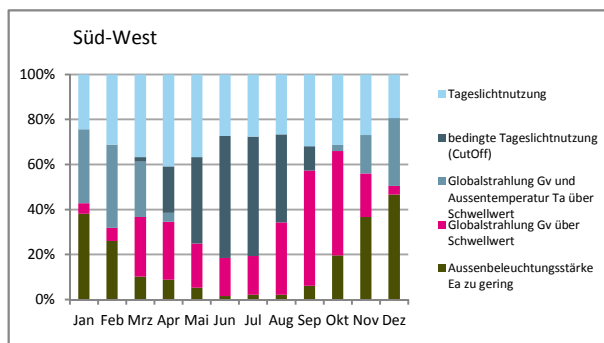
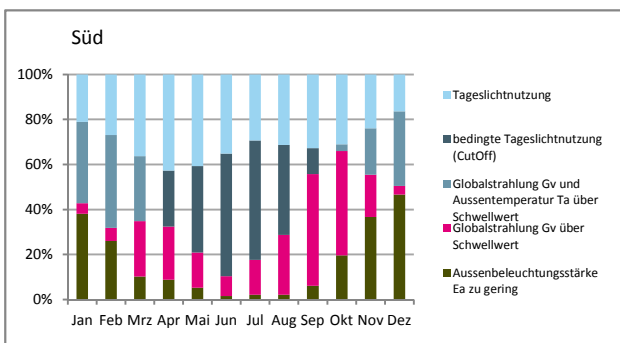
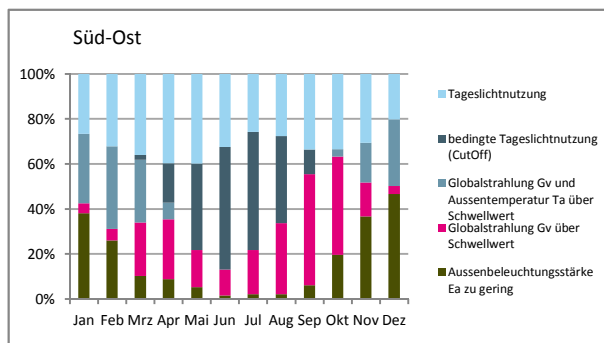
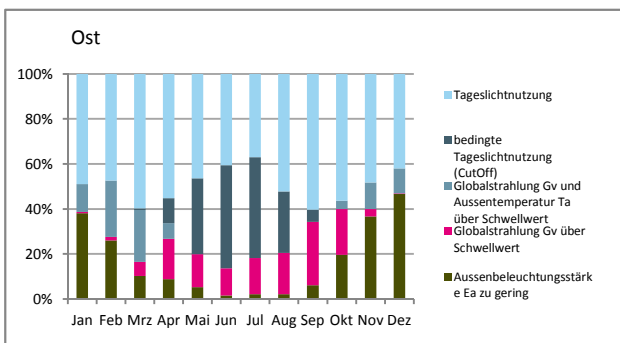
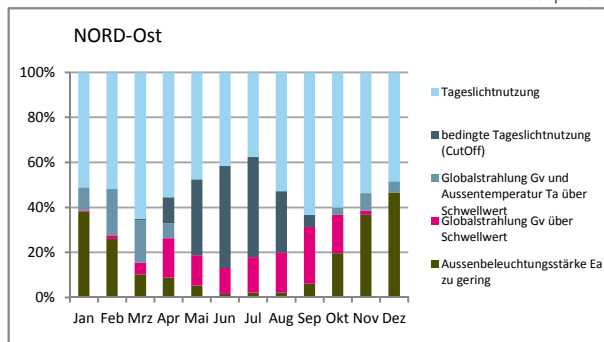
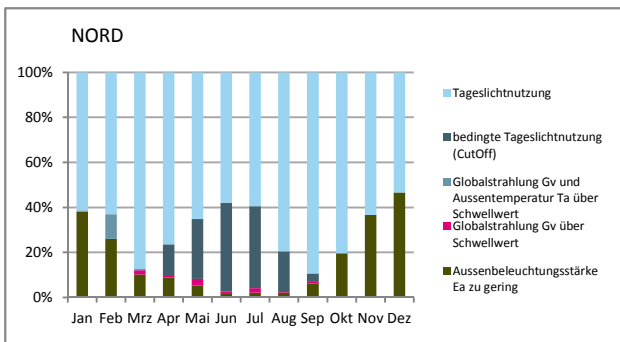


	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	83%	65%	60%	39%	38%	38%	59%	65%	56%	6.1
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	1.9
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	0%	8%	10%	17%	16%	18%	14%	10%	12%	1.3
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	0%	3%	6%	10%	11%	10%	4%	2%	6%	0.6
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	0%	7%	7%	16%	17%	17%	7%	6%	10%	1.1

Auswertung der theoretisch möglichen Tageslichtnutzung

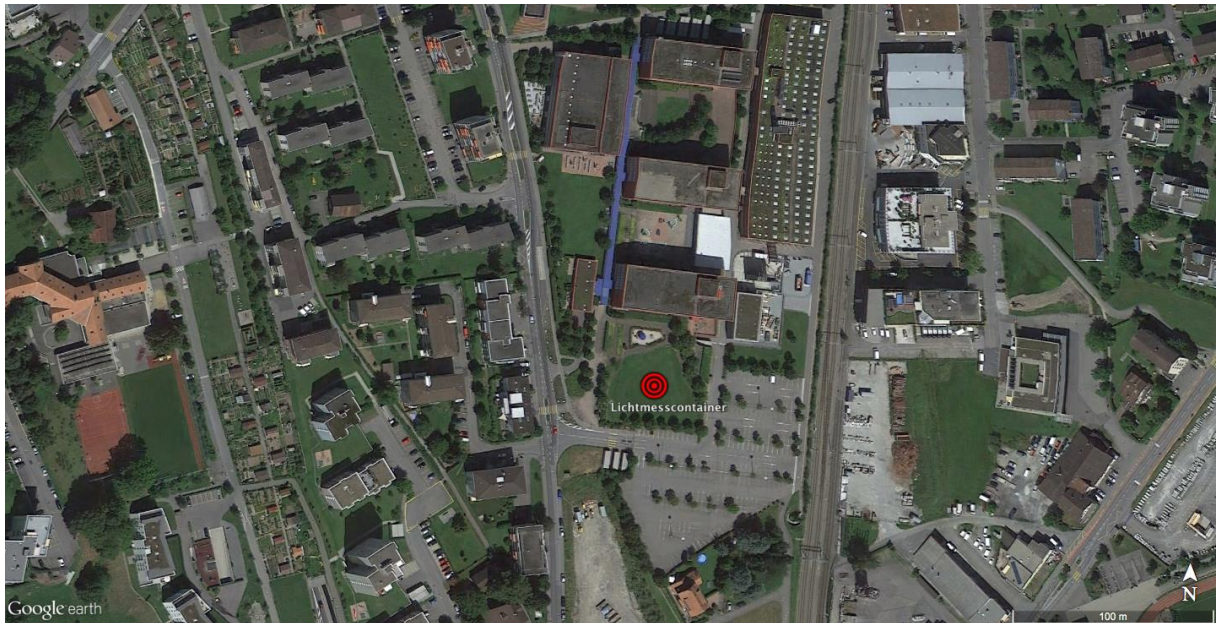
Basis: Klimadaten Lugano
Schwellwerte: $E_a > 4500 \text{ lx}$, $G_v > 150 \text{ W/m}^2$, $T_a \leq 10^\circ\text{C}$, $\gamma > 45^\circ$
Projekt: BFE SADLESS

15. April 2015



	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Ø	Ø[h]
Tageslichtnutzung	70%	52%	50%	31%	31%	30%	46%	50%	45%	5.0
Aussenbeleuchtungsstärke Ea zu gering	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	17%	1.9
Globalstrahlung Gv über Schwellwert	1%	11%	12%	21%	20%	23%	16%	14%	15%	1.6
Globalstrahlung Gv und Aussentemperatur Ta über Schwellwert	1%	6%	8%	13%	13%	12%	5%	4%	8%	0.9
bedingte Tageslichtnutzung (CutOff)	12%	14%	14%	18%	19%	18%	15%	15%	16%	1.7

A2. Standort Lichtmesscontainer



A FIG. 1 Standort Lichtmesscontainer (Quelle: google earth)

Standort	Grad (dezimal)	Grad, Min, Sec.
Geografische Breite:	47.01°	47°0'46"
Geografische Länge:	8.31°	8°18'21"

Da ein absolut verschattungsfreier Platz nicht zur Verfügung stand, wurde der Standort in Abhängigkeit der Rahmenbedingungen mit Hilfe von Sonnenstandanalysen optimiert. Dabei stellten die umliegenden Bäume die stärkste Einschränkung dar.

A3. Bildserie 1 Verwendete Sonnenschutzsysteme Aussenansicht / seitlich

A FIG. 2 Stoffstore weiss

A FIG. 3 Stoffstore hellgrau

A FIG. 4 Stoffstore anthrazit

A FIG. 5 Rafflamelle weiss, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 6 Rafflamelle silber, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 7 Rafflamelle schwarz, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 8 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 9 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 90°



A4. Bildserie 2 Verwendete Sonnenschutzsysteme Aussenansicht / frontal

A FIG. 10 Stoffstore weiss

A FIG. 11 Stoffstore hellgrau

A FIG. 12 Stoffstore anthrazit

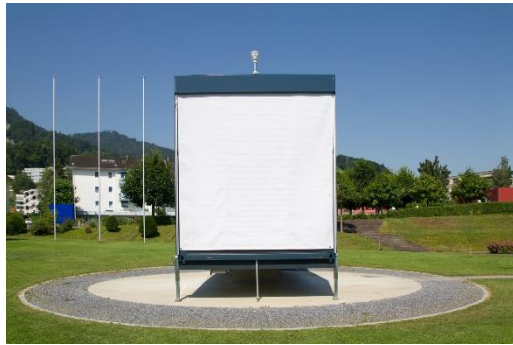
A FIG. 13 Rafflamelle weiss, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 14 Rafflamelle silber, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 15 Rafflamelle schwarz, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 16 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 17 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 90°



A5. Bildserie 3 Verwendete Sonnenschutzsysteme Innenansicht / frontal

A FIG. 18 Stoffstore weiss

A FIG. 19 Stoffstore hellgrau

A FIG. 20 Stoffstore anthrazit

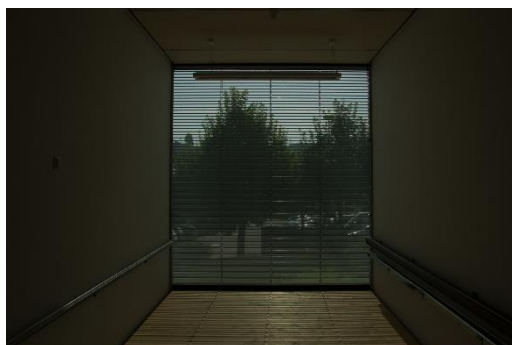
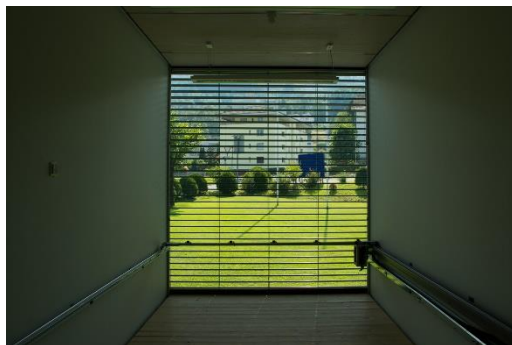
A FIG. 21 Rafflamelle weiss, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 22 Rafflamelle silber, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 23 Rafflamelle schwarz, Lamellenwinkel 0°

A FIG. 24 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 0°

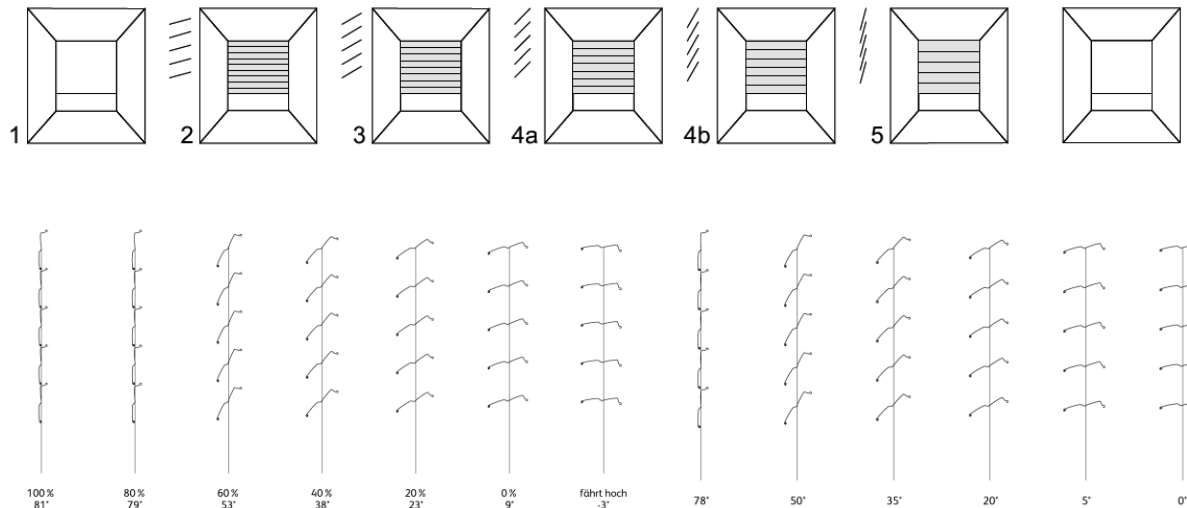
A FIG. 25 Rafflamelle silber perforiert, Lamellenwinkel 90°



A6. Messablauf Rafflamellenstoren

Tabelle A 1: Messablauf für Rafflamellensonnenschutz

Index	Position Storen	Lamellenstellung
1	Position 0% Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert	n/a
2	Position 100% (Storen geschlossen)	100% \triangleq >80° max. geschlossen
3	Position 100% (Storen geschlossen)	80% \triangleq ca. 79°
4	Position 100% (Storen geschlossen)	60% \triangleq ca. 53°
5	Position 100% (Storen geschlossen)	40% \triangleq ca. 38°
6	Position 100% (Storen geschlossen)	20% \triangleq ca. 23°
7	Position 100% (Storen geschlossen)	0% \triangleq > ca. 9°
8	Position 98% (Storen wird hochgefahren)	0% \triangleq >ca.-3°
9	Position 0% Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert Vergleich zu Messung 1 zur Erfassung der Verän- derung der Himmelsverhältnisse	n/a



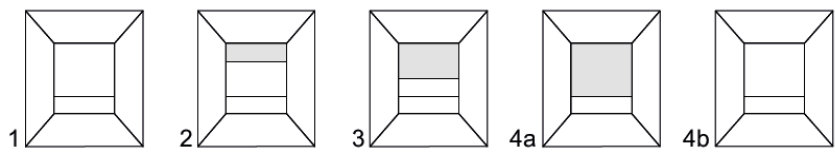
A FIG. 26 Lamellenstellungen bei Messung

A FIG. 27 Lamellenstellung vereinheitlicht für Auswertung

A7. Messablauf Stoffstoren

Tabelle A 2: Messablauf für Stoffstoren

Index	Position Storen	Lamellenstellung
1	Position 0% Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert	n/a
2	Position 66% (Storen geschlossen)	n/a
3	Position 33% (Storen geschlossen)	n/a
4a	Position 0% (Storen geschlossen)	n/a
4b	Position 0% (Storen 2/3 geschlossen, Ausblick möglich, keine direkte Sonne im Raum)	mit Ausstellung
5	Position 0% Storen hochgefahren Tageslichtnutzung wird durch Sonnenschutz nicht behindert Vergleich zu Messung 1 zur Erfassung der Veränderung der Himmelsverhältnisse	n/a



A FIG. 28 Messablauf Stoffstoren

A8. Bildserie 4 - Messablauf

Raum hell, Sonnenschutzsystem Rafflamelle silber, 1/3 geschlossen

A FIG. 29 1/3, Lamellenwinkel 100% ($> 80^\circ$)

A FIG. 30 1/3, Lamellenwinkel 80% \pm ca. 79°

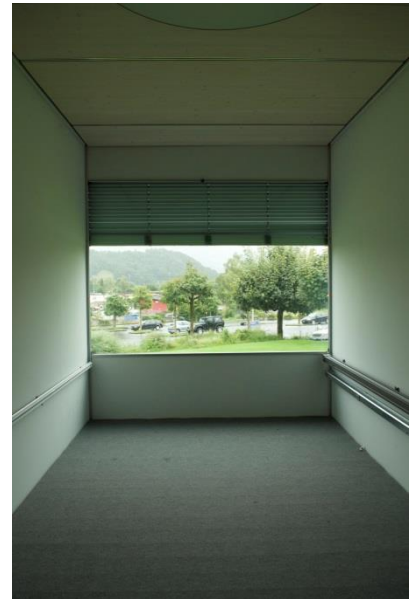
A FIG. 31 1/3, Lamellenwinkel 60% \pm ca. 53°

A FIG. 32 1/3, Lamellenwinkel 60% \pm ca. 38°

A FIG. 331/3, Lamellenwinkel 80% \pm ca. 23°

A FIG. 341/3, Lamellenwinkel 0% \pm ca. 9°

A FIG. 351/3, Behang fährt hoch Lamellenwinkel 0% \pm ca. -3°)



A9. Bildserie 5 - Messablauf

Raum hell, Sonnenschutzsystem Rafflamelle silber, 2/3 geschlossen

A FIG. 36 2/3, Lamellenwinkel 100% ($> 80^\circ$)

A FIG. 37 2/3, Lamellenwinkel 80% \triangleq ca. 79°

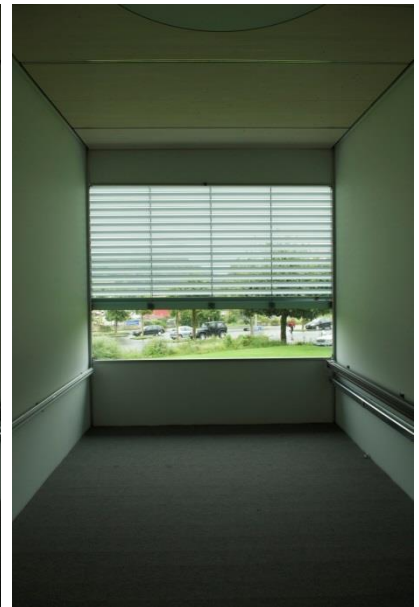
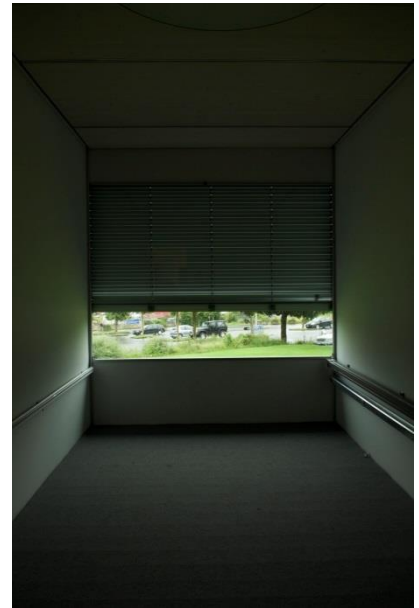
A FIG. 38 2/3, Lamellenwinkel 60% \triangleq ca. 53°

A FIG. 39 2/3, Lamellenwinkel 60% \triangleq ca. 38°

A FIG. 40 2/3, Lamellenwinkel 80% \triangleq ca. 23°

A FIG. 41 2/3, Lamellenwinkel 0% \triangleq ca. 9°

A FIG. 42 2/3, Behang fährt hoch Lamellenwinkel 0% \triangleq ca. -3°)



A10. Bildserie 3 - Messablauf

Raum hell, Sonnenschutzsystem Rafflamelle silber, 3/3 geschlossen

A FIG. 43 3/3, Lamellenwinkel 100% ($> 80^\circ$)

A FIG. 44 3/3, Lamellenwinkel 80% \triangleq ca. 79°

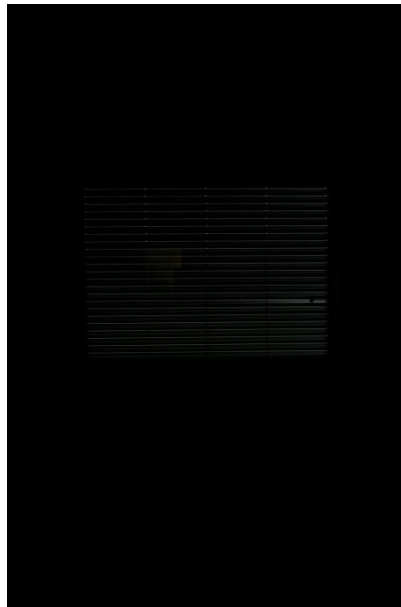
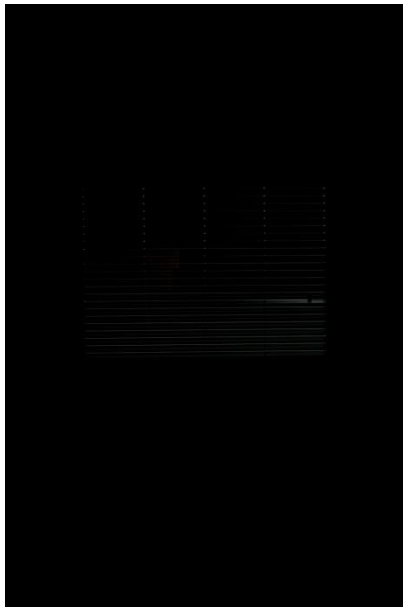
A FIG. 45 3/3, Lamellenwinkel 60% \triangleq ca. 53°

A FIG. 46 3/3, Lamellenwinkel 60% \triangleq ca. 38°

A FIG. 47 3/3, Lamellenwinkel 80% \triangleq ca. 23°

A FIG. 48 3/3, Lamellenwinkel 0% \triangleq ca. 9°

A FIG. 49 3/3, Behang fährt hoch Lamellenwinkel 0% \triangleq ca. -3°)



A11. Raumeindruck



A FIG. 50 Raumeindruck mit schwarzen Wandbehang

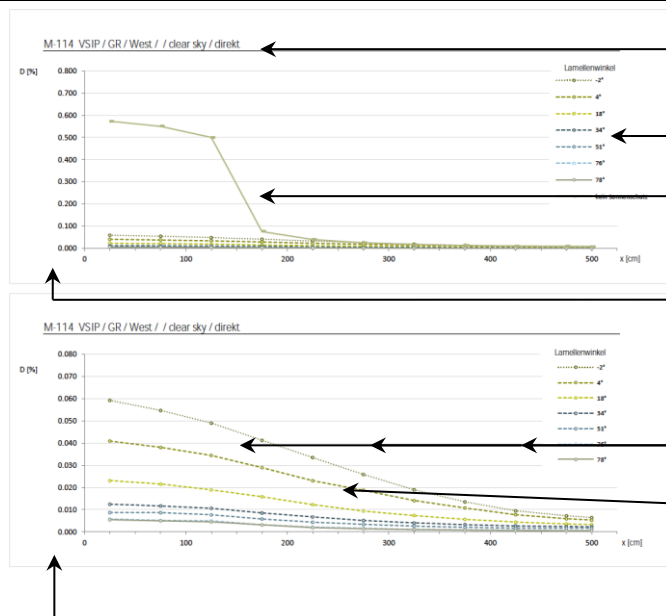


A FIG. 51 Raumeindruck mit weissen Wänden

A12. Messprotokolle

Anmerkung zu den enthaltenen Informationen in den folgenden Messprotokollen:

Die obere Grafik enthält zum Vergleich auch eine Messung mit direkter Sonneneinstrahlung ohne Sonnenschutz.



Messnummer mit Messbedingungen (Abkürzungen Storentyp, Raumsituation, Wettersituation, Ausrichtung der Fassade zur Sonne

Legende mit Lamellenwinkel (normiert) bzw. Storenposition

Messsituation offen
(ohne Sonnenschutz und mit direkter Sonne)

Skala Tageslichtquotient (grob) inkl. direkte Sonne

Position von typischen Arbeitsplätzen

Verläufe des Tageslichtquotienten

Skala Tageslichtquotient (fein) – nur Sonnenschutz

A FIG. 52 Erklärung der Darstellung der Messwerte

Header

Storentyp: Rafflamelle oder Stoff / Farbton

Situation: Raum (Reflexionsgrade Decke, Wand, Boden), Himmelsituation, Ausrichtung der Fassade zur Sonne

Datum: Druckdatum

Überschrift Diagramm

Die Überschriften enthalten die wichtigsten Angaben zur Messung in abgekürzter Form

M-133 Messnummer

WS Farbton des Storen (WS weiss, SI silber, SW schwarz)

GR Reflexionsgrade des Raumes/Wand (WS 70/80/20, GR 70/50/20, SW 70/5/20)

Süd Ausrichtung

s-clear Himmelszustand

direkt Ausrichtung der Fassade zur Sonne

Diagramm 1 - Übersicht

Tageslichtquotient D in Abhängigkeit der Raumtiefe, mit $D_{\max} = 0.8 \triangleq 80\%$, Messung der Fassadensituation ohne Sonnenschutz enthalten

Diagramm 2 - Detail

Tageslichtquotient D in Abhängigkeit der Raumtiefe, mit $D_{\max}=0.15 \pm 15\%$, Messung der Fassadensituation ohne Sonnenschutz nicht enthalten

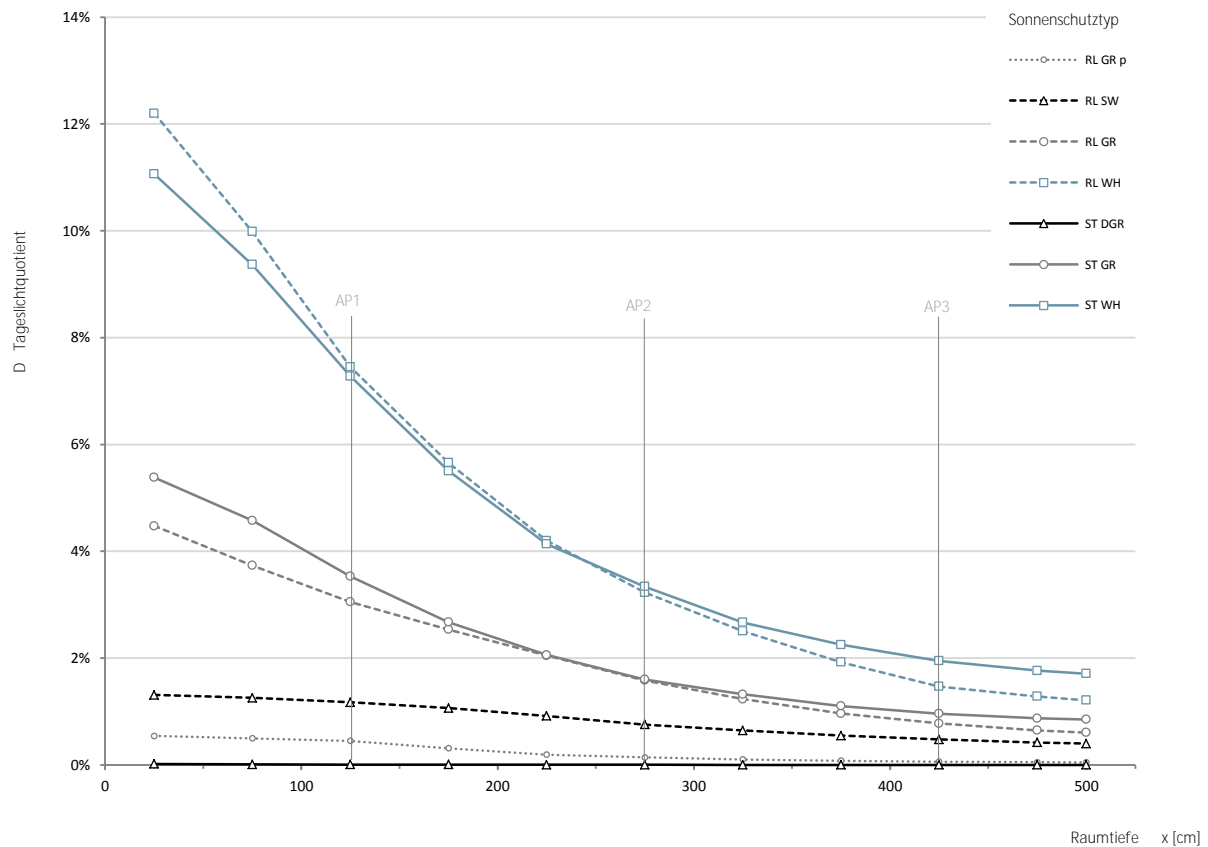
Tabelle

Messwerte in tabellarischer Darstellung

Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Rafflamellen- / Stoffstoren
Situation: Raum 70/50/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Messdatum: 20. Oktober 2014

Vergleich der Sonnenschutzsysteme

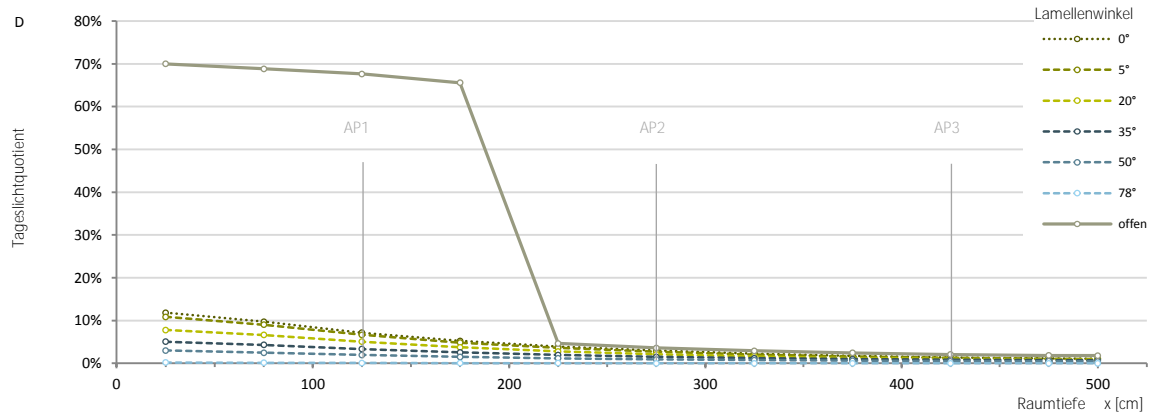


Typ	1	2	3	4	5	6	7										
Messnummer	ST WH	ST GR	ST DGR	RL WH	RL GR	RL SW	RL GR p										
Index	Position	0	3	3	7	7	7	1									
1	25	68.24%	11.06%	5.38%	0.02%	12.20%	4.47%	1.31%	0.54%								
2	75	67.38%	9.37%	4.58%	0.01%	9.98%	3.73%	1.26%	0.50%								
3	125	65.00%	7.28%	3.53%	0.01%	7.45%	3.05%	1.17%	0.45%								
4	175	62.61%	5.51%	2.67%	0.00%	5.66%	2.54%	1.06%	0.31%								
5	225	60.39%	4.14%	2.06%	0.00%	4.20%	2.05%	0.92%	0.19%								
6	275	57.41%	3.34%	1.60%	0.00%	3.23%	1.58%	0.75%	0.14%								
7	325	8.02%	2.67%	1.32%	0.00%	2.50%	1.23%	0.64%	0.10%								
8	375	6.72%	2.25%	1.10%	0.00%	1.92%	0.96%	0.55%	0.08%								
9	425	5.57%	1.95%	0.96%	0.00%	1.47%	0.78%	0.48%	0.06%								
10	475	4.91%	1.77%	0.87%	0.00%	1.28%	0.65%	0.42%	0.05%								
11	500	4.74%	1.71%	0.85%	0.00%	1.21%	0.61%	0.40%	0.05%								

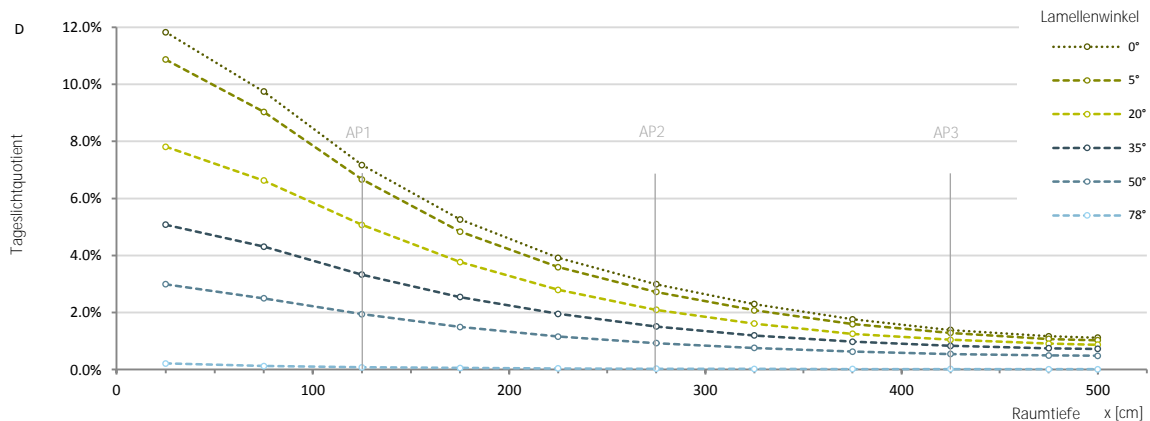
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Rafflamelle
Situation: Raum 70/50/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Messdatum: 29.09.2014

M-135 V-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-135 V-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt



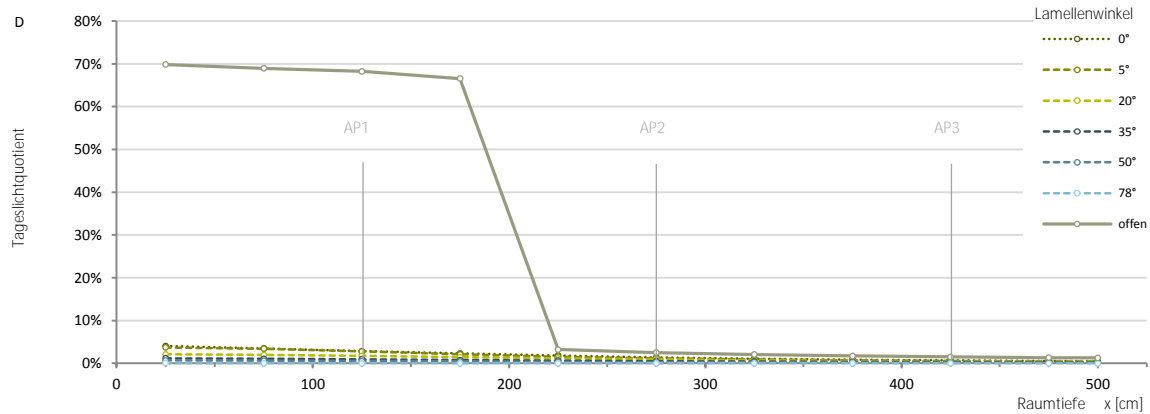
M-135 V-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt

		M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	
Position Storen		0	80	80	80	80	80	80	78	0	80	80	80	80	80	80	80	
Lamellenwinkel		offen	78	78	50	35	20	5	0	offen	78	78	50	35	20	5	0	
Ausrichtung Fassade		0°	0	0	0	0	0	0	0	0°	0	0	0	0	0	0	0	
Sonnenhöhe		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
Sonnenazimut		10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
Himmel		s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	
Raumzustand		GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	
Messreihe 1										Messreihe 2								
Index	Position	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	
1	0	70.01%	0.21%	0.21%	2.99%	5.08%	7.81%	10.87%	11.83%	70.01%	0.21%	0.21%	2.99%	5.08%	7.81%	10.87%	11.83%	
2	75	68.84%	0.13%	0.13%	2.50%	4.31%	6.63%	9.03%	9.75%	68.84%	0.13%	0.13%	2.50%	4.31%	6.63%	9.03%	9.75%	
3	125	67.64%	0.08%	0.08%	1.95%	3.33%	5.07%	6.67%	7.17%	67.64%	0.08%	0.08%	1.95%	3.33%	5.07%	6.67%	7.17%	
4	175	65.59%	0.06%	0.06%	1.49%	2.54%	3.77%	4.84%	5.26%	65.59%	0.06%	0.06%	1.49%	2.54%	3.77%	4.84%	5.26%	
5	225	4.67%	0.04%	0.04%	1.16%	1.95%	2.80%	3.59%	3.92%	4.67%	0.04%	0.04%	1.16%	1.95%	2.80%	3.59%	3.92%	
6	275	3.60%	0.03%	0.03%	0.93%	1.51%	2.10%	2.72%	2.99%	3.60%	0.03%	0.03%	0.93%	1.51%	2.10%	2.72%	2.99%	
7	325	2.92%	0.03%	0.03%	0.76%	1.20%	1.61%	2.08%	2.30%	2.92%	0.03%	0.03%	0.76%	1.20%	1.61%	2.08%	2.30%	
8	375	2.44%	0.02%	0.02%	0.63%	0.98%	1.25%	1.60%	1.76%	2.44%	0.02%	0.02%	0.63%	0.98%	1.25%	1.60%	1.76%	
9	425	2.09%	0.02%	0.02%	0.55%	0.83%	1.05%	1.29%	1.39%	2.09%	0.02%	0.02%	0.55%	0.83%	1.05%	1.29%	1.39%	
10	475	1.86%	0.02%	0.02%	0.50%	0.75%	0.91%	1.08%	1.17%	1.86%	0.02%	0.02%	0.50%	0.75%	0.91%	1.08%	1.17%	
11	500	1.80%	0.02%	0.02%	0.48%	0.73%	0.87%	1.03%	1.12%	1.80%	0.02%	0.02%	0.48%	0.73%	0.87%	1.03%	1.12%	
Lamellenwinkel		β	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°

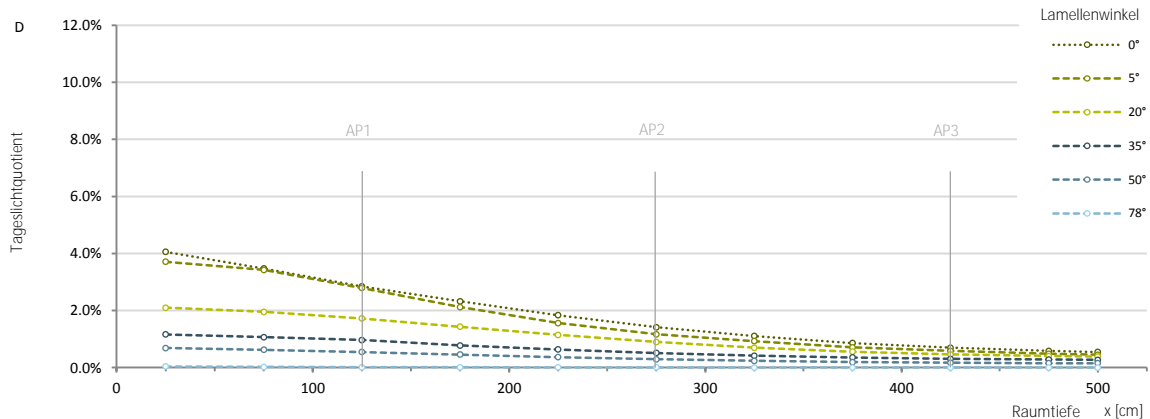
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Rafflamelle
Situation: Raum 70/50/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Messdatum: 03.07.2014

M-15 V-SI / GR / West / / s-clear / direkt



M-15 V-SI / GR / West / / s-clear / direkt



M-15 V-SI / GR / West / / s-clear / direkt

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
Position Storen	0	80	80	80	80	80	80	78	0	80	80	80	80	80	80	80
Lamellenwinkel	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
Ausrichtung Fassade	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°	76°
Sonnenhöhe	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Sonnenazimut	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR

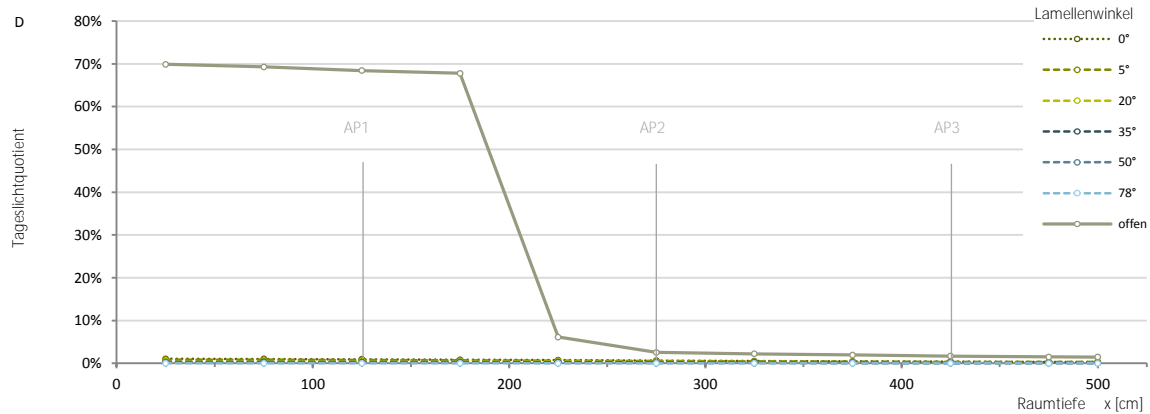
Messreihe 1									Messreihe 2								
Index	Position	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
1	0	69.85%	0.04%	0.04%	0.69%	1.16%	2.10%	3.71%	4.06%	69.85%	0.04%	0.04%	0.69%	1.16%	2.10%	3.71%	4.06%
2	75	68.96%	0.02%	0.02%	0.63%	1.07%	1.95%	3.42%	3.48%	68.96%	0.02%	0.02%	0.63%	1.07%	1.95%	3.42%	3.48%
3	125	68.25%	0.02%	0.02%	0.55%	0.97%	1.72%	2.79%	2.85%	68.25%	0.02%	0.02%	0.55%	0.97%	1.72%	2.79%	2.85%
4	175	66.56%	0.01%	0.01%	0.46%	0.78%	1.44%	2.13%	2.32%	66.56%	0.01%	0.01%	0.46%	0.78%	1.44%	2.13%	2.32%
5	225	3.25%	0.01%	0.01%	0.36%	0.63%	1.15%	1.56%	1.84%	3.25%	0.01%	0.01%	0.36%	0.63%	1.15%	1.56%	1.84%
6	275	2.52%	0.01%	0.01%	0.30%	0.51%	0.90%	1.17%	1.42%	2.52%	0.01%	0.01%	0.30%	0.51%	0.90%	1.17%	1.42%
7	325	2.07%	0.00%	0.00%	0.24%	0.42%	0.70%	0.93%	1.11%	2.07%	0.00%	0.00%	0.24%	0.42%	0.70%	0.93%	1.11%
8	375	1.75%	0.00%	0.00%	0.19%	0.36%	0.56%	0.71%	0.86%	1.75%	0.00%	0.00%	0.19%	0.36%	0.56%	0.71%	0.86%
9	425	1.51%	0.00%	0.00%	0.17%	0.31%	0.46%	0.58%	0.70%	1.51%	0.00%	0.00%	0.17%	0.31%	0.46%	0.58%	0.70%
10	475	1.34%	0.00%	0.00%	0.15%	0.28%	0.41%	0.49%	0.58%	1.34%	0.00%	0.00%	0.15%	0.28%	0.41%	0.49%	0.58%
11	500	1.30%	0.00%	0.00%	0.15%	0.27%	0.39%	0.45%	0.55%	1.30%	0.00%	0.00%	0.15%	0.27%	0.39%	0.45%	0.55%

Lamellenwinkel	β	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
----------------	---	-------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

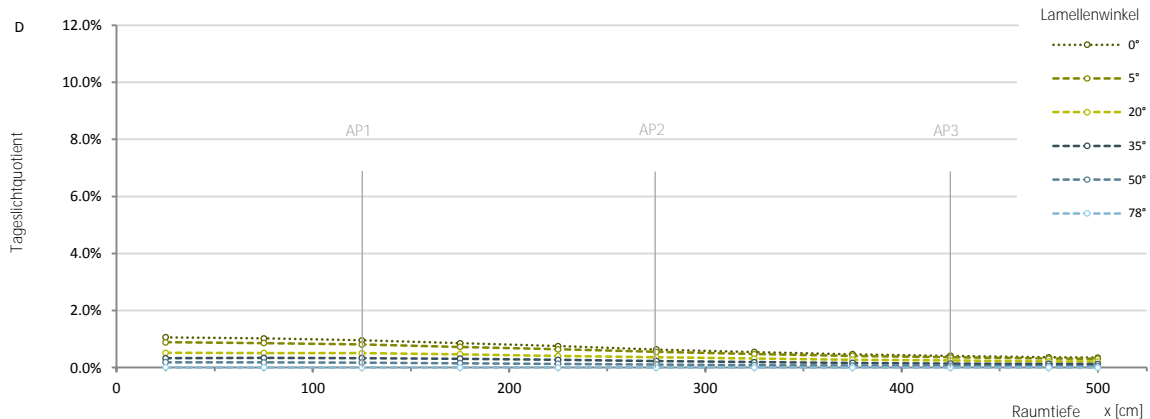
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Rafflamelle
Situation: Raum 70/50/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Messdatum: 18.07.2014

M-78 V-SW / SW / Ost / / s-clear / direkt



M-78 V-SW / SW / Ost / / s-clear / direkt



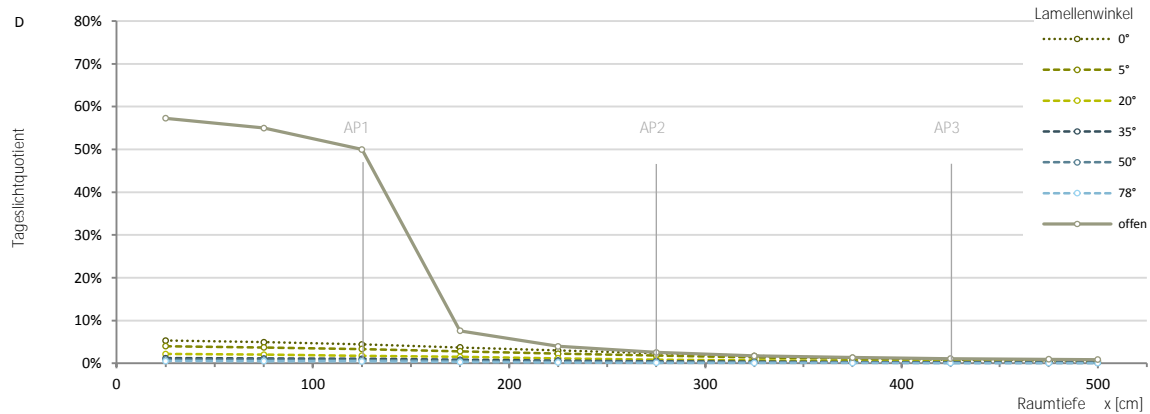
M-78 V-SW / SW / Ost / / s-clear / direkt

		W43°-SW / SW / SW / S-clear / clear																
		M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	
Position Storen		0	80	80	80	80	80	80	78	0	80	80	80	80	80	80	80	
Lamellenwinkel		offen	78	78	50	35	20	5	0	offen	78	78	50	35	20	5	0	
Ausrichtung Fassade		-74°	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74°	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	
Sonnenhöhe		43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	
Sonnenazimut		-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	-74	
Himmel		s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	
Raumzustand		SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	SW	
Messreihe 1										Messreihe 2								
Index	Position	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	
1	0	69.88%	0.01%	0.01%	0.19%	0.33%	0.52%	0.89%	1.07%	69.88%	0.01%	0.01%	0.19%	0.33%	0.52%	0.89%	1.07%	
2	75	69.30%	0.01%	0.01%	0.18%	0.34%	0.51%	0.86%	1.03%	69.30%	0.01%	0.01%	0.18%	0.34%	0.51%	0.86%	1.03%	
3	125	68.41%	0.00%	0.00%	0.17%	0.33%	0.51%	0.81%	0.96%	68.41%	0.00%	0.00%	0.17%	0.33%	0.51%	0.81%	0.96%	
4	175	67.81%	0.00%	0.00%	0.16%	0.31%	0.47%	0.73%	0.86%	67.81%	0.00%	0.00%	0.16%	0.31%	0.47%	0.73%	0.86%	
5	225	6.17%	0.00%	0.00%	0.13%	0.27%	0.41%	0.64%	0.75%	6.17%	0.00%	0.00%	0.13%	0.27%	0.41%	0.64%	0.75%	
6	275	2.56%	0.00%	0.00%	0.11%	0.23%	0.36%	0.55%	0.64%	2.56%	0.00%	0.00%	0.11%	0.23%	0.36%	0.55%	0.64%	
7	325	2.21%	0.00%	0.00%	0.09%	0.20%	0.32%	0.47%	0.54%	2.21%	0.00%	0.00%	0.09%	0.20%	0.32%	0.47%	0.54%	
8	375	1.94%	0.00%	0.00%	0.07%	0.17%	0.28%	0.41%	0.47%	1.94%	0.00%	0.00%	0.07%	0.17%	0.28%	0.41%	0.47%	
9	425	1.70%	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.25%	0.36%	0.41%	1.70%	0.00%	0.00%	0.06%	0.14%	0.25%	0.36%	0.41%	
10	475	1.53%	0.00%	0.00%	0.05%	0.13%	0.22%	0.32%	0.36%	1.53%	0.00%	0.00%	0.05%	0.13%	0.22%	0.32%	0.36%	
11	500	1.48%	0.00%	0.00%	0.05%	0.13%	0.21%	0.31%	0.35%	1.48%	0.00%	0.00%	0.05%	0.13%	0.21%	0.31%	0.35%	
Lamellenwinkel		β	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°

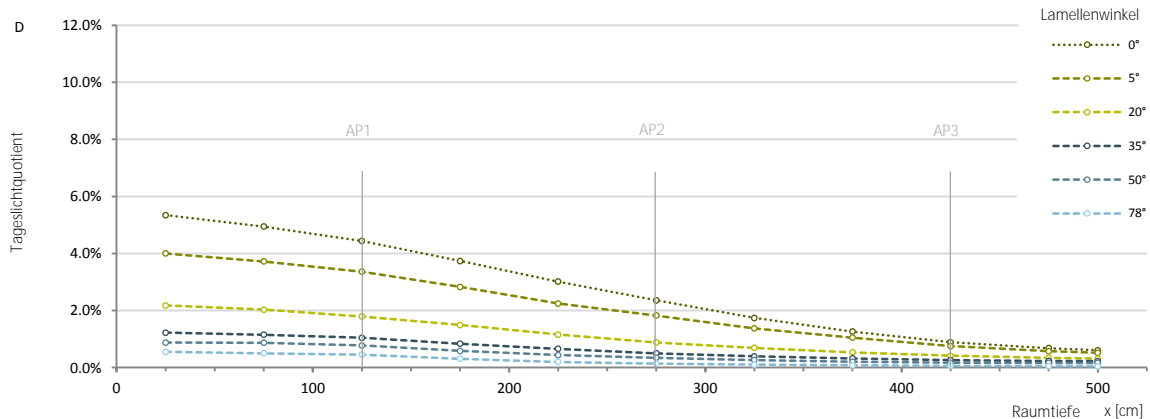
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Rafflamelle
Situation: Raum 70/50/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Messdatum: 08.08.2014

M-114 V-SI-P / GR / West / / s-clear / direkt



M-114 V-SI-P / GR / West / / s-clear / direkt



M-114 V-SI-P / GR / West / / s-clear / direkt

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇
Position Storen	0	80	80	80	80	80	80	80	0	80	80	80	80	80	80	80
Lamellenwinkel	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
Ausrichtung Fassade	56°	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	56°	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5
Sonnenhöhe	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
Sonnenazimut	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5	55.5
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR	GR

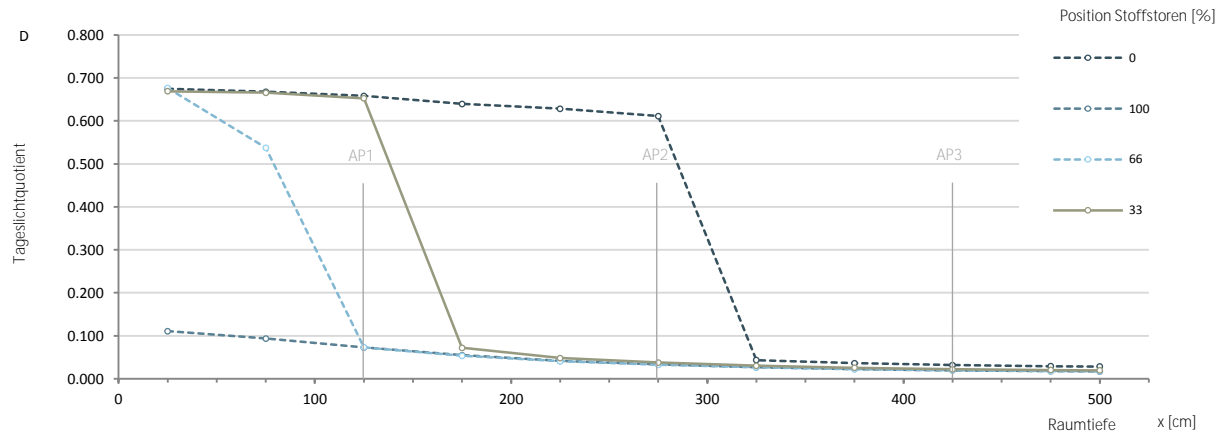
Messreihe 1									Messreihe 2								
Index	Position	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
1	0	57.28%	0.55%	0.55%	0.88%	1.22%	2.18%	4.00%	5.34%	57.28%	0.55%	0.55%	0.88%	1.22%	2.18%	4.00%	5.34%
2	75	55.00%	0.50%	0.50%	0.87%	1.15%	2.03%	3.72%	4.94%	55.00%	0.50%	0.50%	0.87%	1.15%	2.03%	3.72%	4.94%
3	125	49.97%	0.46%	0.46%	0.77%	1.05%	1.79%	3.36%	4.44%	49.97%	0.46%	0.46%	0.77%	1.05%	1.79%	3.36%	4.44%
4	175	7.62%	0.31%	0.31%	0.59%	0.84%	1.50%	2.83%	3.74%	7.62%	0.31%	0.31%	0.59%	0.84%	1.50%	2.83%	3.74%
5	225	3.99%	0.20%	0.20%	0.44%	0.66%	1.16%	2.25%	3.02%	3.99%	0.20%	0.20%	0.44%	0.66%	1.16%	2.25%	3.02%
6	275	2.55%	0.14%	0.14%	0.34%	0.50%	0.88%	1.83%	2.36%	2.55%	0.14%	0.14%	0.34%	0.50%	0.88%	1.83%	2.36%
7	325	1.75%	0.10%	0.10%	0.26%	0.40%	0.69%	1.38%	1.74%	1.75%	0.10%	0.10%	0.26%	0.40%	0.69%	1.38%	1.74%
8	375	1.37%	0.08%	0.08%	0.21%	0.32%	0.54%	1.05%	1.26%	1.37%	0.08%	0.08%	0.21%	0.32%	0.54%	1.05%	1.26%
9	425	1.10%	0.06%	0.06%	0.17%	0.26%	0.42%	0.75%	0.89%	1.10%	0.06%	0.06%	0.17%	0.26%	0.42%	0.75%	0.89%
10	475	0.95%	0.05%	0.05%	0.17%	0.23%	0.34%	0.58%	0.68%	0.95%	0.05%	0.05%	0.17%	0.23%	0.34%	0.58%	0.68%
11	500	0.88%	0.05%	0.05%	0.17%	0.23%	0.32%	0.52%	0.61%	0.88%	0.05%	0.05%	0.17%	0.23%	0.32%	0.52%	0.61%

Lamellenwinkel	β	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°	offen	78°	78°	50°	35°	20°	5°	0°
----------------	---	-------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----	-------	-----	-----	-----	-----	-----	----	----

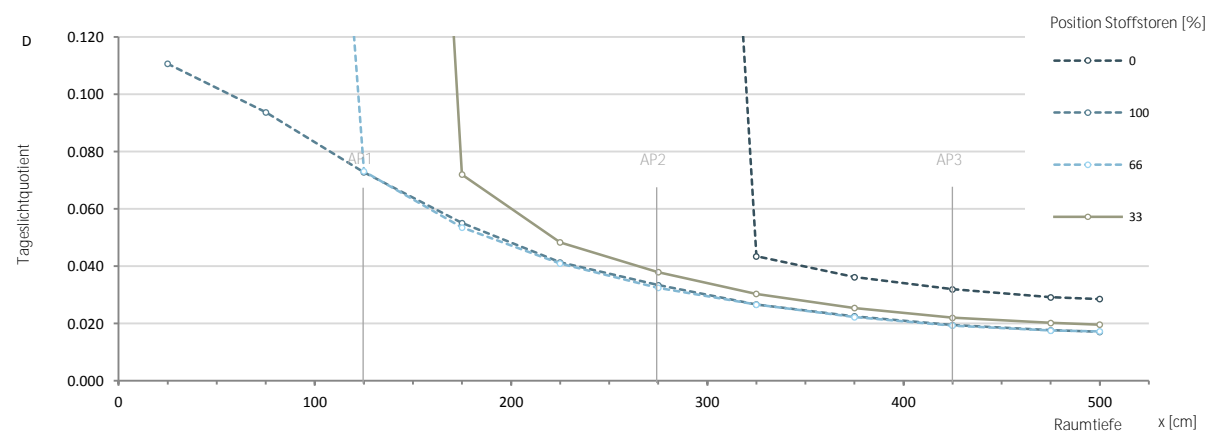
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Stoffstoren
Situation: Raum 70/80/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Datum: 20. Oktober 2014

M-137 S-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-137 S-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-137 S-WS / GR / Süd / / s-clear / direkt

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄		M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Position Storen	0	33	66	100	0		0	33	66	100	0
Lamellenwinkel	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ausrichtung Fassade	-11	-11	-11	-11	-11		-11	-11	-11	-11	-11
Sonnenhöhe	32	32	32	32	32		32	32	32	32	32
Sonnenazimut	-11	-11	-11	-11	-11		-11	-11	-11	-11	-11
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear		s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR		GR	GR	GR	GR	GR

Messreihe 1

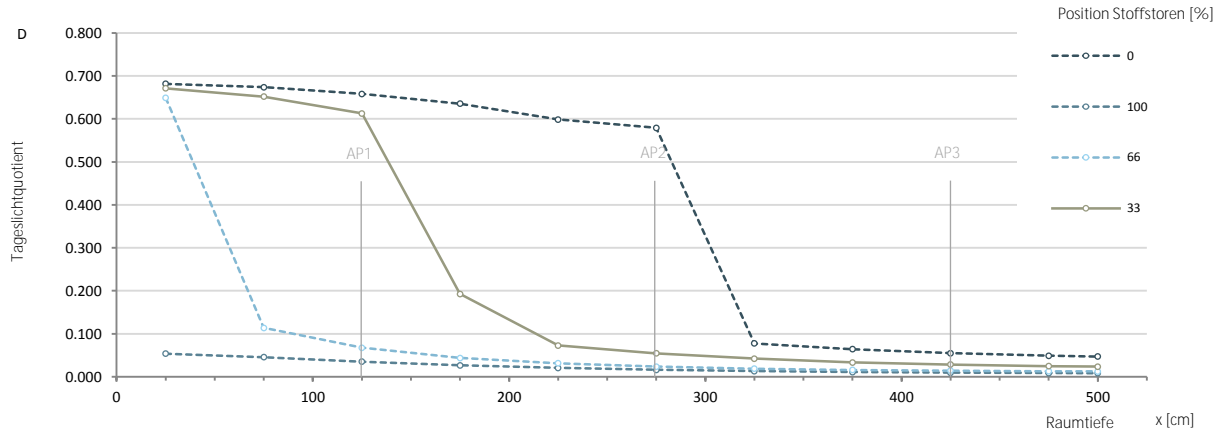
Position	0	33	66	100	0		0	33	66	100	0
Raum Position	0	1	2	3	4		0	1	2	3	4
1	25	0.6643	0.6688	0.6764	0.1106	0.6748	0.6643	0.6688	0.6764	0.1106	0.6748
2	75	0.6633	0.6656	0.5376	0.0937	0.6676	0.6633	0.6656	0.5376	0.0937	0.6676
3	125	0.6549	0.6526	0.0731	0.0728	0.6580	0.6549	0.6526	0.0731	0.0728	0.6580
4	175	0.6463	0.0720	0.0535	0.0551	0.6396	0.6463	0.0720	0.0535	0.0551	0.6396
5	225	0.6385	0.0483	0.0409	0.0414	0.6283	0.6385	0.0483	0.0409	0.0414	0.6283
6	275	0.6176	0.0379	0.0324	0.0334	0.6110	0.6176	0.0379	0.0324	0.0334	0.6110
7	325	0.0441	0.0304	0.0266	0.0267	0.0434	0.0441	0.0304	0.0266	0.0267	0.0434
8	375	0.0379	0.0254	0.0223	0.0225	0.0362	0.0379	0.0254	0.0223	0.0225	0.0362
9	425	0.0324	0.0220	0.0193	0.0195	0.0320	0.0324	0.0220	0.0193	0.0195	0.0320
10	475	0.0294	0.0202	0.0176	0.0177	0.0292	0.0294	0.0202	0.0176	0.0177	0.0292
11	500	0.0289	0.0196	0.0173	0.0171	0.0286	0.0289	0.0196	0.0173	0.0171	0.0286

Storen Position [%]	h	0	33	66	100	0	0	33	66	100	0
---------------------	---	---	----	----	-----	---	---	----	----	-----	---

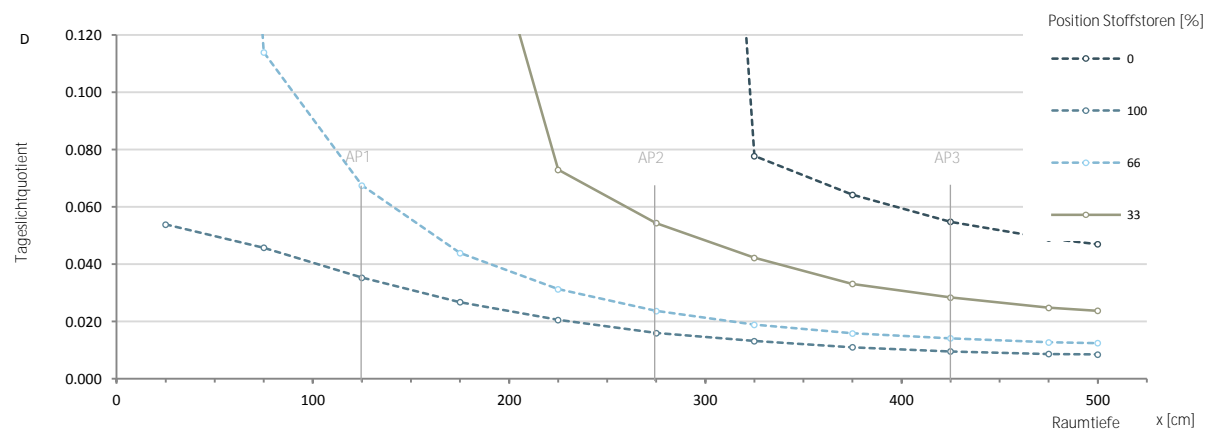
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Stoffstoren
Situation: Raum 70/80/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Datum: 19. Februar 2015

M-145 S-GR / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-145 S-GR / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-145 S-GR / GR / Süd / / s-clear / direkt

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Position Storen	0	33	66	100	0
Lamellenwinkel	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ausrichtung Fassade	8	8	8	8	8
Sonnenhöhe	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
Sonnenazimut	8	8	8	8	8
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR

M-145 S-GR / GR / Süd / / s-clear / direkt

	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Position Storen	0	33	66	100	0
Lamellenwinkel	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ausrichtung Fassade	8	8	8	8	8
Sonnenhöhe	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
Sonnenazimut	8	8	8	8	8
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR

Messreihe 1

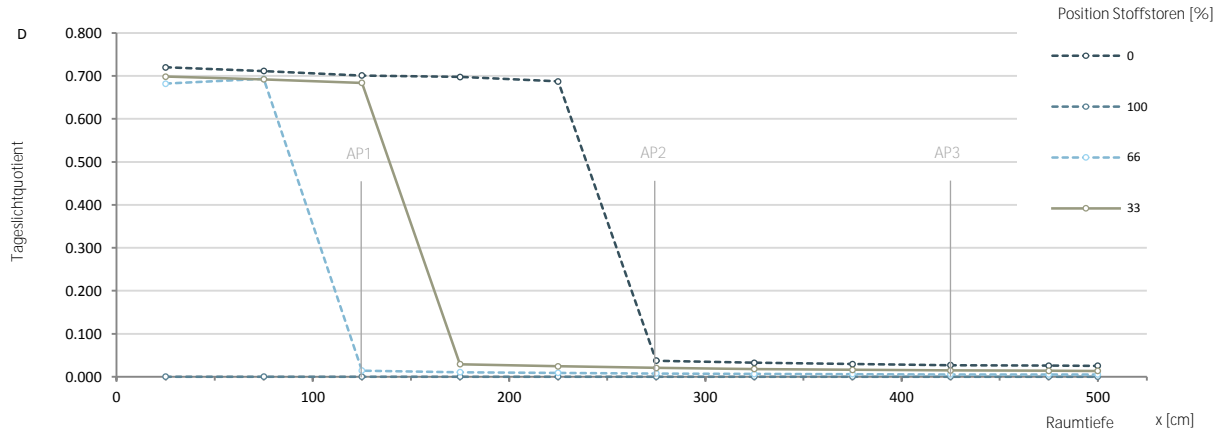
Position	0	33	66	100	0
Raum Position	0	1	2	3	4
1	0.6824	0.6710	0.6486	0.0538	0.6816
2	0.6738	0.6519	0.1139	0.0458	0.6737
3	0.6500	0.6128	0.0675	0.0353	0.6579
4	0.6261	0.1927	0.0439	0.0267	0.6353
5	0.6039	0.0730	0.0313	0.0206	0.5984
6	0.5741	0.0544	0.0237	0.0160	0.5792
7	0.0802	0.0422	0.0189	0.0132	0.0777
8	0.0672	0.0331	0.0159	0.0110	0.0642
9	0.0557	0.0284	0.0141	0.0096	0.0548
10	0.0491	0.0248	0.0128	0.0087	0.0490
11	0.0474	0.0238	0.0125	0.0085	0.0470

Storen Position [%]	h	0	33	66	100	0
---------------------	---	---	----	----	-----	---

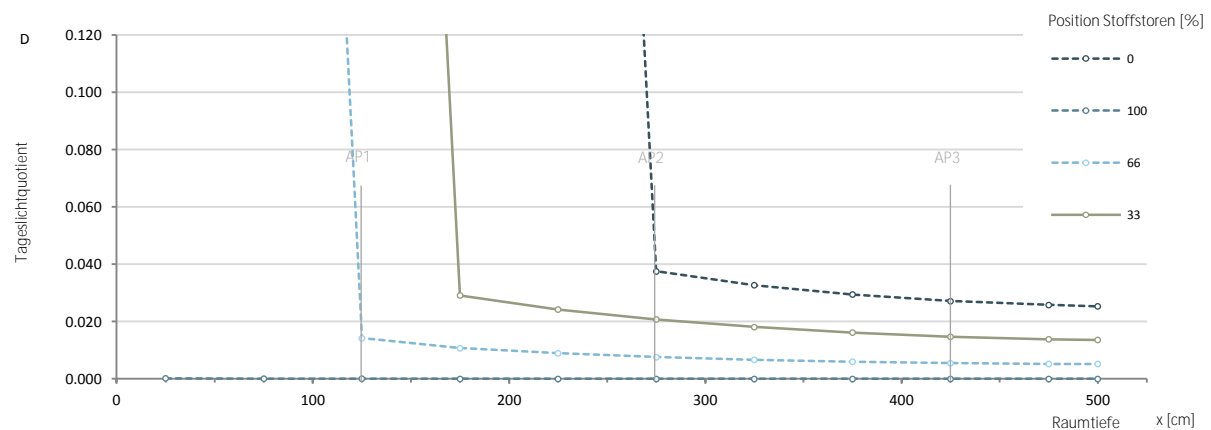
Tageslichtquotient in Abhängigkeit zur Raumtiefe

Storentyp: Stoffstoren
Situation: Raum 70/80/20, klarer Himmel, direkte Ausrichtung
Datum: 26. Februar 2015

M-162 S-DGR / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-162 S-DGR / GR / Süd / / s-clear / direkt



M-162 S-DGR / GR / Süd / / s-clear / direkt

	M ₀	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄
Position Storen	0	33	66	100	0
Lamellenwinkel	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ausrichtung Fassade	-4	-4	-4	-4	-4
Sonnenhöhe	34	34	34	34	34
Sonnenazimut	-4	-4	-4	-4	-4
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR

M-162 S-DGR / GR / Süd / / s-clear / direkt

	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Position Storen	0	33	66	100	0
Lamellenwinkel	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Ausrichtung Fassade	-4	-4	-4	-4	-4
Sonnenhöhe	34	34	34	34	34
Sonnenazimut	-4	-4	-4	-4	-4
Himmel	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear	s-clear
Raumzustand	GR	GR	GR	GR	GR

Messreihe 1

Position		0	33	66	100	0	0	33	66	100	0
Raum Position		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
1	25	0.7111	0.6983	0.6820	0.0002	0.7198	0.7111	0.6983	0.6820	0.0002	0.7198
2	75	0.7149	0.6921	0.6932	0.0001	0.7113	0.7149	0.6921	0.6932	0.0001	0.7113
3	125	0.7017	0.6838	0.0142	0.0001	0.7010	0.7017	0.6838	0.0142	0.0001	0.7010
4	175	0.6948	0.0291	0.0107	0.0000	0.6975	0.6948	0.0291	0.0107	0.0000	0.6975
5	225	0.6888	0.0242	0.0090	0.0000	0.6872	0.6888	0.0242	0.0090	0.0000	0.6872
6	275	0.0380	0.0207	0.0076	0.0000	0.0376	0.0380	0.0207	0.0076	0.0000	0.0376
7	325	0.0326	0.0181	0.0067	0.0000	0.0327	0.0326	0.0181	0.0067	0.0000	0.0327
8	375	0.0294	0.0162	0.0060	0.0000	0.0295	0.0294	0.0162	0.0060	0.0000	0.0295
9	425	0.0272	0.0147	0.0055	0.0000	0.0272	0.0272	0.0147	0.0055	0.0000	0.0272
10	475	0.0257	0.0138	0.0052	0.0000	0.0258	0.0257	0.0138	0.0052	0.0000	0.0258
11	500	0.0254	0.0136	0.0052	0.0000	0.0253	0.0254	0.0136	0.0052	0.0000	0.0253

Storen Position [%]	h	0	33	66	100	0
---------------------	---	---	----	----	-----	---

A13. Weitere Bilder



A FIG. 53 Lichtmesscontainer Aussenansicht



A FIG. 54 Lichtmesscontainer Aussenansicht mit Rafflamellensonnenschutz



A FIG. 55 Raumbeleuchtungsstärkescanner mit Messkopf



A FIG. 56 Lichtmesscontainer Innenansicht