

sia 380/4 Tageslichtnutzung

Einfluss der Tageslichtnutzung auf den Elektrizitätsbedarf von Beleuchtungsanlagen

25.März 2004

Der vorliegende Bericht wurde im Auftrag der SIA Kommission 380/4 *Elektrische Energie im Hochbau* erstellt und diente als Grundlage für die Überarbeitung dieser Norm. Für den Inhalt des Berichts sind die Autoren verantwortlich. Allfällige Abweichungen der Norm vom Berichtsinhalt sind von der Kommission SIA 380/4 bewusst vorgenommen worden.

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangslage	6
2. Zielsetzung	6
3. Vorgehen	7
4. Grundlagen	8
4.1. Relux	8
4.2. Beschreibung der Modelle für die Simulationen	9
4.2.1. Referenzraum für Fassadenfenster	9
4.2.2. Referenzraum für Oblichter	9
4.2.3. Referenzsituation der Simulationsparameter	10
4.2.4. Darstellung der Resultate	10
5. Rechnungsmodell und Parameterstudie	12
5.1. Gesamtdarstellung des Rechnungsmodells	12
5.2. Standardnutzungen	12
5.3. Rechnungsablauf	13
5.4. Berechnung des Tageslichtquotienten D	14
5.4.1. Funktion in Abhängigkeit der Fenstergrösse	14
5.4.2. Korrektur für Abweichung der Transmission	16
5.4.3. Korrekturfaktor für Fensterleibung	16
5.4.4. Korrekturfaktor für Fenstersturz	18
5.4.5. Korrekturfaktor für Sonnenschutzeinrichtungen	20
5.4.6. Korrekturfaktor für Beschattung durch Balkone	23
5.4.7. Korrekturen für 2 Var. von Umgebungs-Bebauungen	26
5.4.8. Berücksichtigung von Oblichtern	29
5.4.9. Korrekturfaktor für Innenraumreflexionen	33
5.4.10. Korrekturfaktor für Raumbreite, zwei Varianten	35



5.4.11.	Korrekturfaktor für Raumhöhe	39
5.4.12.	Variation der Arbeitshöhe	42
5.4.13.	Verlauf von D in der Nähe der Seitenwände	43
5.5.	Vom Tageslichtquotienten zur Volllaststundenzahl	45
5.5.1.	Auswahl der Diffusstrahlungsdaten	45
5.5.2.	Tageslicht-Steuerung ein-aus	46
5.5.3.	Lichtsteuerung von Hand	47
5.5.4.	Analytische Funktionen für die Kurven $f_D=f(D)$	48
5.5.5.	Lichtsteuerung durch Präsenzmelder	49
6.	Überprüfung des Modells	50
6.1.	Vergleich der Volllaststunden-Berechnung in Abhängigkeit vom Tageslichtquotienten	50
6.2.	Überprüfung der Berechnungen vom Tageslichtquotienten	51
6.2.1.	Variation Transmission und Fenstergrösse	51
6.2.2.	Kombination von Balkontiefe und Fenstersturz	52
7.	Literaturverzeichnis	53



Impressum

Auftraggeber

sia
Selnastrasse 16
Postfach
8039 Zürich

vertreten durch
Martin Lenzlinger
Turnerstrasse 10
8006 Zürich

Auftragnehmer

AMSTEIN + WALTHERT AG
Andreasstrasse 11
CH-8050 Zürich

Tel. 01 305 91 11
Fax 01 305 92 14

Verfasser

Andres Weber
Karine Sinimalé

Verteiler

Martin Lenzlinger
Stefan Gasser, eteam GmbH

Versionen

Version 1.0

Freigegeben

Datum

Visum

Webe/21247/R009



Zusammenfassung

Diese Studie ist als Grundlage gedacht für den Bereich Tageslichtnutzung der sia Norm 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“.

**Grundlage für sia 380/4
Teil Tageslichtnutzung**

Die wichtigsten Parameter für den Einfluss von Tageslichtnutzung im Raum, die der Planer beeinflussen kann, sind der Reihe nach anhand von Simulationsrechnungen mit RELUX abgehandelt:

**Simulation der
einflussreichsten
Parameter mit RELUX**

Die meisten Betrachtungen gehen von einem Referenzraum aus, in dem der Verlauf des Tageslichtquotienten in Funktion des Fensterabstandes dargestellt wird. Für das entwickelte Berechnungsmodell werden so für die einzelnen Parameter spezifische Abhängigkeiten ermittelt.

**Referenzraum
als Basis**

Das vorgeschlagene Berechnungsverfahren sieht zwei Schritte vor. Zuerst wird der Tageslichtquotient berechnet für eine bestimmte Situation. Die wichtigste Abhängigkeit ist jene von der Fenstergrösse. Sie kann als lineare Funktion dargestellt werden mit einem Maximalwert, der bei gut 54% Glasanteil einer Fassade liegt. Das heisst konkret, dass bei richtigem Layout für maximale Tageslichtnutzung 54% Glasanteil an der Fassade ausreichen. Für die anderen Einflussgrössen wie Fensterleibung, Sturzhöhe, Transmissionsgrad des Glases, div. Beschattungsphänomene etc. werden Korrekturfaktoren angegeben.

**1. Rechnungsschritt:
Tageslichtquotient in
Funktion verschiede-
ner Parameter**

**Maximaler Tageslicht-
nutzen bei 54% Glas-
anteil an der Fassade**

Die Abhängigkeiten von Oblichtern passen nicht in das entwickelte Berechnungsschema, welches prinzipiell vom Fassadenfenster ausgeht und die Wirkung in Funktion des Fensterabstandes darstellt. Für Oblichter wird der mittlere Tageslichtquotient im Raum in Funktion des Fensteranteils und des Raumindexes berechnet.

**Spezialfall Berech-
nung von D für
Oblichter**

Im zweiten Rechnungsschritt wird mit dem für einen bestimmten Fensterabstand berechneten Tageslichtquotienten für eine unter drei Typen auszuwählende Lichtsteuerung und für bestimmte nutzungstypische Betriebszeiten der nutzbare Tageslichtanteil bestimmt. Als Resultat der Berechnungen wird die Vollaststundenzahl für eine bestimmte Raumzone ermittelt.

**2. Rechnungsschritt
Berechnung der Vollast-
stunden für verschie-
dene Lichtsteuerungen**

Die Überprüfung des vorgeschlagenen Rechenmodells hat gezeigt, dass die Vollaststundenberechnung um einen weiteren Lichtsteuerungsmodus erweitert werden müsste, um die Übereinstimmung mit RELUX-Simulationen genügend verifizieren zu können. Die Kombination (Überlagerung) verschiedener Parameter zeigt vor allem in der fensternahen Zone gute Resultate.

**Überprüfung des Rechen-
modells mit RELUX
ungenügend**

Für das komplexe Thema der Präsenzsteuerung wird, in Ergänzung zu dieser Studie, ein Modell gesucht.

**Grenzen der
Betrachtungen**

1. Ausgangslage

Im Rahmen der Überarbeitung der SIA Empfehlung 380/4 „Elektrische Energie im Hochbau“ soll der Berechnungsgang für den Energieverbrauch der Beleuchtung überarbeitet werden.

**Überarbeitung
sIA 380/4**

Für die einfache Berechnung von Kunstlichtanlagen wird eine Wirkungsgradmethode abgebildet, die sowohl verschiedene Beleuchtungscharakteristika wie auch verschiedene Raumsituationen berücksichtigt. Diese Methode bezieht sich auf Grundlagen der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz.

**Wirkungsgradmethode
für Kunstlicht**

Das Modell für Tageslichtnutzung basiert im bestehenden Werkzeug (380/4 für Beleuchtung) ausschliesslich auf Messungen an konkreten Objekten. Als Parameter für die Ermittlung von Volllaststunden werden Fensteranteil, Einsatz der Tageslichtregulierung und Präsenzsteuerungen berücksichtigt. Das bestehende EXCEL-Werkzeug bewährt sich anwendungstechnisch durch seine Einfachheit. Die Möglichkeiten, mit dem bestehenden Berechnungsverfahren Optimierungen an Objekten durchzuführen, sind unzulänglich. Der Handlungsspielraum der Planer wird zuwenig abgebildet. Eine Vertiefung des Themas Tageslichtnutzung ist nun im Zusammenhang mit der Festlegung vom 380/4 als Norm wünschenswert.

**Vertiefung des bestehenden Modells für
Tageslichtnutzung**

2. Zielsetzung

Ausgehend vom bestehenden Rechnungsgang für Tageslichtnutzung (aus sIA 380/4 für Beleuchtung) wird anhand von Simulationsrechnungen mit RELUX ein differenziertes Modell entwickelt. Besondere Beachtung gilt der Benutzertauglichkeit. Als Anwender sind Architekten und Planer im Visier. Das Rechnungsmodell soll also jene Parameter berücksichtigen, die von diesen Anwendern beeinflusst werden.

Das neue Modell soll einerseits in die revidierte Norm SIA 380/4 aufgenommen werden. Andererseits soll es künftig in die bestehende Arbeitshilfe SIA 380/4 Beleuchtung integriert werden können.

3. Vorgehen

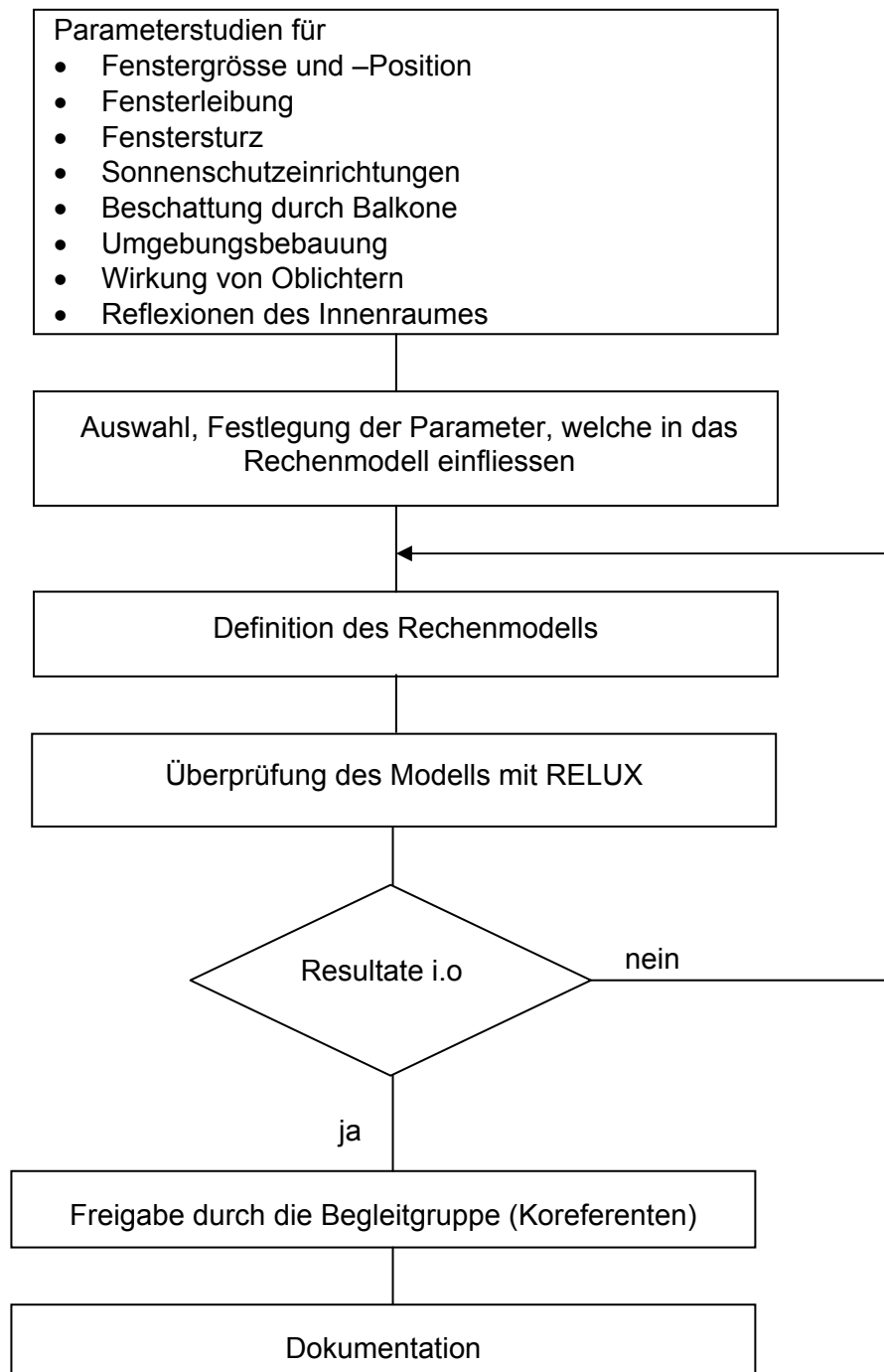


Abbildung 3.1 Ablaufschema

4. Grundlagen

4.1. Relux

Die Schweizer Firma Relux Informatik AG, gegründet durch drei Leuchtenhersteller 1998, hat vor ein paar Jahren ein Produkt auf den Markt gebracht, um dreidimensionale Lichtsimulationen zu erleichtern. Die aktuelle Version dieses Lichtplanungstools heisst **RELUX PROFESSIONAL 3.0**. [6]. Das Programm realisiert Berechnungen und Bilder mit Kunst- sowie Tageslicht, basierend auf Normen wie CEN EN12464 (sowohl europäisch wie auch in der Schweiz bereits in Kraft). Es enthält eine ausführliche Leuchtdatenbank von Produkten verschiedener Hersteller. Dabei sind nicht nur Innenräume mögliche Studienthemen sondern auch Aussen-, Sport- und Strassenanlagen. Relux Professional benutzt in der Tageslichtberechnung lediglich den diffusen Anteil des Aussenlichtes gemäss Definition der CIE (Radiosity Verfahren). Diese Berechnungsart wird normalerweise für die Berechnung der Tageslichtnutzung verwendet. Sie ist unabhängig von der Himmelsrichtung.

Das Zusatzmodul **VISION 1.0** (PlugIn) [5] wird mittels energetischen Ray Tracing für licht- und materialtechnisch korrekte Bilder angewendet. Das „Radiance“ vom LBL (Lawrence Berkeley Laboratory) bildet den Rechenkernel. In der vorliegenden Arbeit wird **VISION 1.0** in den Parameterstudien für die Storen benutzt, um den Einfluss vom direkten Anteil des Lichtes exakt nachzuweisen.



Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2 Beispiele von RELUX PROFESSIONAL VISION

4.2. Beschreibung der Modelle für die Simulationen

4.2.1. Referenzraum für Fassadenfenster

Für die Parameterstudien mit Fassadenfenstern wurde ein typischer Raum mit 3m Breite und 6m Tiefe definiert. (s. Abbildung 4.3.)

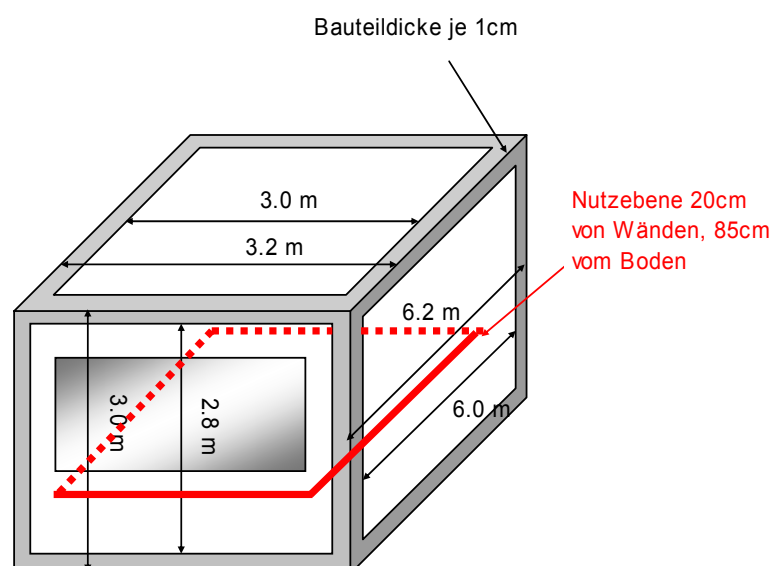
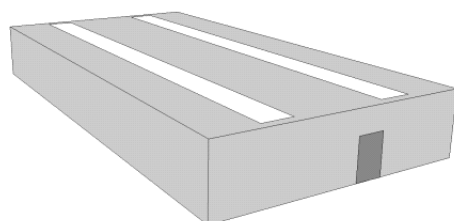


Abbildung 4.3 Ansicht des Modellraumes für Fassadenfenster

4.2.2. Referenzraum für Oblichter



Der Einfluss von Oblichtern spielt in der Praxis vor allem bei grossen Räumen eine Rolle, z.Bsp. in Werkhallen oder in Dachgeschossen von grossen Gebäuden. Deshalb wurde ein grösserer Raum für diese Situation definiert.

Der Raum hat eine Länge von 24m und eine Breite von 12m, die Höhe wird für die Auswertungen variiert. Die Oblichter sind als zwei durchgehende Fensterbänder definiert.

Abbildung 4.4 Ansicht des Modellraumes für Oblichter

4.2.3. Referenzsituation der Simulationsparameter

Die verschiedenen Parameterstudien werden mit einer Referenzsituation verglichen. Diese wurde ausgewählt anhand der Resultate der Parameterstudie von Fenstergrößen (siehe Auswertung). Als Referenzfenster gilt jenes mit einem Glas-zu-Fassaden-Anteil von 54%, welches ohne Sturz oben angeschlagen ist. Die Wandstärke ist mit 1cm so dünn angenommen, damit sich an der Fassade keine Fensterleibung ergibt, wodurch der Lichteinfall dem Optimum entspricht. Die Leibungsstärke wird als Parameter separat untersucht (Kap. 5.4.3). Die Reflexionsgrade der inneren Oberflächen haben folgende Basiswerte: $\rho_{\text{Decke}}=80\%$, $\rho_{\text{Wand}}=60\%$ und $\rho_{\text{Boden}}=20\%$. Diese Werte wurden willkürlich angenommen. Sie entsprechen etwa der Definition „hell“ in der sia 380/4 (siehe Parameterstudie „Innenraum“, Kap. 5.4.9). Der Transmissionsgrad des Glases ist $\tau=70\%$. Die Fenster sind zusätzlich noch mit zwei Reduktionsfaktoren von je 0.9 für Versprossung und Verschmutzung belegt. Die Tageslichtquotienten werden auf der Arbeitsebene mit einer Höhe von 85cm ausgewertet.

Bezüglich Raumabmessungen bilden die Untersuchungen mit Variation von Raumbreite, von Raumhöhe und von der Höhe des Sehbereichs eine Ausnahme.

Ausnahmen von der Referenzsituation

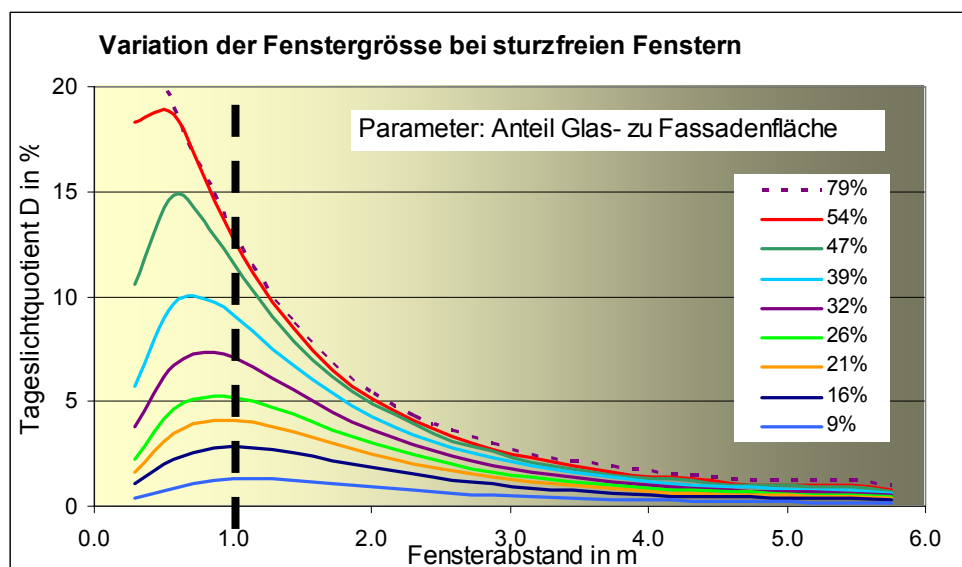
4.2.4. Darstellung der Resultate

Die Darstellung der Resultate wurde standardisiert, um einfache Vergleichsmöglichkeiten zu gewährleisten. Die Resultate sind in Grafiken dargestellt. Es wird der Verlauf des Tageslichtquotienten D (Daylightfactor in % der Aussenbeleuchtungsstärke) zum Fensterabstand für die verschiedenen Parameter gezeichnet. Die Werteskala entspricht dem Verlauf entlang der Mittelachse des Raummodells. Für die Umsetzung in das Rechenmodell wird jeweils eine der Parametersituation angepasste Darstellung gewählt.

standardisierte grafische Darstellung

Abbildung 4.5 zeigt eine Darstellung mit dem vollen Auswertungsumfang von 0.3 bis 5.8m Fensterabstand. Dieser Bereich wird auf den Bereich 1.0m bis 5.8m eingeschränkt. Einerseits kann deshalb der Ordinatenmassstab besser aufgelöst werden, andererseits ist der genaue Verlauf in der Zone nahe der Fensterebene praktisch unbedeutend oder gar störend. Der Tageslichtquotient ist ohnehin sehr hoch und die Nutzflächen haben normalerweise einen gewissen Abstand vom Fenster.

Wahl des Darstellungsbereichs



Auswahl der Werteskala

Abbildung 4.5 Wahl des Darstellungsbereichs

Womöglich und sinnvoll werden zu den Bildern Tabellen mit numerischen Angaben über den Verlauf dargestellt.

Fensterabstand [m]	Proportion Fenster-/Fassadenfläche		
	54%	30%	15%
1.4	8.5	5.6	2.5
2.9	2.7	2.0	1.1
4.6	1.1	0.79	0.45

zur Abbildung
korrespondierende
Wertetabelle

Abbildung 4.6 Auswahl numerischer Werte zum Bild 4.5.

5. Rechnungsmodell und Parameterstudie

5.1. Gesamtdarstellung des Rechnungsmodells

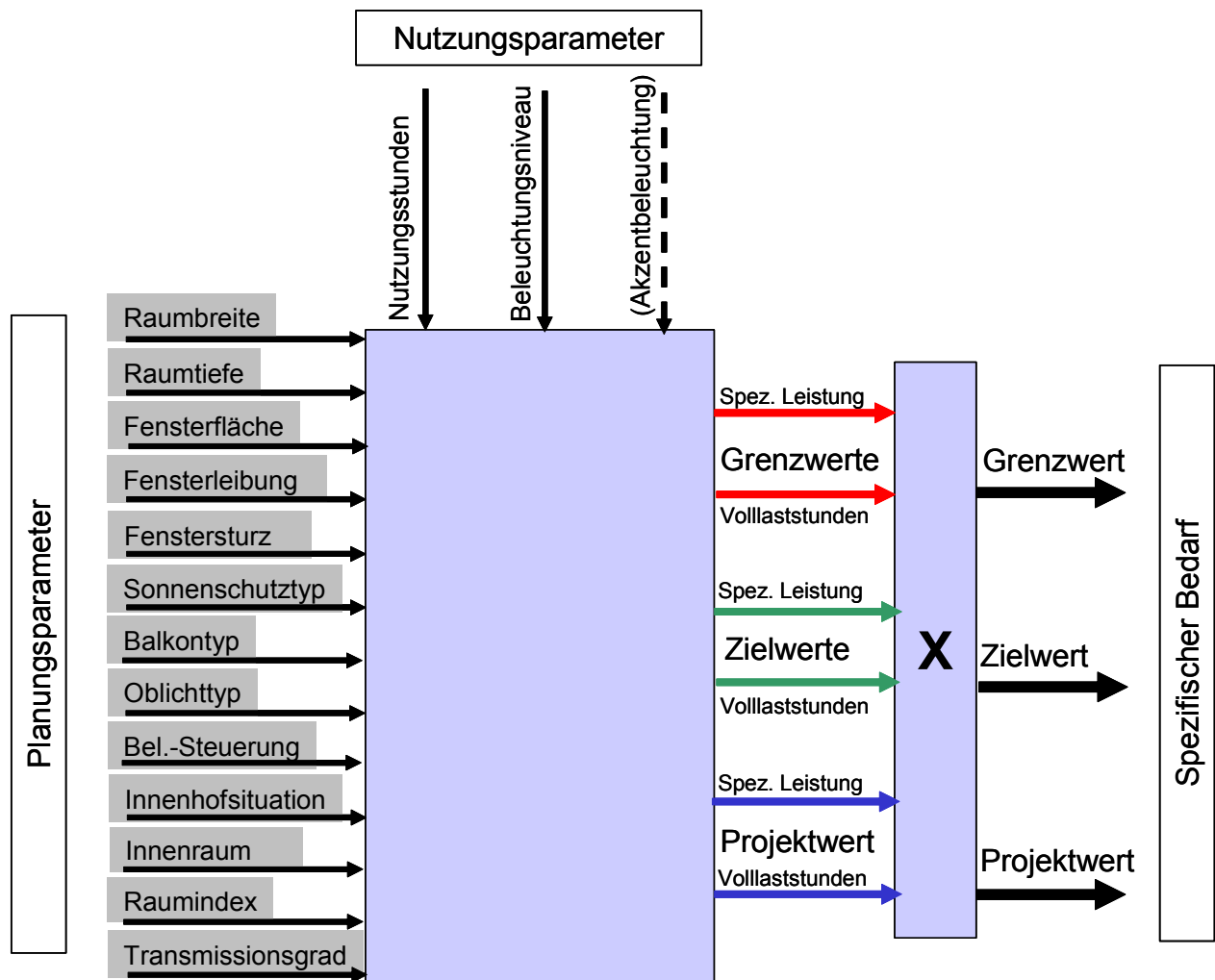


Abbildung 5.1 Gesamtdarstellung des Rechenmodells für 380/4 Beleuchtung

5.2. Standardnutzungen

Für die Berechnung des Tageslichtanteils werden die Nutzungsstunden und die Anforderungsniveaux für Beleuchtungsstärken benötigt, die festgelegt werden müssen. Die Nutzungsstunden werden der SWKI 95-3 [7] entnommen und die Beleuchtungsstärken E_m sind in der Tabelle 5.1 aus der SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau [2] definiert.

Für die tageslichtrelevanten Nutzungen ergeben sich daraus die in Abbildung 5.2. dargestellten Anforderungen.

Weil derzeit eine Harmonisierung der Standardnutzungen in Vorbereitung ist, werden zur Ermittlung der Volllaststunden nur zwei Fälle untersucht.

Bereich	Nutzungen	Nutzungs- stunden [h/a]	Start-Endzeit / d per w / w per y	Beleuchtungs- stärken [Lux]
1. Verkehrszonen	div.	div.	div.	100, 200, 300
2. Industrie	Werkstätten	2'250	8-17/5/50	300, 500
3. Büros	Schreibarbeit	2'750	7-18/5/50	500
	Ablagebereich	2'750	7-18/5/50	300
	CAD	2'750	7-18/5/50	500
	Sitzungszimmer	1'500	9-15/5/50	500
	Empfang	2'750	7-18/5/50	300
5. Öffentliche Bereiche	Eingangshallen	2'750	7-18/5/50	100
	Bibliotheken (Regale)	2'750	7-18/5/50	200
	Bibliotheken (Lesebereich)	2'750	7-18/5/50	500
6. Schulen	Schulzimmer Grundstufe	2'500	8-18/5/50	300
	Übungszimmer	2'250	8-17/5/50	500
	Hörsaal	2'500	8-18/5/50	500
	Computerräume	2'250	8-17/5/50	300
7. Restaurants	Kantine	1'750	9-16/5/50	200
	Speiseräume	3'000	9-15, 19-24/5/50	-----
	Konferenzräume	1'750	9-16/5/50	500
	Küche	3'000	9-16, 19-23/5/50	500
8. Spitäler	Bettzimmer (allgemein)	5'110	6-20/365d	100
	Bettzimmer (lesen)	5'110	6-20/365d	300
	Korridore (am Tag)	5'475	7-22/365d	200

Abbildung 5.2 Nutzungen und Anforderungen für Tageslichtberechnungen

5.3. Rechnungsablauf

Der Rechnungsgang führt in zwei Schritten zur Berechnung der Volllaststunden:

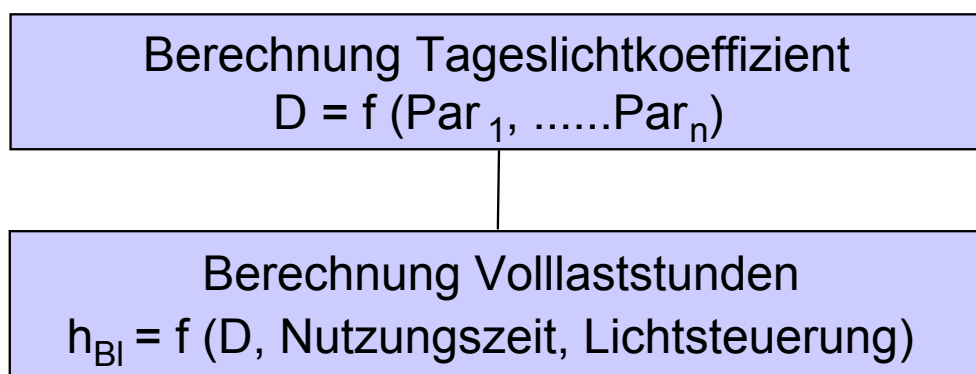


Abbildung 5.3 Schema Rechnungsablauf

5.4. Berechnung des Tageslichtquotienten D

Im folgenden Kapitel wird das Berechnungsverfahren für den Tageslichtquotienten als Funktion der verschiedenen evaluierten Parameter berechnet.

$$D = f(\text{Glasanteil}) \cdot k_{\text{red_Transmission}} \cdot k_{\text{Fensterleibung}} \cdot k_{\text{Fenstersturz}} \cdot k_{\text{sonnenschutz}} \cdot k_{\text{Balkon}} \cdot k_{\text{Umgebungsbebauung}} \cdot k_{\text{Innenraum}} \cdot k_{\text{Raumbreite}} \cdot k_{\text{Raumhöhe}} \quad \text{Gleichung 5.1.}$$

5.4.1. Funktion in Abhängigkeit der Fenstergrösse

Modell

Der Parameter ist hier die Glasfläche A_{Glas} , in Prozent der Fassadenfläche. Als Fassadenfläche definieren wir die die innenseitige Nettofläche $A_{\text{Fass}} = 2.8\text{m} \cdot 3\text{m} = 8.4\text{m}^2$.

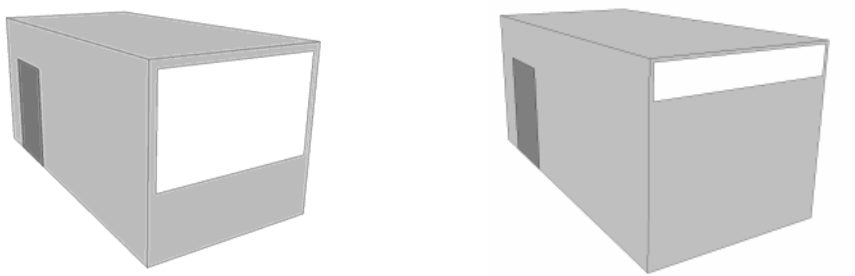


Abbildung 5.4 und Abbildung 5.5 Modellbilder mit $A_{\text{Glas}} = \{54\%; 16\%\} \cdot A_{\text{Fass}}$

Simulations-Resultate

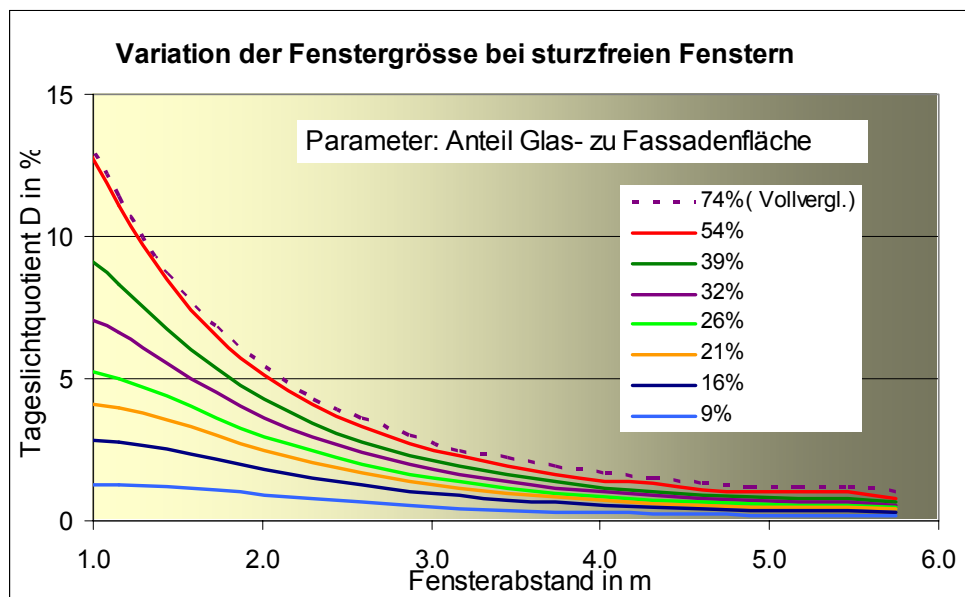


Abbildung 5.6 Darstellung von D in Funktion vom Fensterabstand

Das Bild 5.6 zeigt den typisch hyperbelförmigen Verlauf des Tageslichtquotienten in Funktion des Fensterabstands. Eindrücklich zeigt sich die Sättigung ab einem Glasanteil über 54% der Fassadenfläche.

Fensterabstand [m]	Proportion Fenster-/Fassadenfläche		
	54%	30%	15%
1.4	8.5	5.6	2.5
2.9	2.7	2.0	1.1
4.6	1.1	0.79	0.45

Abbildung 5.7 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.6.

Rechenmodell

Für die wichtigste Einflussgrösse Fensteranteil wird anhand der Parameterstudie eine Funktion $D=f(\text{Glasanteil})$ ermittelt. Diese Funktion kann für verschiedene Fensterabstände im Raum angegeben werden. Damit können D's für verschiedene Arbeitsbereiche (unterschiedlichen Nutzungen entsprechend) ermittelt werden. Abbildung 5.6 zeigt in Farbe die Kurven für verschiedene Fensterabstände. Die Sättigung der Kurven ist überall im Bereich ab 54% Glas-zu-Fassadenflächen-Anteil.

Für das Modell werden alle Funktionen als Geraden mit einer Grenze festgelegt. Diese sind in Abbildung 5.8 schwarz eingezeichnet und in Gleichung 5.2. numerisch dargestellt.

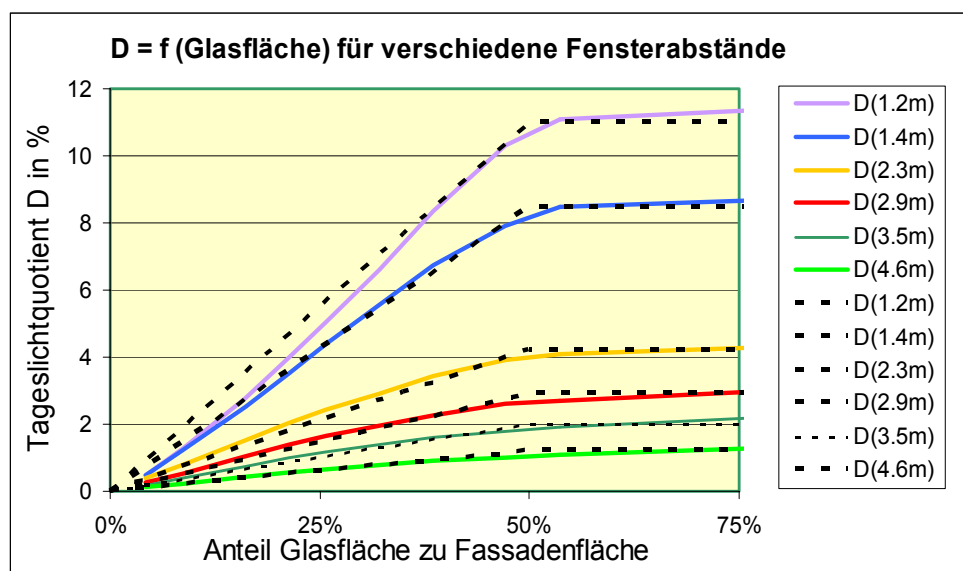


Abbildung 5.8 Verlauf von D in Funktion der „Fenstergrösse“ mit verschiedenen Abständen zum Fenster



$$D = \{a \cdot x; D_{\max}\} [\%]$$

$$x = A_{\text{Glas}} / A_{\text{Fassade}} [-]$$

$$D_{\max} = 0.5 \cdot a$$

Fensterab- stand [m]	a
1.2	22
1.4	17
2.3	8.4
2.9	5.8
3.5	4.0
4.6	2.4

Gleichung 5.2.

5.4.2. Korrektur für Abweichung der Transmission

Alle Simulationen basieren auf einem Transmissionsgrad der Fenster von $\tau = 70\%$. Der Korrekturfaktor für abweichende Transmission bezieht sich also auf diesen Wert:

$$k_{\text{red_Transmission}} = \tau_{\text{eff}} / 0.7$$

Gleichung 5.3.

5.4.3. Korrekturfaktor für Fensterleibung

Beim Referenzraum wurde bewusst ein Fenster quasi ohne Leibung angenommen, weil keine Standardsituation aus der Praxis ableitbar ist. Dass die Leibungsstärke den Lichteinfall aber wesentlich beeinflusst, zeigen die Resultate der Simulationen in den Abbildungen 5.9 und 5.10 .

Simulationsergebnisse

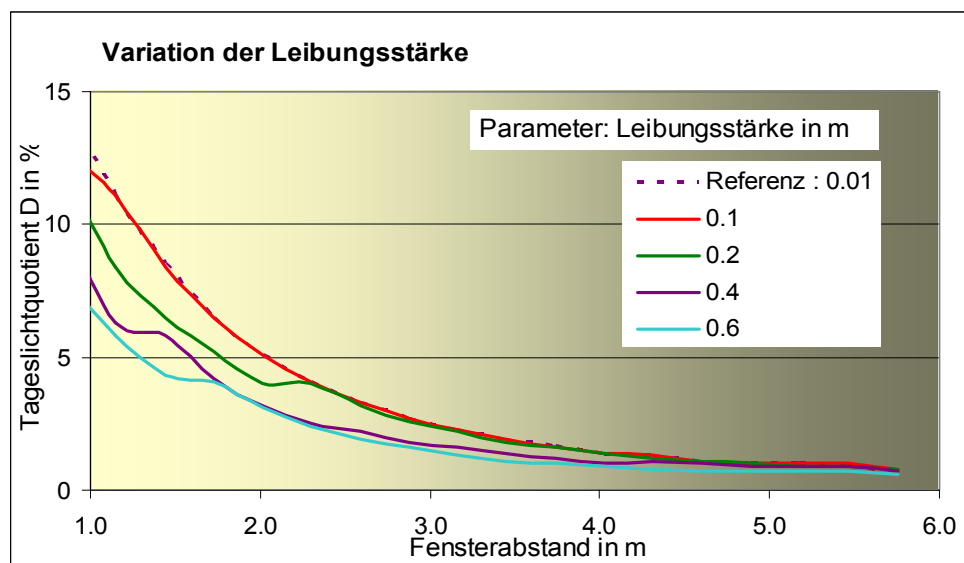


Abbildung 5.9 Verlauf von D bei verschiedener Leibungsstärke

Fensterabstand [m]	Leibungsstärke				
	0.01m	0.1m	0.2m	0.4m	0.6m
1.4	8.5	8.4	6.5	5.8	4.3
2.9	2.5	2.7	2.6	1.8	1.6
4.6	1.1	1.1	1.1	1.0	0.7

Abbildung 5.10 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.9

In den dargestellten Simulationsergebnissen spiegeln sich in Form von „Wellenlinien“ die Grenzen der Simulation, die einerseits durch die Komplexität der Geometrie, andererseits durch die Rechenleistungen gegeben sind (Auflösung der geometrischen Struktur).

Die Simulationen mit RELUX zeigen, dass die Oberflächenreflexion in der Leibung resultatsmäßig keine Berücksichtigung findet. Deshalb wird nur die Abhängigkeit der Leibungsstärke abgebildet. In der Praxis spielt dieser Reflexionsgrad, vor allem bei starken Leibungen, eine nicht vernachlässigbare Rolle.

Reflexionsgrad in der Leibung nicht berücksichtigt

Rechenmodell

In Abbildung 5.11 sieht man, dass sich die Veränderung bei unterschiedlichen Fensterabständen ungleich verhält. Eine lineare Annäherung ist sicher vertretbar, da sich die Verhältnisse bei starken Leibungen wieder angleichen.

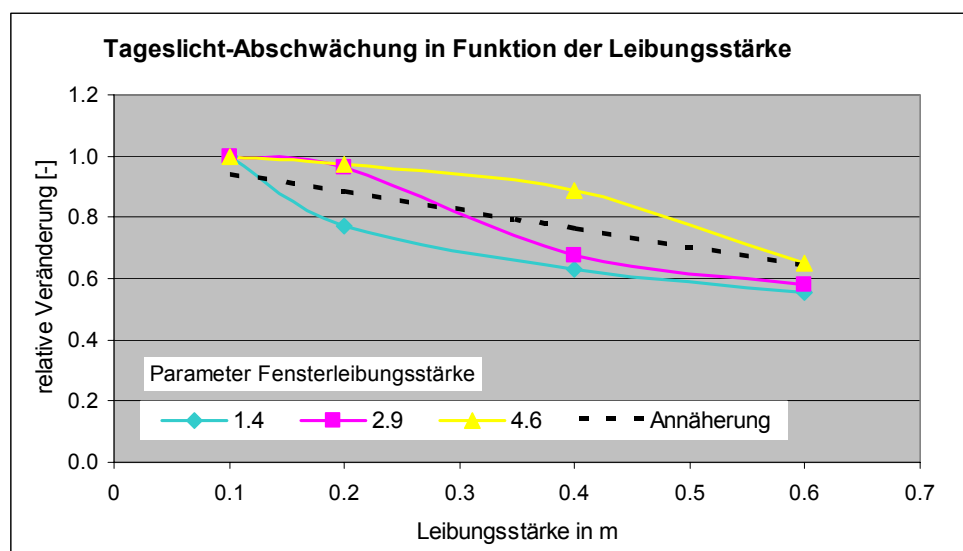


Abbildung 5.11 relative Änderung von D für variable Leibungsstärke

$$k_{\text{Fensterleibung}} = 1 - 0.6 \cdot \text{Fensterleibung in m}$$

Gleichung 5.4.

5.4.4. Korrekturfaktor für Fenstersturz

Modell

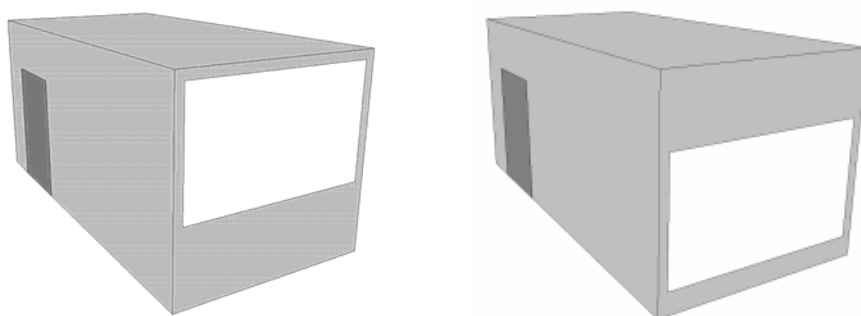


Abbildung 5.12 und Abbildung 5.13 Modellbilder mit Referenzfenster und Fenster mit Sturz

Simulationsresultate

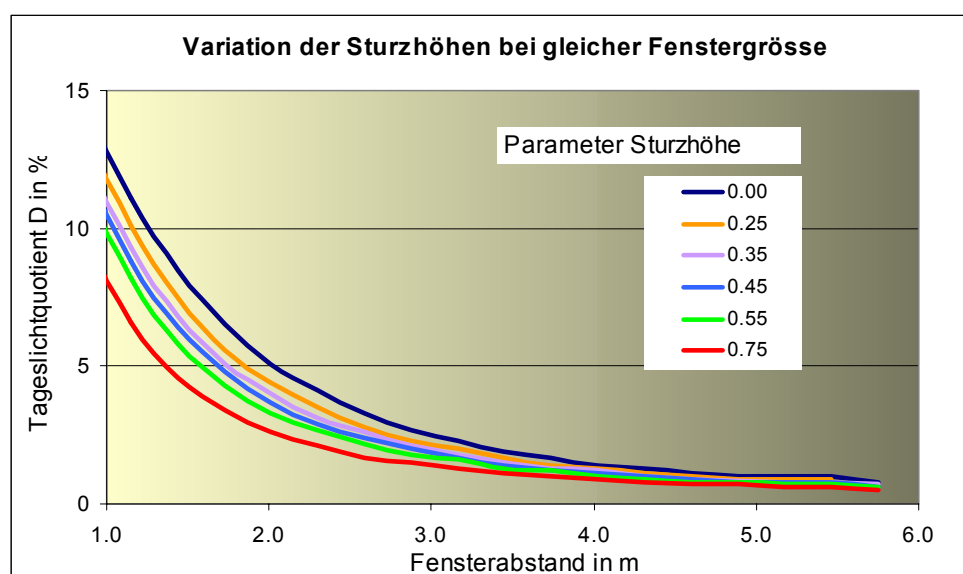


Abbildung 5.14 D in Funktion der Fensterabstand mit Variation vom Fenstersturz

Die dunkle Linie im Bild 5.14 entspricht der Referenz mit 54% Glas- zu Fassaden-Anteil, ohne Sturz.

Fensterabstand [m]	Fenstersturzhöhe in m		
	0	0.35	0.75
1.4	8.5	6.8	4.6
2.9	2.7	2.1	1.5
4.6	1.1	0.9	0.7

Abbildung 5.15 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.14.

Rechenmodell

Die Abbildung 5.16 zeigt die Simulationsergebnisse in einer anderen Form dargestellt. Für verschiedene Fensterabstände sind die relativen Abweichungen der gerechneten Sturzhöhen dargestellt.

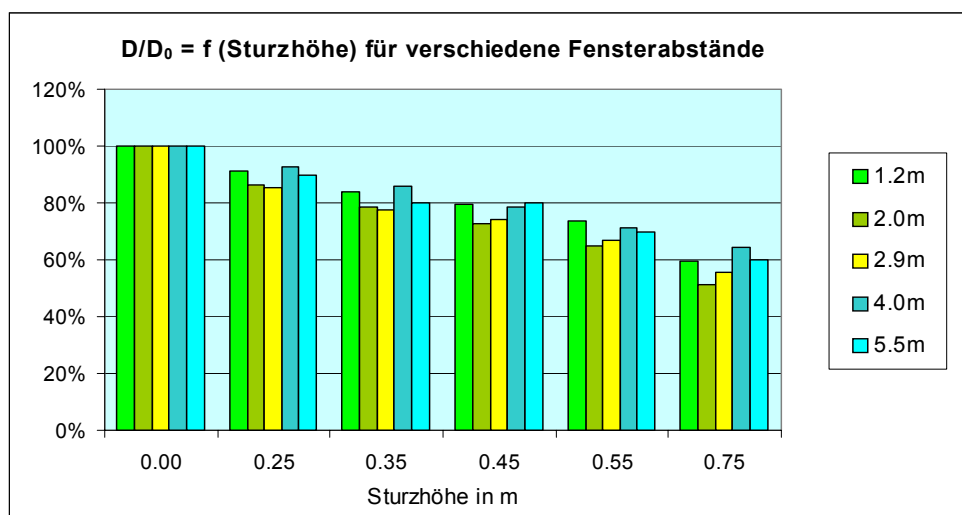


Abbildung 5.16 relative Veränderung von D in Funktion vom Fenstersturz für verschiedene Fensterabstände

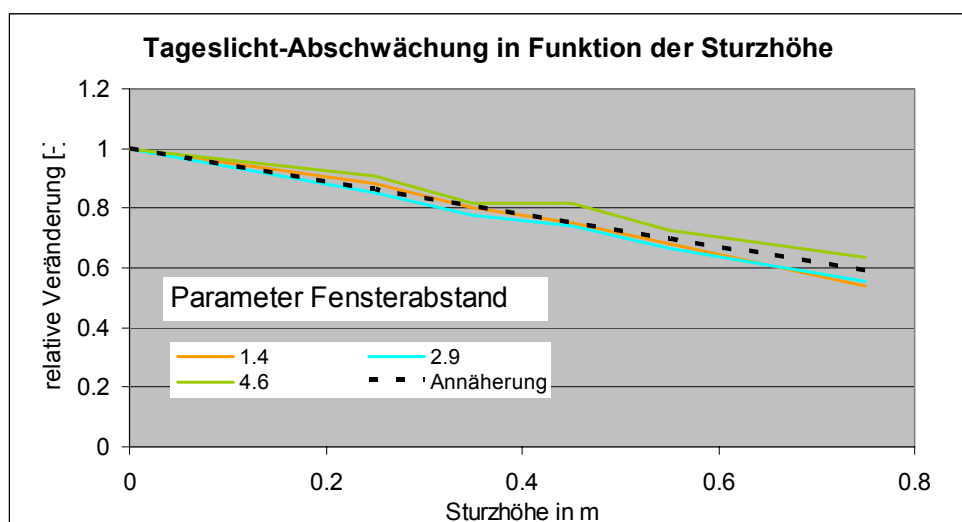


Abbildung 5.17 relative Änderung von D in Funktion vom Fenstersturz

Aus der Darstellung 5.17 kann $k_{\text{Fenstersturz}}$ als durchschnittliche Funktion der Sturzhöhe wie folgt bestimmt werden:

$$k_{\text{Fenstersturz}} = 1 - 0.55 \cdot \text{Sturzhöhe in m}$$

Gleichung 5.5.

5.4.5. Korrekturfaktor für Sonnenschutzeinrichtungen

Modell

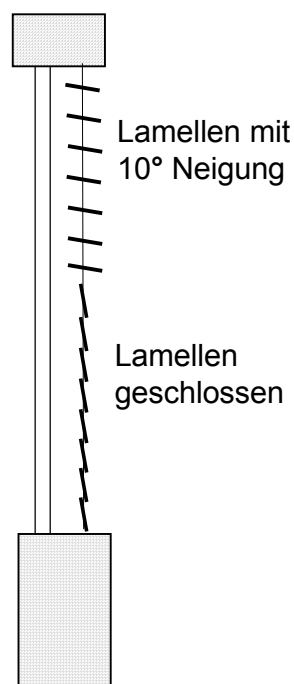


Abbildung 5.18 Schnittskizze mit einem tageslichtoptimierten Lamellenstoren

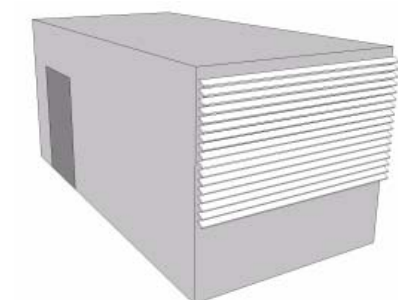


Abbildung 5.19 Modellbild des Fensters mit Lamellenstoren

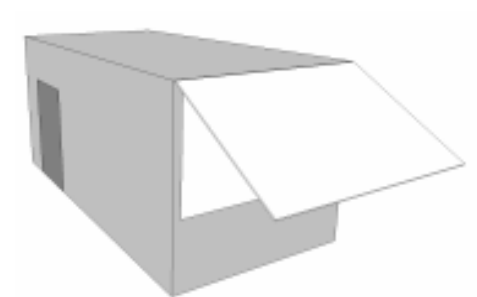


Abbildung 5.20 Modellbild mit schräggestelltem Stoffstoren

Bei den Sonnenschutzeinrichtungen kann man grundsätzlich zwischen teiltransparenten Systemen wie Lamellenstoren und vollflächig deckenden Systemen wie Stoffmarkisen unterscheiden. Bei den ersten kann die Tageslichtnutzung durch Stellung der Lamellen fein gesteuert werden. Die am besten optimierten Systeme unterscheiden verschiedene vertikale Zonen für die Lamellenstellung, damit bei gutem Sonnen(energie)schutz eine optimale Tageslichtnutzung ermöglicht wird. Bei vollflächig verdunkelnden Systemen kann das Tageslicht nicht so optimal genutzt werden, weil vor allem der wichtige obere Lichteinfall eingeschränkt wird.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen in erster Linie die Möglichkeiten von Lamellenstoren. Die wichtigen Parameter sind die Lamellenneigung und die Reflexionseigenschaften der Oberflächenbeschichtung.

Bei Stoffmarkisen wurde die Situation durch die Veränderung vom Anstellwinkel untersucht.

Simulationsergebnisse

Die Simulationen von Sonnenschutzsystemen wurden mit RELUX VISION durchgeführt. Damit wurde die Möglichkeit genutzt, mit direkter Strahlung zu rechnen. Mit diesen Simulationen können Lichtumlenkungseffekte dokumentiert werden. Als Simulationszeitpunkt wurde der 21. März (Tag- und Nacht-Gleiche) mit Sonnenstand im Zenith (ca. 13 Uhr 30) und klarem Himmel ausgewählt.

Klassifizierung von Sonnenschutz-einrichtungen

Wichtige Parameter von Lamellenstoren

Stoffmarkisen mit Anstellwinkel

Simulation mit direkter Strahlung am 21. März

Die Abbildung 5.21 zeigt die Abhängigkeit von der Lamellenneigung. Trotz äusserer Verschattung mit dem Lamellenstoren erreicht man dank der Lichtumlenkung an die Decke bei günstiger Lamellenstellung eine Situation, die jener ohne Storen gleicht. Der steile Abfall von D bei ca. 2.2m entspricht dem Schattenbild des Fenstersturzes bei direkter Sonnenstrahlung. Bei Lamellenstellung -20° zeigt sich zwischen 1.2 und 1.7m ein Lichtstreifen, wo die Sonne direkt einfällt.

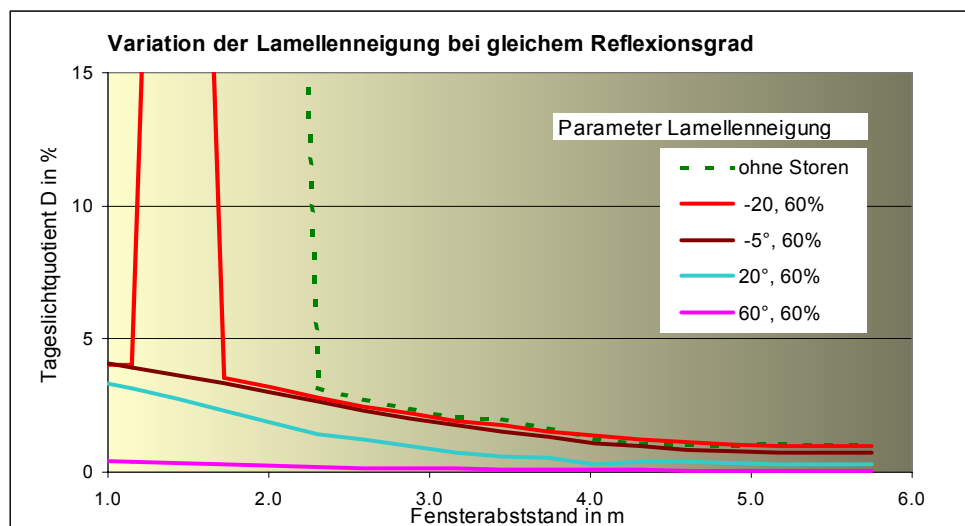


Abbildung 5.21 Variation der Neigung von Lamellenstoren mit 60% Reflexion

Im Bild 5.22 wird einerseits der wichtige Einfluss vom Reflexionsverhalten der Lamellen gezeigt. Eine ganz andere Charakteristik zeigen die Stoffmarkisen im Gegensatz zu optimalen Lamellenstoren: Hinter der Zone, die dem Schattenbild des Fenstersturzes entspricht, verhalten sie sich stark lichtdämpfend; auch schräg angestellte Markisen, die hier nicht abgebildet sind, verhalten sich so.

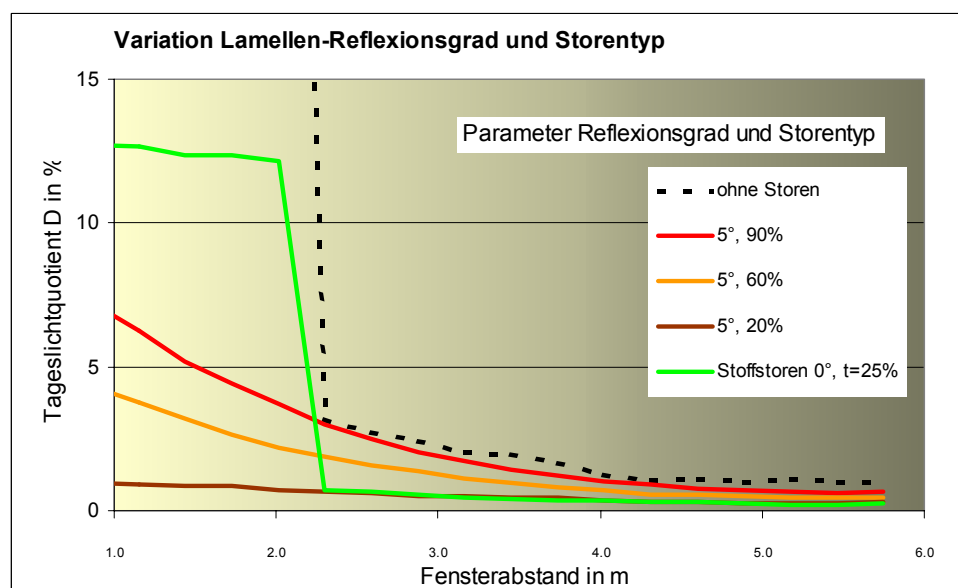


Abbildung 5.22 Variation des Reflexionsgrades von Lamellen und Vergleich mit einem Stoffstoren mit 25% Lichttransmission

Die Werte in Abbildung 5.23 sind nicht mit der Referenzsituation zu vergleichen, weil mit einem völlig anderen Strahlungsmodell gerechnet wurde (mit Direktstrahlung, s. weiter oben).

Fensterabstand [m]	Sonnenschutztyp			
	o. Sonnenschutz	5°, 90%	5°, 60%	Stoffmarkise
1.4	56	5.2	3.2	12
2.9	2.4	2.1	1.4	0.55
4.6	1.1	0.8	0.5	0.3

Abbildung 5.23 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.19.

Rechenmodell

Die Korrektur für Sonnenschutzeinrichtungen wird aufgrund der oben gemachten Klassifizierung vorgenommen. Mit dem Korrekturfaktor soll vor allem dokumentiert werden, dass die Auswahl von Storen nicht unwesentlich ist bezüglich Tageslichtnutzung. Eine präzise Quantifizierung ist zu komplex, weil sehr verschiedene technische Parameter und die Nutzereinflüsse grosse Unterschiede erzeugen können.

Wenn man davon ausgeht, dass Sonnenstoren ausschliesslich bei Sonnenschein benutzt werden, zeigt sich, dass im Arbeitsbereich beim Fenster (um 1.5m) nur in Extremfällen ungenügend Licht vorhanden ist, z.Bsp. bei geschlossenen Lamellenstoren.

Ein Korrekturfaktor wird deshalb primär für den Arbeitsbereich bei 3m Fensterabstand angegeben. Einfacher wäre für das Modell aber, wenn der Korrekturfaktor für alle Fensterabstände gültig wäre. Eine entsprechende Überprüfung zeigt denn auch, dass innerhalb des Fehlerbandes, das ohnehin in Kauf genommen werden muss, auch diese Vereinfachung Platz hat.

Der Korrekturfaktor für Sonnenstoren kann nicht alleine aus der Abschwächung, welche aus den Simulationen bei direktem Licht resultiert, abgeleitet werden. Man muss den Umstand berücksichtigen, dass Sonnenstoren nur nötig sind, wenn direkte Sonnenstrahlung vorhanden ist. Daher ergibt sich eigentlich eine orientierungsbedingte Anpassung für den $k_{\text{sonnenschutz}}$. In der Tabelle 5.24 sind für die Kategorien von Sonnenstoren Werte für Norden, Osten/Westen und Süden angegeben, welche den Anteil Direktstrahlungsstunden an der Betriebszeit von Büronutzung (11h/d) berücksichtigen. Für SMA wurden dafür anhand der METEONORM folgende relative Sonnenscheindauern pro Jahr auf Ost/West/Süd-Fassaden berechnet: Ostfassade≈ Westfassade=35%, Südfassade=63%.

Klassifizierung der Sonnenschutzeinrichtung	$k_{\text{sonnenschutz}}$		
	N	E/W	S
Optimaler Lamellenstoren: <ul style="list-style-type: none"> mit Reflexionsgrad >60% Lamellenmechanik und Lamellensteuerung geeignet für Tageslichtoptimierung 	1.0	1.0	1.0
suboptimaler Lamellenstoren <ul style="list-style-type: none"> 60% \geq Reflexionsgrad >40% einfache Lamellenmechanik und Lamellensteuerung 	1.0	0.9	0.8
schlechter Lamellenstoren <ul style="list-style-type: none"> Reflexionsgrad \leq 40% einfache Lamellenmechanik und Lamellensteuerung 	1.0	0.8	0.5
Stoffmarkisen	1.0	0.8	0.5

Abbildung 5.24 orientierungsabhängige Korrekturfaktoren für verschiedene Storen-Typen

5.4.6. Korrekturfaktor für Beschattung durch Balkone

Modell

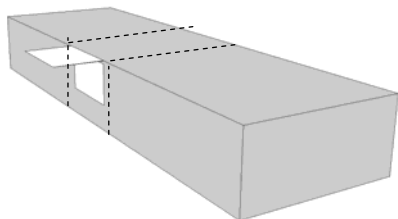


Abbildung 5.25 schmaler Balkon

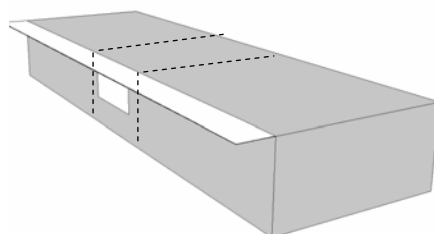


Abbildung 5.26 Balkon „unendlich“ breit

Die Idee ist, bei zwei verschiedenen Balkonbreiten die Tiefe variieren zu lassen. Dazu wurde mit Relux das in den Abbildungen 5.25 und 5.26 dargestellte Modell konstruiert. Simuliert wurde ein 20m breiter Raum der durch Zwischenwände den Referenzraum abbildet. Der Balkon konnte so als Scheibe mit der Raumbreite von 3m (Abb. 5.25) und mit der Breite von 20m (Abb. 5.26) definiert werden. Variiert wurden in beiden Fällen die Balkontiefe.

Simulationsresultate

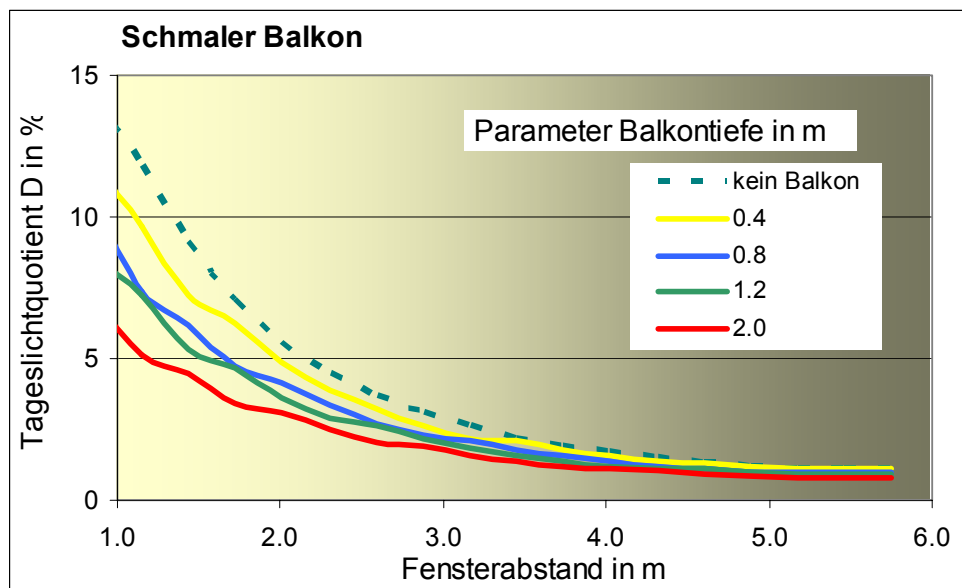


Abbildung 5.27 D in Funktion der Balkontiefe für Balkon über Fenster

Fensterabstand In m	Variation Balkontiefe in m				
	ohne	0.4	0.8	1.2	2
1.4	9.2	7.3	6.2	5.3	4.5
2.9	3.1	2.7	2.3	2.2	1.9
4.6	1.3	1.3	1.1	1.1	0.95

Abbildung 5.28 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.27

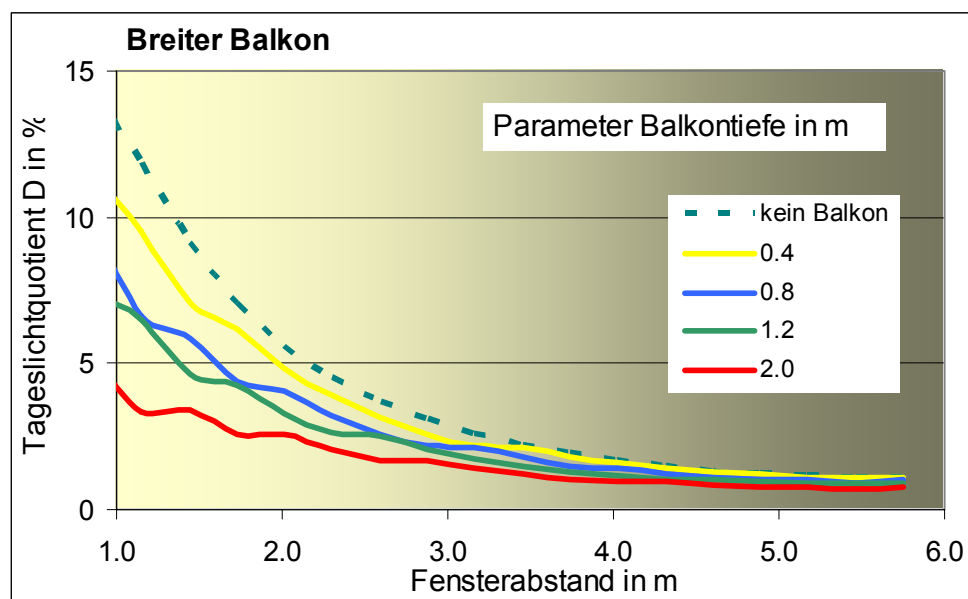


Abbildung 5.29 D in Funktion vom Fensterabstand für verschiedene Balkontiefen

Fensterabstand [m]	Variation Balkontiefe in m				
	ohne	0.4	0.8	1.2	2
1.4	9.2	7.1	5.9	4.6	3.4
2.9	3.1	2.6	2.2	2.0	1.7
4.6	1.3	1.3	1.1	1.0	0.85

Abbildung 5.30 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.29

Die "Wellenlinien" in den Abbildungen 5.27 und 5.29 werden vom Simulationsprogramm verursacht. Die Flächenauflösung kann je nach Komplexität der Strukturen feiner eingestellt werden, was die Rechenzeit aber enorm beeinflusst. Die Referenzwerte ohne Balkone weichen deshalb leicht von der Referenz ab, weil mit feinerem Raster gerechnet wurde, um für diese komplexere Geometrie vernünftige Resultate zu erhalten.

Interpretation und Rechenmodell

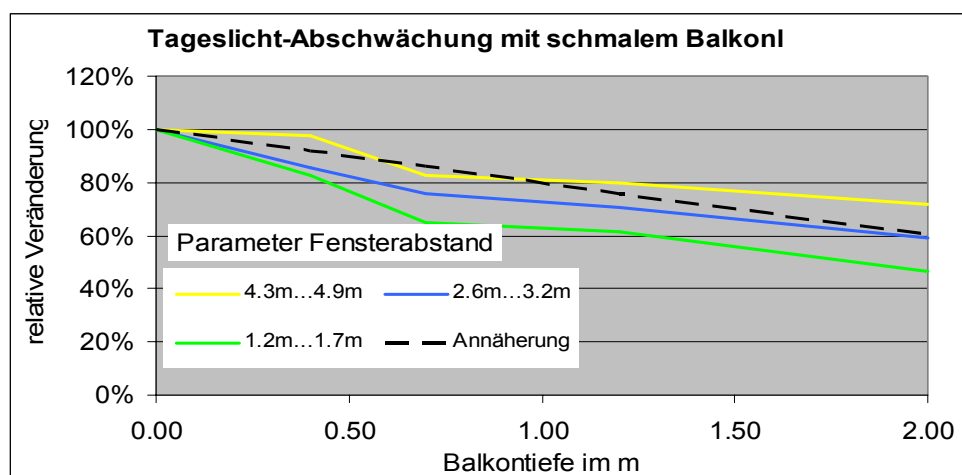


Abbildung 5.31. Abschwächung in Funktion der Balkontiefe für schmalen Balkon

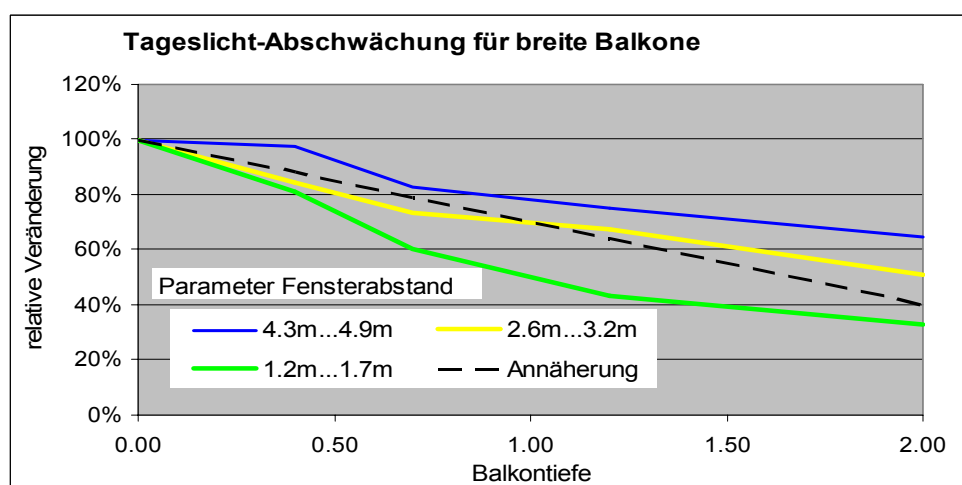


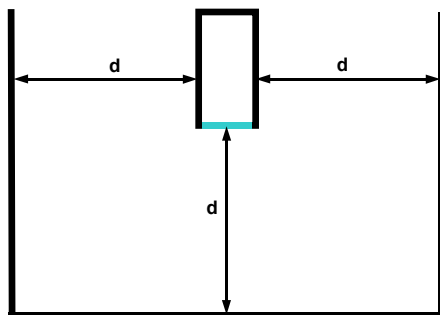
Abbildung 5.32. Abschwächung in Funktion der Balkontiefe für breiten Balkon

Die Abbildungen 5.31 und 5.32 zeigen das erwartete Bild: Die Tageslichtabschwächung ist relativ stark von der Balkontiefe, aber auch von der Balkonbreite abhängig. Wenn die Abnahme des Tageslichtquotienten als lineare Funktion der Balkontiefe angenähert wird, ergeben sich die folgenden Beziehungen, welche in den Abbildungen als schwarz gestrichelte Geraden abgebildet sind:

$$k_{\text{Balkong}} = \begin{cases} 1 - 0.2 \cdot \text{Balkontiefe in m für schmale Balkone} \\ 1 - 0.3 \cdot \text{Balkontiefe in m für breite Balkone} \end{cases} \quad \text{Gleichung 5.6.}$$

5.4.7. Korrekturen für 2 Var. von Umgebungs-Bebauungen

Modell Innenhofsituation



Die Parameter für Innenhöfe bilden die Entfernung „d“ der drei externen Bebauungen einerseits, und die Höhe „h“ dieser Bebauungen andererseits. Das dargestellte Verhältnis h/d entspricht dem Beschattungswinkel.

Für das Reflexionsverhalten der umgebenden Bauten, welches die Resultate stark beeinflusst, wurden praxisnahe Werte eingesetzt (Reflexionsgrad 20%)

Abbildung 5.33 Grundriss der Innenhofsituation

Simulationsergebnisse Innenhofsituation

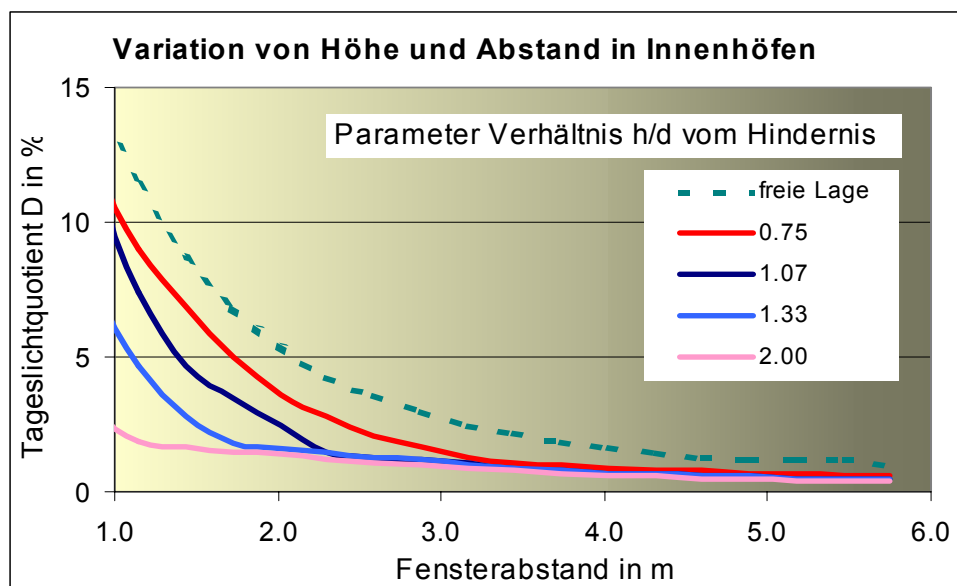
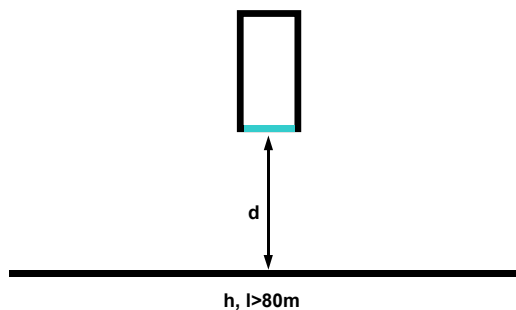


Abbildung 5.34 D in Funktion der Fensterabstand für Innenhofsituationen

Fensterabstand [m]	Variation h/d Innenhof [-]				
	frei	0.75	1.07	1.33	2.0
1.4	8.7	6.9	4.7	2.8	1.7
2.9	3.0	1.7	1.2	1.2	1.0
4.6	1.3	0.8	0.6	0.6	0.5

Abbildung 5.35 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.34

Modell Häuserzeile vis à vis



Die Parameter für die Bebauung in einer Strasse bilden der Abstand „d“ und die Höhe „h“ der Baute auf der anderen Strassenseite. Das dargestellte Verhältnis h/d entspricht dem Beschattungswinkel.

Für das Reflexionsverhalten der umgebenden Bauten, welches die Resultate stark beeinflusst, wurden praxisnahe Werte eingesetzt (Reflexionsgrad 20%)

Abbildung 5.36 Grundriss der Situation mit einer gegenüberliegenden Häuserzeile

Simulationsergebnisse Häuserzeile vis-à-vis

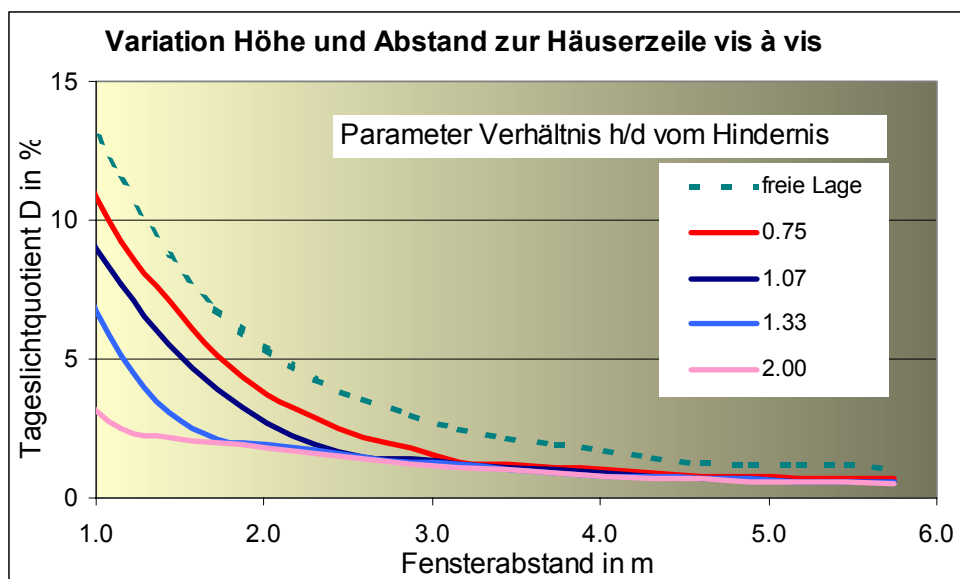


Abbildung 5.37 D in Funktion der Fensterabstand für Bauten auf der anderen Strassenseite

Fensterabstand [m]	Variation h/d Innenhof [-]				
	frei	0.75	1.07	1.33	2.0
1.4	8.7	7.1	5.5	3.1	2.2
2.9	3.0	1.8	1.4	1.3	1.2
4.6	1.3	0.8	0.7	0.7	0.7

Abbildung 5.38 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.37

Rechenmodell

Die Abschwächung in Funktion des Verhältnisses h/d , also der Höhe vom äusseren Objekt zu seiner Distanz, verläuft zwar in den Arbeitsebenen 1.4m bzw. 2.9m nicht ganz gleich, es kann aber mit einer vergleichbaren Abschwächung gerechnet werden. Die Abbildungen 5.39 und 5.40 zeigen die entsprechenden Funktionen mit den linearen Annäherungen.

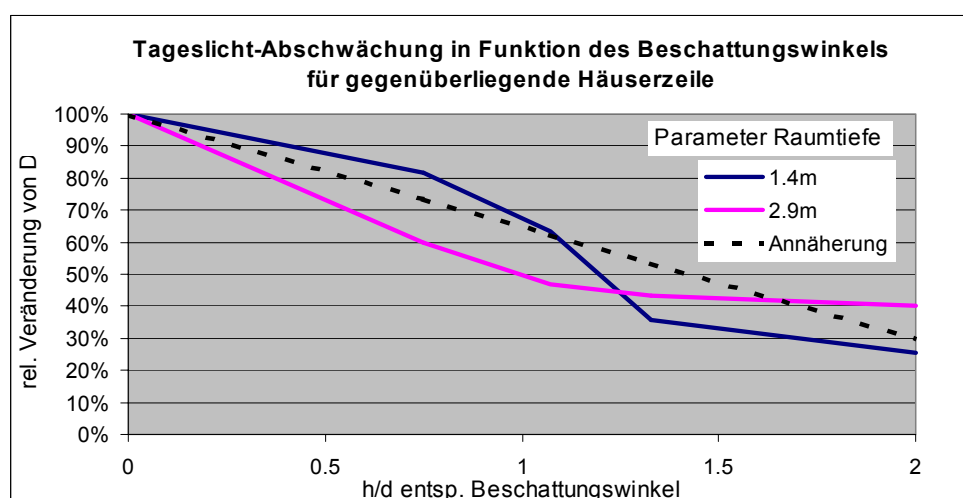
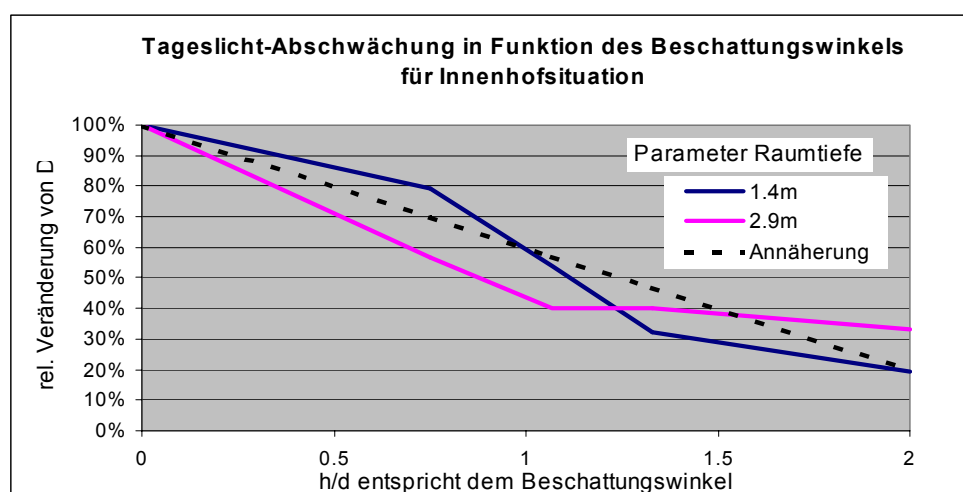


Abbildung 5.39 und 5. 40 Relative Änderung von D in Funktion des Beschattungswinkels

$$k_{\text{Umgebungsbebauung}} = \begin{cases} 1 - 0.4 \cdot (h/d) & \text{für Innenhofsituation} \\ 1 - 0.35 \cdot (h/d) & \text{für gegenüberliegende Häuserzeile} \end{cases}$$

Gleichung 5.7.

5.4.8. Berücksichtigung von Oblichtern

Der Einsatz von Oblichtern folgt Gesetzmässigkeiten, die den bisher behandelten zu wenig ähnlich sind. Im speziellen ist die Lichtverteilung im Raum je nach Lage des Oblichtes ganz anders als bei Fassadenfenstern.

Es werden zwei Fälle untersucht: Einmal soll gezeigt werden, wieviel wirksamer ein Oblicht ist im Vergleich zu einem Fassadenfenster, dann wird eine Methode angegeben zur Berechnung des Tageslichtquotienten in Räumen mit Oblichtern.

Vergleich von Oblichtern mit Fassadenfenstern

Ziel dieser Simulation ist, zu zeigen, wieviel weniger Glasfläche mit dem Einsatz von Oblichtern im Vergleich zu Fassadenfenstern dimensioniert werden muss. Als Ausgangslage wurde ein Fassadenfenster definiert mit einem Glasflächenanteil von 12.5% der Hallenfläche. Oblichter werden besser auf die Bodenfläche referenziert als auf die Fassadenfläche. Als Vergleichsgrösse zwischen Fassadenfenster und Oblichtband wurde der von RELUX bestimmte mittlere Tageslichtquotient bewertet. In einem Iterationsprozess wurde nach der „äquivalenten“ Glasfläche des Oblichtes gesucht.



Abbildung 5.41 Referenzfenster (12.5 % Glasanteil zur Bodenfläche)



Abbildung 5.42 Äquivalentes Oblichtband

Die Abbildung 5.43 zeigt die Kurven für das Fassadenfenster mit 12.5% Anteil Glasfläche zur Bodenfläche und die Kurven von äquivalenten Oblichtbändern mit zwei verschiedenen Abständen vom Dachrand. Dank der viel besseren Lichtverteilung im Raum und der stärkeren Lichtstrahlung auf die Horizontale kann im konkreten Fall bei Verwendung eines Oblichtes mit 58% der Glasfläche des Fassadenfensters dieselbe Wirkung erzielt werden.

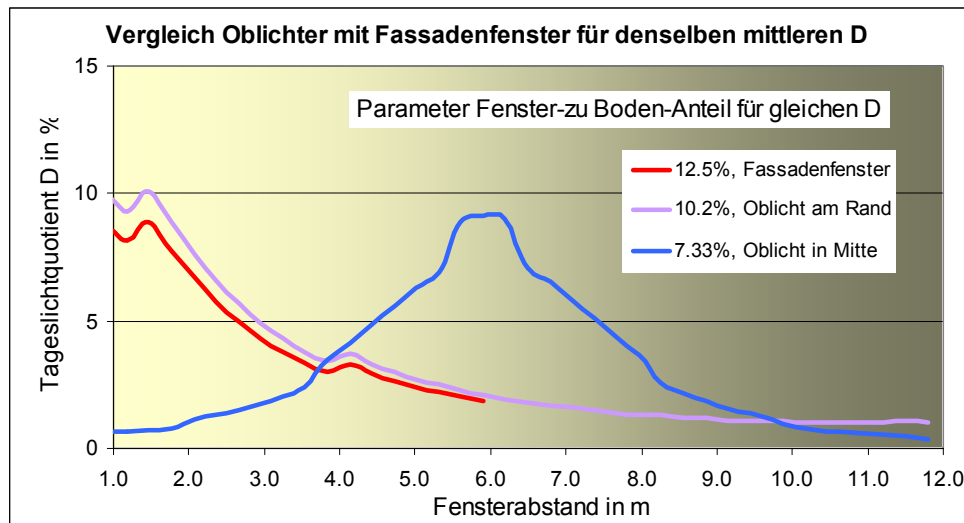


Abbildung 5.43 D in Funktion vom Fensterabstand für zwei Oblichtsituationen und dem Fassadenfenster

Abhängigkeit von D bezüglich Oblichtgrösse und Raumindex

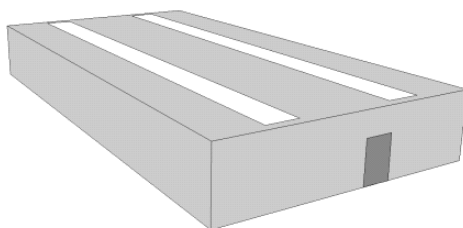


Abbildung 5.44

Halle mit 12m x 24m mit zwei Oblicht-Streifen. An diesem Modell wird einerseits die Fensterfläche, andererseits die Raumhöhe und damit der Raumindex k variiert.

$$k = l \cdot b / (l+b) \cdot h$$

mit h als Abstand zwischen Decke und Arbeitsfläche

Mit dem Einsatz von Oblichtern wird im Vergleich zu den Fassadenfenstern eine relativ gleichmässige Lichtverteilung erreicht. Die Auswertungen wurden deshalb auf den durchschnittlichen Tageslichtquotienten bezogen. Als Parameter wurden der Raumindex (durch Variation der Raumhöhe) und der Fensterflächenanteil variiert.

Simulationsresultate

Die Abbildung 5.45 zeigt die Resultate in einer räumlichen Darstellung. Es kann sowohl eine ziemlich lineare Abhängigkeit vom Fensteranteil wie vom Raumindex festgestellt werden.

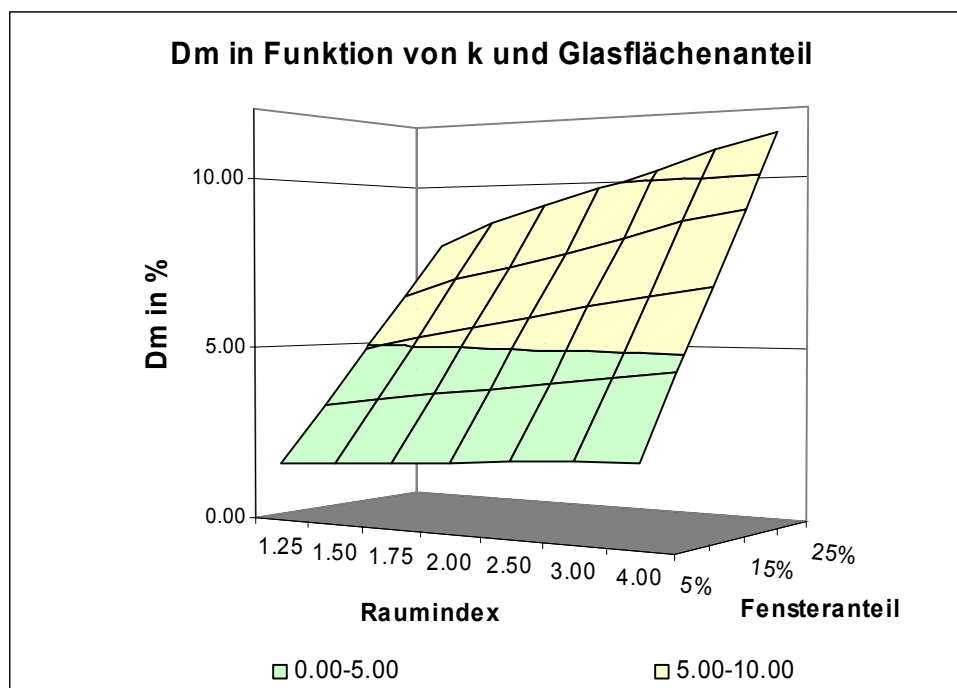


Abbildung 5.45 D in Funktion vom Fensteranteil und vom Raumindex

Rechenmodell

Die Abbildungen 5.46 und 5.47 zeigen den Verlauf von D in Funktion der beiden Parameter in zweidimensionaler Darstellung. Dadurch können Näherungsfunktionen abgeleitet werden.

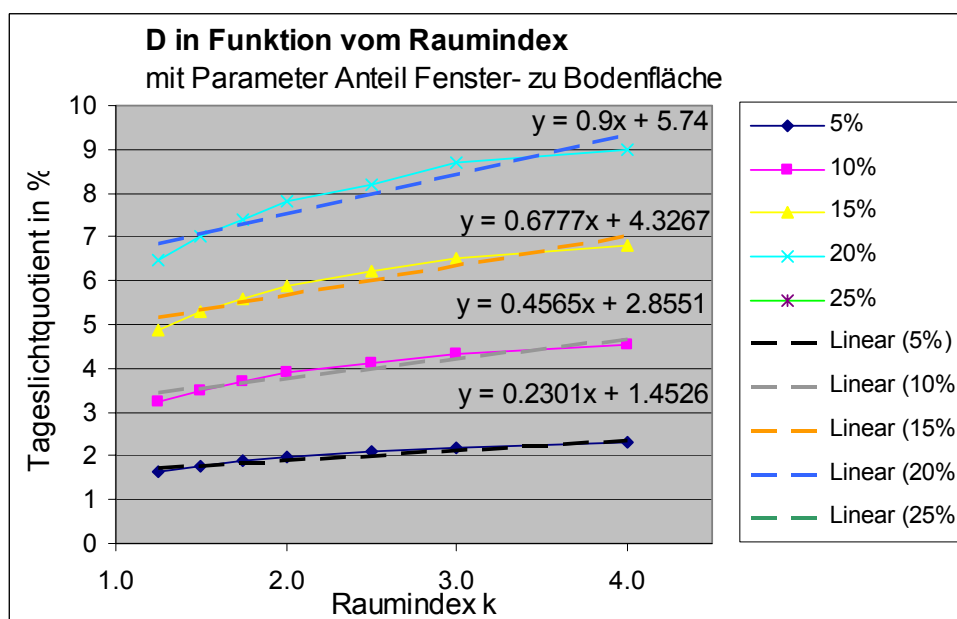


Abbildung 5.46 D in Funktion vom Raumindex für verschiedene Oblichtgrößen

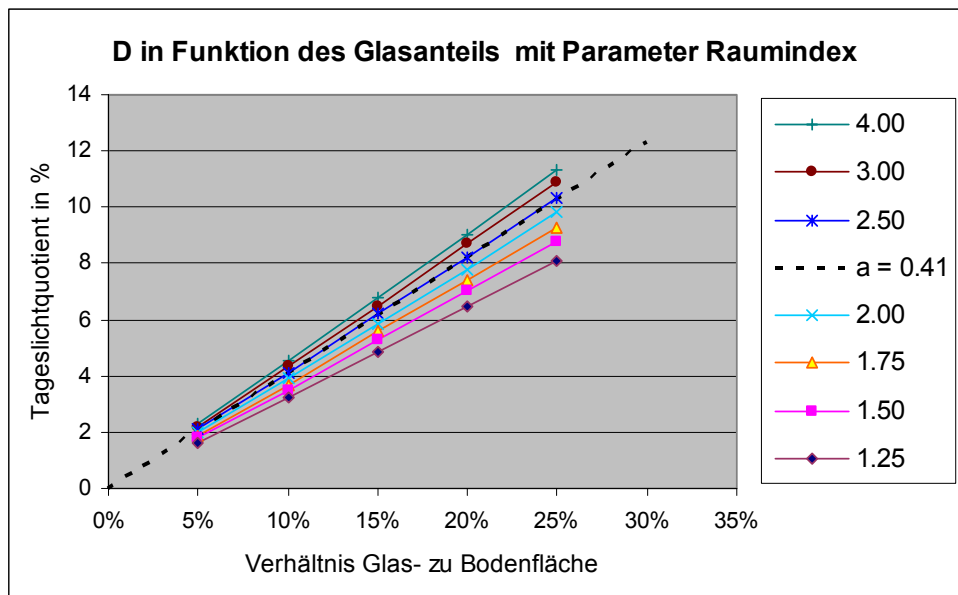


Abbildung 5.47 D in Funktion vom Verhältnis Oblicht- zu Bodenfläche

Für einen Raumindex um $k=2.5$ ergibt sich für D folgende Funktion:

$$D = a \cdot A_{\text{Glas}} / A_{\text{Boden}} \cdot 100\%$$

$$a = 0.41 \text{ für } k = 2.5$$

Gleichung 5.8

Um die Abhängigkeit vom Raumindex k in die Beziehung zu integrieren, kann die Steilheit a als Funktion von k dargestellt werden. Die Abbildung 5.48 zeigt diese grafisch mit einer Linearisierung, die Gleichung 5.9 gibt sie analytisch wieder.

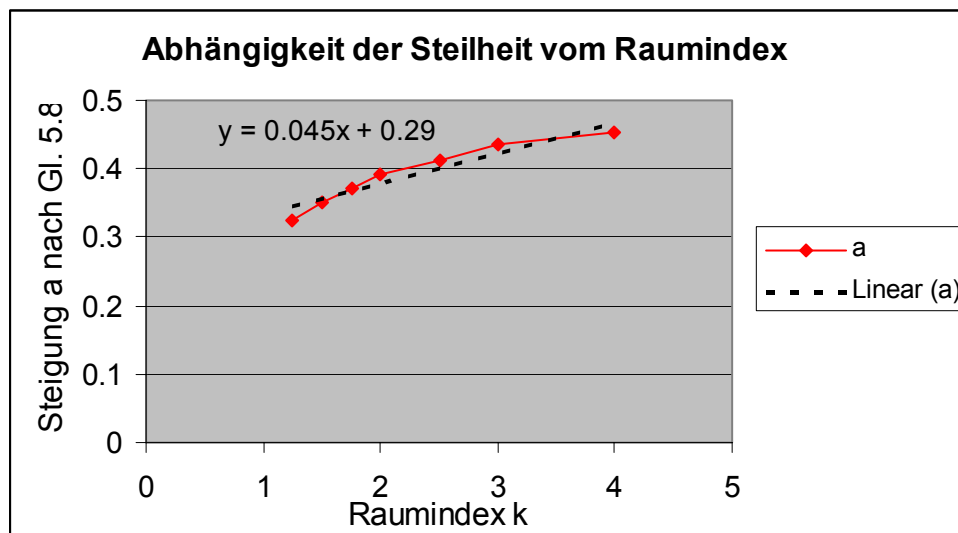


Abbildung 5.48 Abhängigkeit der Geradensteilheit aus Abbildung 5.47 vom Raumindex k

$$D = (0.29 + 0.045 \cdot k) \cdot A_{\text{Glas}} / A_{\text{Boden}} \cdot 100\%$$

Gleichung 5.9

Als weitere korrigierende Elemente für die Ermittlung von D für Oblichter können die Abhängigkeit von der Transmission und jene von verschiedenen Oblichttypen einbezogen werden:

- Für abweichende Transmission gilt auch hier die Gleichung 5.3.
- Für verschiedene Oblichttypen könnte ein Korrekturfaktor ermittelt werden. Die dazu nötigen Informationen sind in der SN 418911, "Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht" [8] im Kapitel 7.5.6 „Grösse von Oblichtern“ dargestellt.

5.4.9. Korrekturfaktor für Innenraumreflexionen

Modell



Abbildung 5.49 und Abbildung 5.50: Reflexionsgrade D-W-B 80-80-30 und 50-30-0

Abbildung 5.51 Parametersatz für Innenraum-Reflexionsgrade: Die Positionen 1 bis 11 ohne 6 entsprechen dem Datensatz aus dem „Handbuch für Beleuchtung, Kap. II-1.3“; die Positionen 2, 6 und 10 entsprechen den Sätzen „hell“, „normal“, und „dunkel“, die in 380/4 definiert sind.

Der für den Musterraum willkürlich angenommene Satz 80-60-20 liegt nahe bei den Werten „sia hell“.

Pos.	Reflexionsgrade [-]		
	Decke	Wand	Boden
1	0.8	0.8	0.3
2	0.8	0.5	0.3
3	0.8	0.5	0.1
4	0.8	0.3	0.3
5	0.8	0.3	0.1
6	0.7	0.5	0.2
7	0.5	0.5	0.3
8	0.5	0.5	0.1
9	0.5	0.3	0.3
10	0.3	0.3	0.1
11	0.0	0.0	0.0

Simulationsresultate

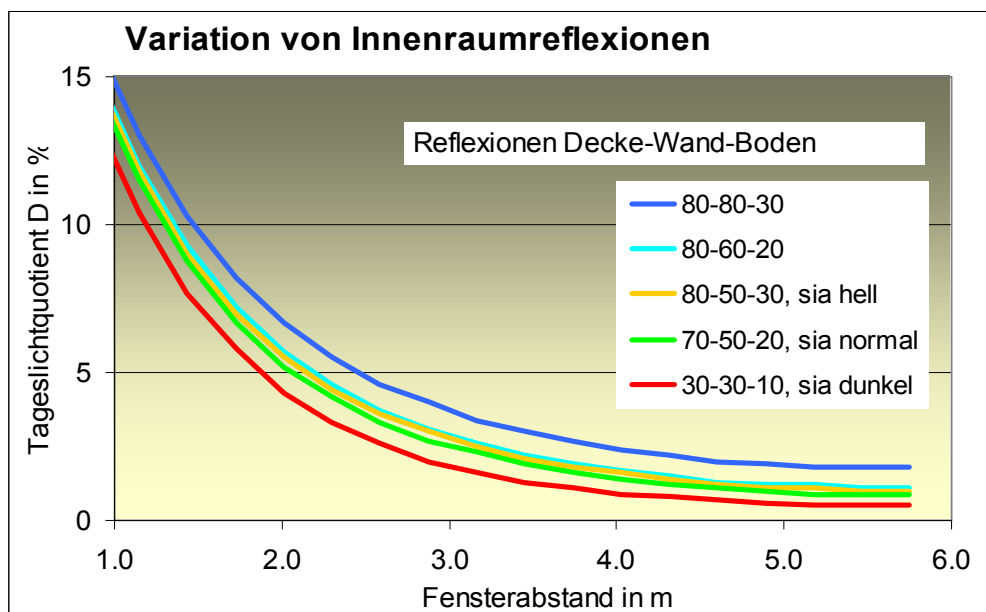


Abbildung 5.52 Verlauf von D mit Innenraumreflexionen als Parameter

Fensterabstand [m]	Parametersatz Innenraum-Reflexionen D-W-B				
	80-80-30	80-60-20	80-50-30	70-50-20	30-30-10
1.4	10.3	9.3	9.0	8.8	7.7
2.9	4.0	3.1	3.0	2.7	2.0
4.6	2.0	1.3	1.2	1.1	0.7

Abbildung 5.53 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.51.

Aus den Abbildungen 5.52 und 5.53 geht hervor, dass die Abstufung zwischen 80-50-30 und 70-50-20 (sia 380/4 hell und normal) deutlich weniger stark ist als zwischen 70-50-20 und 30-30-10 (sia 380/4 normal und dunkel).

In der Abbildung 5.52 fällt auf, dass die Werte des Referenzraumes (80-60-20 nicht genau jenen in Abbildung 4.20. entsprechen (8.5/2.7/1.1). Der Unterschied ergibt sich durch eine andere Auflösung bei den Simulationen. Dieses Phänomen zeigte sich auch schon bei den Resultaten der Simulationen für Balkone.

Rechenmodell

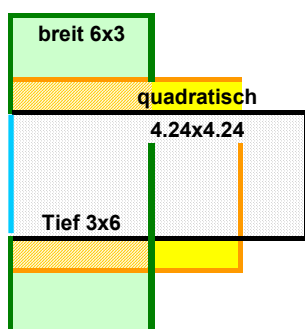
Ausgehend von der sia 380/4 – Definition für die drei Helligkeitssituationen im Raum „hell“, „normal“ und „dunkel“ können die Korrekturfaktoren für drei typische Fensterabstände angegeben werden:

Fensterabstand [m]	$k_{\text{Innenraum}}$ für Reflexionssituation		
	hell [80-50-30]	normal [70-50-20]	dunkel [30-30-10]
1.4	1.0	0.98	0.86
2.9	1.0	0.90	0.67
4.6	1.0	0.92	0.58

Abbildung 5.54 Tabelle mit Korrekturfaktoren für verschiedene Innenraum-reflexionen bei drei Fensterabständen

5.4.10. Korrekturfaktor für Raumbreite, zwei Varianten

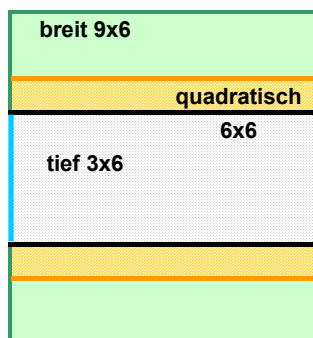
Modelle



Parameter Raumbreite, Var. 1

Um die Veränderung bei verschiedenen Raumgeometrien zu überprüfen, wird der Modellraum mit 3m x 6m Grundrissfläche mit zwei weiteren Längen- zu Breiten-Verhältnissen durchgerechnet. Zudem werden pro Raum je drei verschiedene Reflexions-Parametersätze für den Innenraum berechnet.

Abbildung 5.55 Drei Grundrisse mit demselben Fenster



Parameter Raumbreite, Var. 2

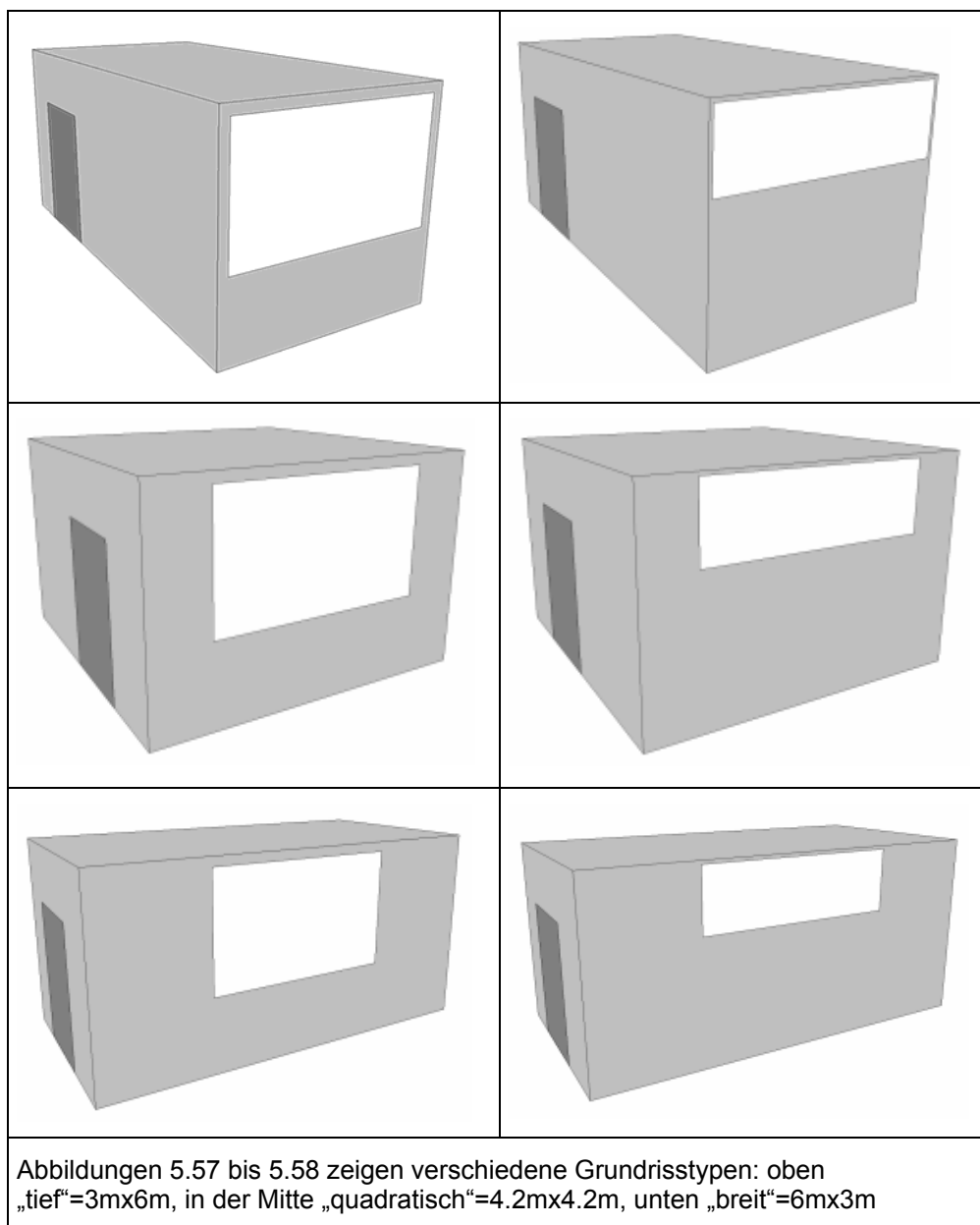
Die Raumtiefe wird beibehalten, die Breite variiert.

Abbildung 5.56 Drei Grundrisse mit demselben Fenster

Simulationsresultate

Variante 1: Variation bei gleicher Bodenfläche:

Als Resultate interessieren neben dem Verlauf des Tageslichtquotienten in der Mittelachse des Raumes die durchschnittliche Lichtverteilung, welche als mittlerer Tageslichtquotient D_m ausgewertet wird. Als Varianten wurden zwei verschiedene Fenstergrößen und drei Varianten von Innenraum-reflexionen durchgearbeitet.



Die Abbildung 5.63 zeigt, dass der Verlauf von D in der Fensterachse für alle Raumtypen etwa gleich ist. Dieselbe Aussage gilt für andere Reflexionsverhalten und andere Fenstergrößen, was mit weiteren Simulationen überprüft wurde. Als Resultat kann also festgehalten werden, dass **die Raumtiefe den Verlauf von D kaum beeinflusst**.

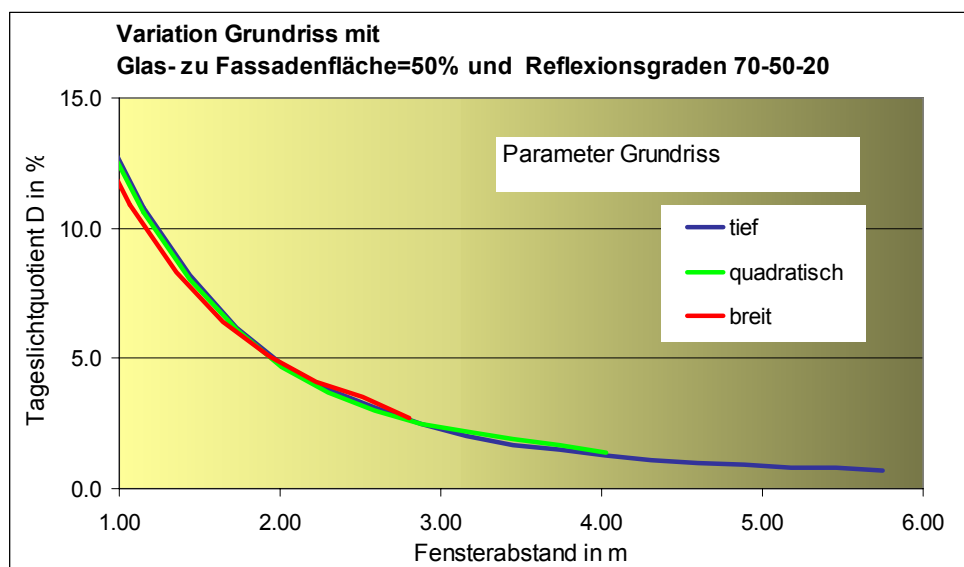


Abbildung 5.59 Verlauf von D in der Raum-Mittelachse verschiedener Grundrisse

In Abbildung 5.64 sind die mittleren Tageslichtquotienten D_m dargestellt. Die Werte sind für beide Fenstergrößen auf den tiefen Raum (3m x 6m) referenziert. Folgende Aussagen können abgelesen werden:

- Breitere (weniger tiefe) Räume haben bessere Lichtverteilung
- Die Veränderung ist unabhängig von Fenstergröße und Innenraumreflexionen qualitativ gleich.

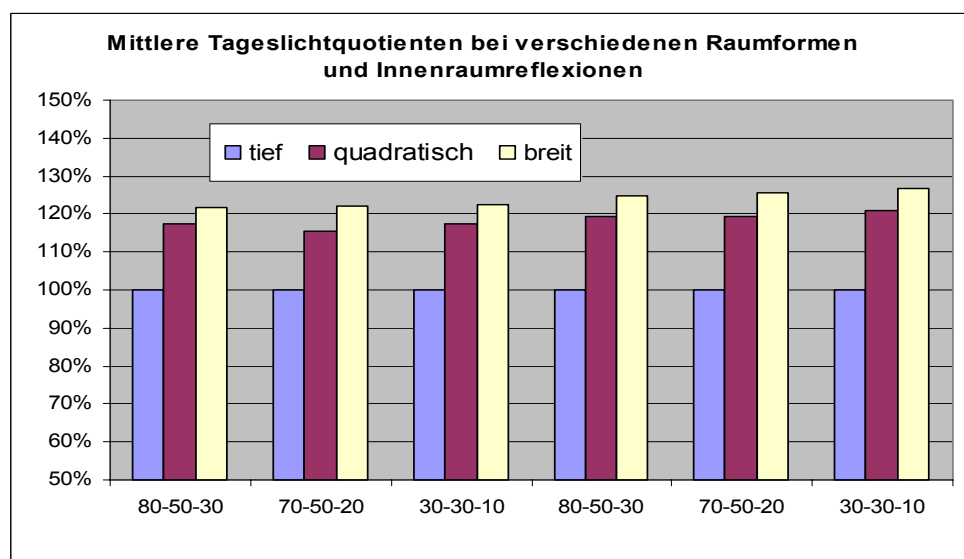


Abbildung 5.60 mittlerer Tageslichtquotient D_m verschiedener Grundrisse für zwei Fenstergrößen und drei Situationen von Innenraumreflexionen

Variante 2: Variation der Raumbreite bei konstanter Raumtiefe:

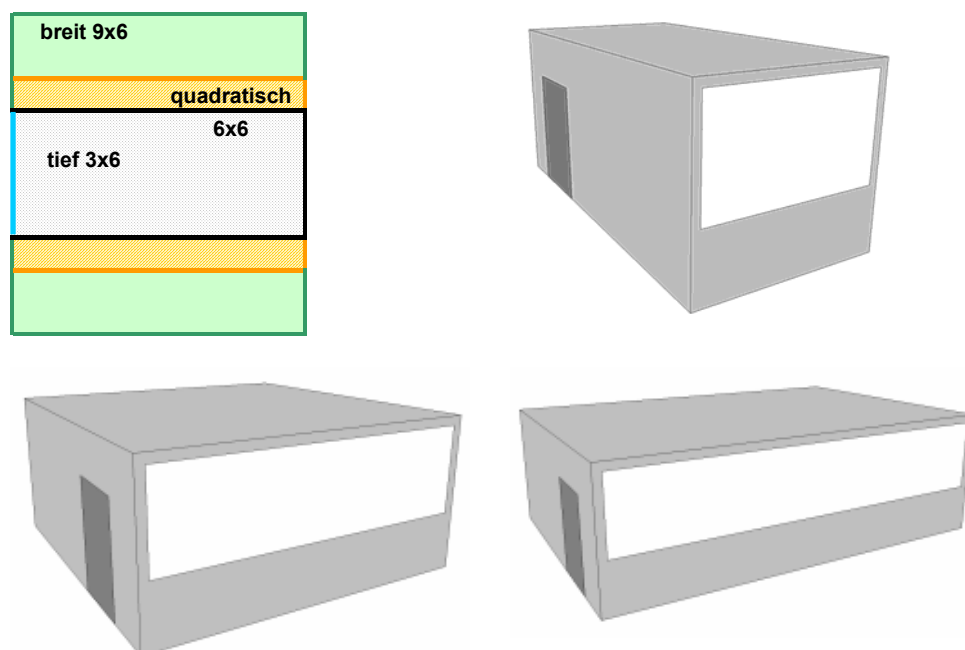


Abbildung 5.61, 5.62, 5.63, 5.64 verschiedene Raumbreiten (3m, 6m, 9m bei derselben Raumtiefe von 6m. Der Anteil Glas an den Fassaden ist konstant 54%.

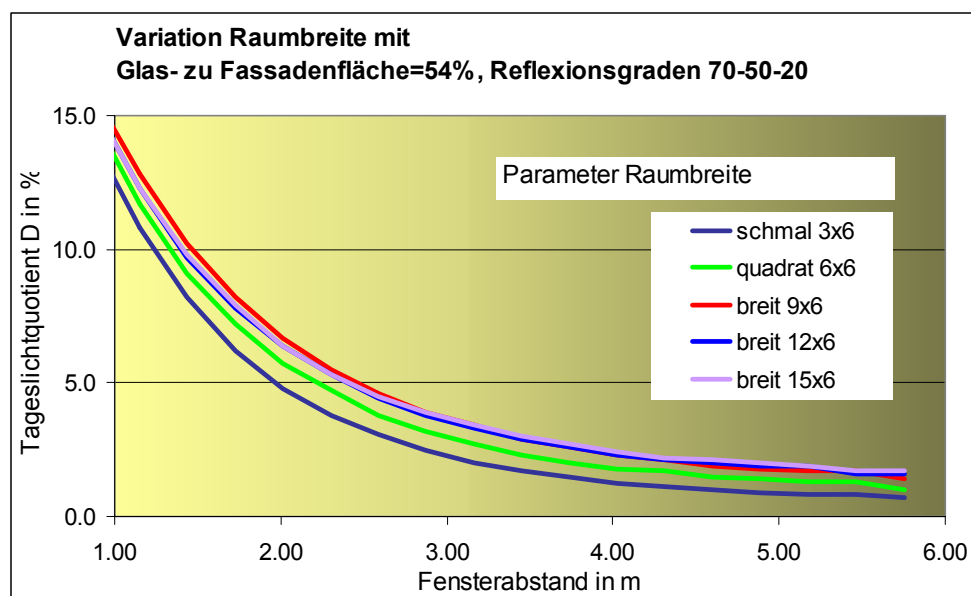


Abbildung 5.65 Verlauf von D in der Raum-Mittelachse verschiedener Grundrisse

Fensterabstand [m]	Raumbreite in m		
	3m (schmal)	6m (quadratisch)	9m (breit)
1.4	8.2	9.1	10.2
2.9	2.5	3.2	3.9
4.6	1.0	1.5	1.9

Abbildung 5.66 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.68

Rechenmodell

Die in der Abbildung 5.69 dargestellten Resultate zeigen eine Sättigung bei 9m Raumbreite.

Aus den Resultaten der Abbildung 5.70 werden Korrekturfaktoren abgeleitet für die drei typischen Fensterabstände mit Bezug auf die Raumbreite von 3m (Abbildung 5.71).

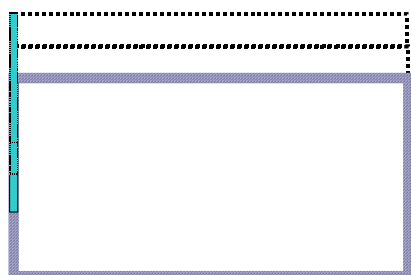
Fensterabstand [m]	k_{Raumbreite} verschiedene Raumbreiten		
	3m	6m	9m
1.4	1.0	1.11	1.24
2.9	1.0	1.28	1.56
4.6	1.0	1.50	1.90

Abbildung 5.67 Tabelle mit Korrekturfaktoren für verschiedene Raumbreiten

5.4.11. Korrekturfaktor für Raumhöhe

Modell

Es ist bekannt, dass die am Fenster weiter oben eintretenden Lichtstrahlen grössere Tiefenwirkung haben. Diese Situation wird an einem Raum mit den **Grundriss 6m x 6m** untersucht, grösser als der Referenzraum, weil dieser mit 3m Breite keine vernünftigen Proportionen ergibt mit derartigen Raumhöhen. Die Raumhöhe wird variiert - bei gleichbleibendem Glasanteil an der Fassade, konstanter Brüstungshöhe und sturzlosem oberen Abschluss ändert sich folglich die Fensterbreite (s. Abb 5.73 bis 5.75).



Parameter Raumhöhe

Ausgehend vom Referenzraum wird die Raumhöhe variiert und die Veränderung des Verlaufs vom Tageslicht-Quotienten ausgewertet.

Abbildung 5.68 Schnitt Referenzraum mit

variabler Raumhöhe

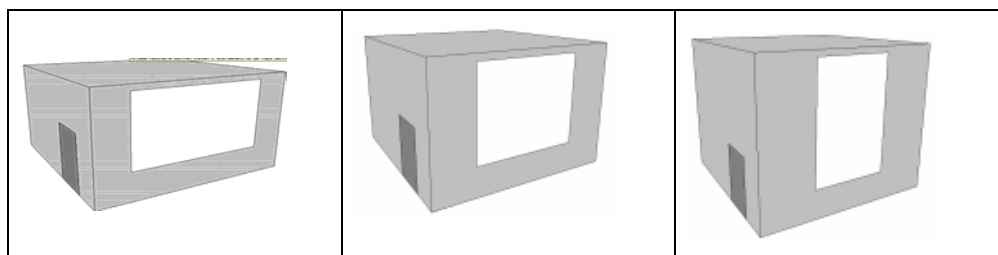


Abbildung 5.69, 5.70, 5.71 Veränderung der Raumhöhe bei gleichbleibendem Verhältnis Glasfläche zu Fassadenfläche

Simulationsresultate

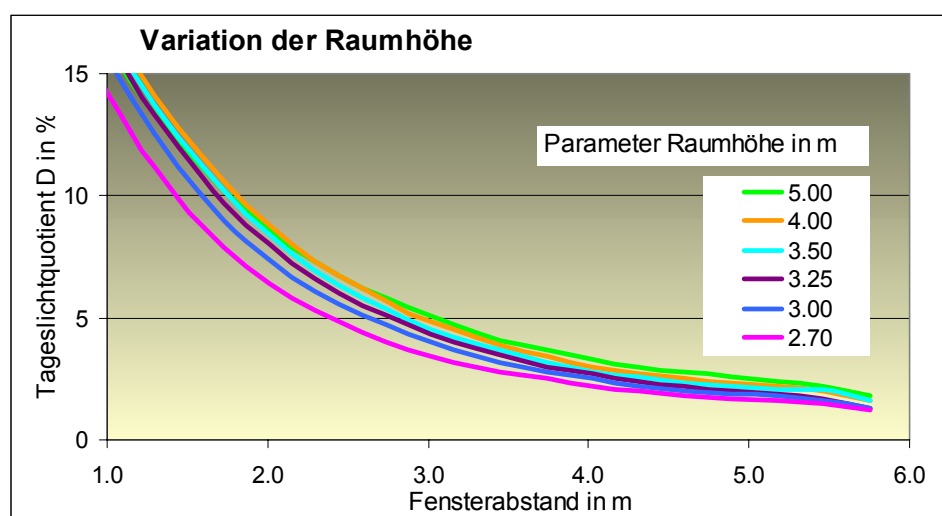


Abbildung 5.72 mittlerer Tageslichtquotient D_m für verschiedene Raumhöhen

Fensterabstand [m]	Raumhöhe					
	2.7m	3.0m	3.25m	3.5m	4.0m	5.0m
1.4	9.9	11.2	12	12.4	12.8	12.2
2.9	3.7	4.3	4.7	4.9	5.2	5.4
4.6	1.8	2.0	2.2	2.3	2.5	2.8

Abbildung 5.73 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.75

Die Daten der Tabelle in Abbildung 5.77 sind in den Abbildungen 5.78 und 5.79 auf zwei verschiedene Arten dargestellt. Sie zeigen bei kleinem Fensterabstand eine Sättigung ab 3.5m, während bei grösseren Fensterabständen eine kontinuierliche Steigerung von D mit der Raumhöhe abzulesen ist.

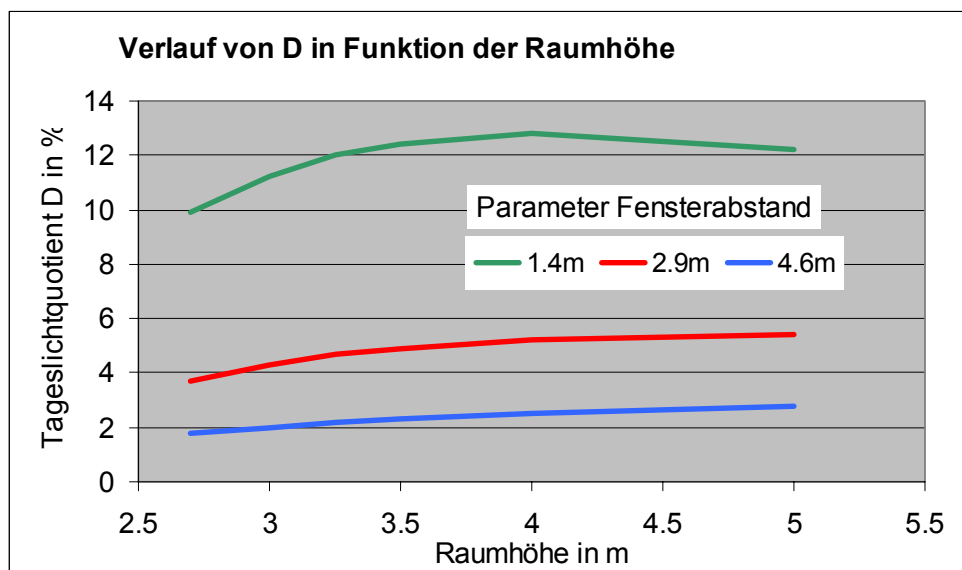


Abbildung 5.74 Tageslichtquotient in Funktion der Raumhöhe bei verschiedenen Fensterabständen

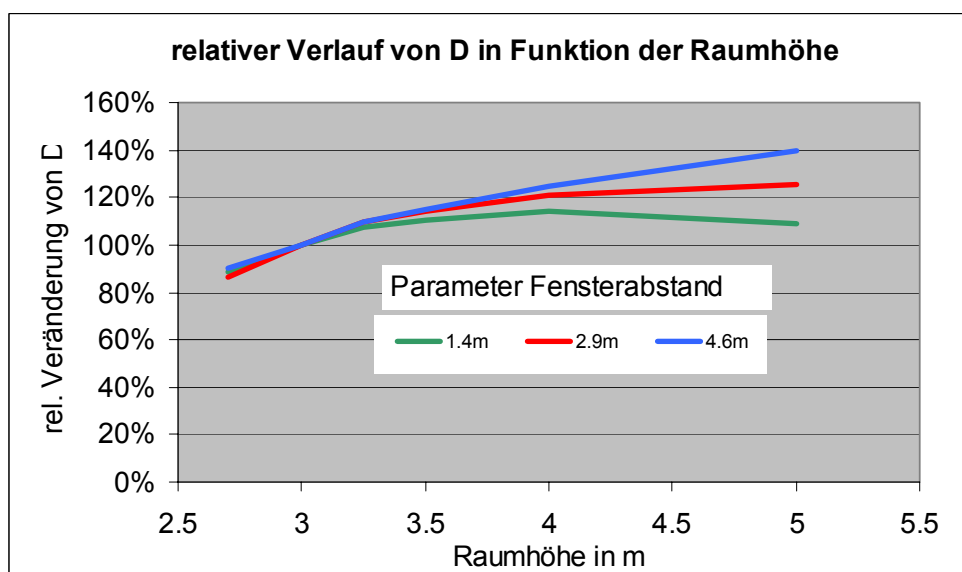


Abbildung 5.75 relativer Verlauf von D in Funktion der Raumhöhe für verschiedene Fensterabstände

Fensterabstand [m]	Raumhöhe					
	2.7m	3.0m	3.25m	3.5m	4.0m	5.0m
1.4	88%	100%	107%	111%	114%	109%
2.9	86%	100%	109%	114%	121%	126%
4.6	90%	100%	110%	115%	125%	140%

Abbildung 5.76 Zahlenwerte gemäss Abbildung 5.78.

Rechenmodell

Für den Korrekturfaktor $k_{\text{Raumhöhe}}$ kann für verschiedene Raumhöhen und Fensterabstände eine Tabelle angegeben werden (Abbildung 5.81): Der Korrekturfaktor wird für Raumhöhen unter 3m nicht angegeben. In diesem Bereich kann auch mit dem Korrekturfaktor für Fenstersturz gearbeitet werden, dessen Abhängigkeit noch stärker ins Gewicht fällt.

Fensterabstand [m]	$k_{\text{Raumhöhe}}$ für verschiedene Raumhöhen			
	3.0m	3.5m	4.0m	5.0m
1.4	1.0	1.11	1.14	1.09%
2.9	1.0	1.14	1.21	1.26
4.6	1.0	1.15	1.25	1.40

Abbildung 5.77 Zahlenwerte für $k_{\text{Raumhöhe}}$.

5.4.12. Variation der Arbeitshöhe

Die Simulationen basieren alle auf einer Auswertung vom Tageslichtquotienten auf der Arbeitshöhe von 85cm. Für spezielle Nutzungen wie Verkehrsbereiche oder Turnhallen ist die massgebliche Grösse des Sehbereichs der Boden. Die folgende Darstellung dokumentiert anhand des Referenzraumes den unterschiedlichen Verlauf von D.

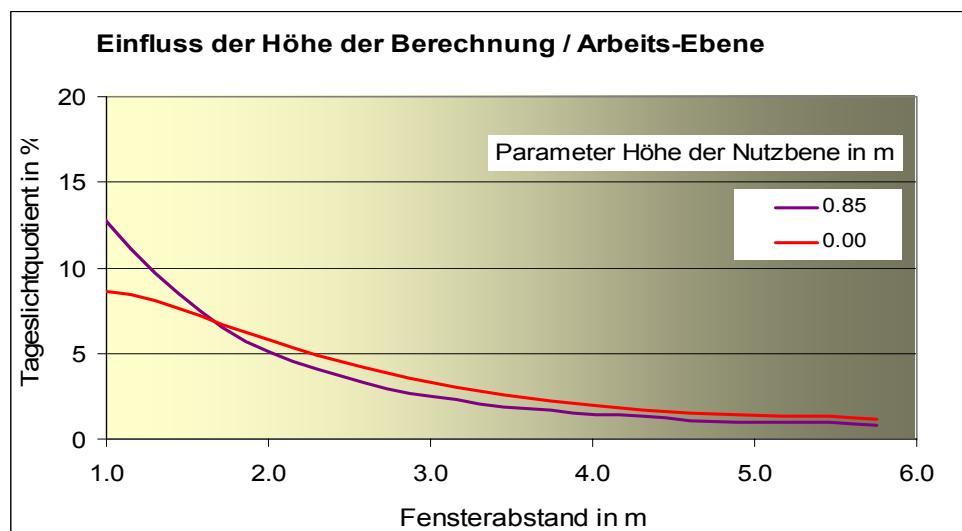


Abbildung 5.78 Tageslichtquotient-Verlauf auf verschiedenen Nutz-Höhen

Fensterabstand [m]	Arbeitshöhe	
	85cm	0cm
1.4	8.5	7.7
2.9	2.7	3.5
4.6	1.1	1.5

Abbildung 5.79 Auswahl von Werten (D in %) entsprechend Abbildung 5.82

5.4.13. Verlauf von D in der Nähe der Seitenwände

Die Simulationen wurden bisher durchwegs in der Mittelaxe des Raumes ausgewertet. Die Abbildungen 5.84 und 5.85 zeigen den Vergleich vom Verlauf des Tageslichtquotienten in der Mittelaxe und bei 0.5m Abstand von der Wand für verschiedene Situationen. Die Abbildung 5.86 zeigt einerseits, dass D im schmalen Raum von der Raummitte Richtung Seitenwände weniger abnimmt als im breiten Raum. Andererseits zeigen die rote und die grüne Kurve, dass die Reflexionen des Innenraumes wenig Einfluss nehmen auf diese Abnahme.

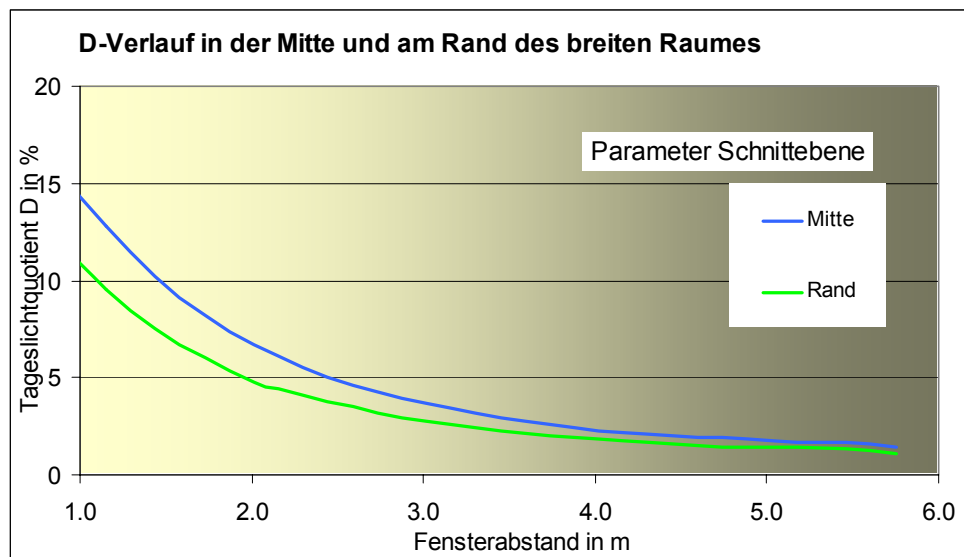


Abbildung 5.80 Verlauf von D beim 9m breiten Raum

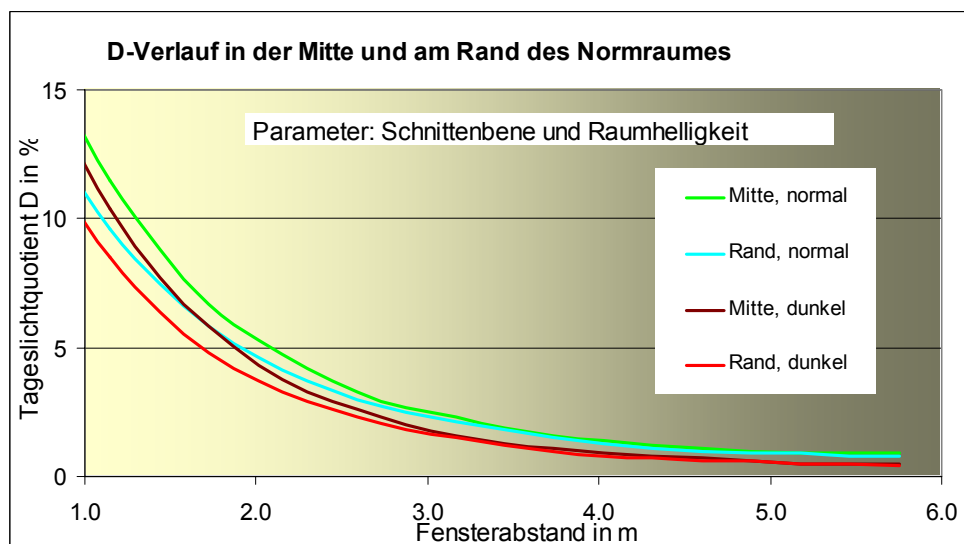


Abbildung 5.81 Verlauf von D im 3m breiten Raum mit verschiedenen Reflexionen

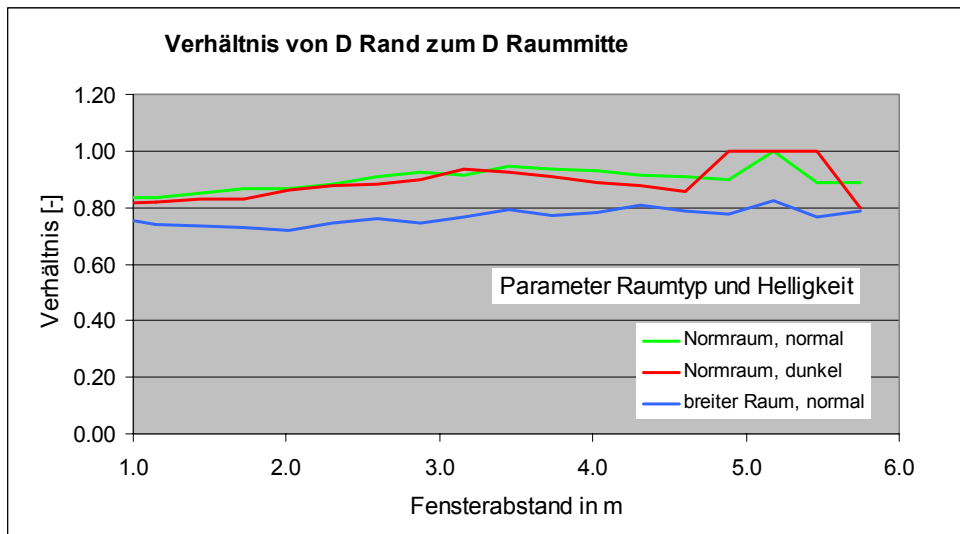


Abbildung 5.82 Verhältnis von D am Rand zu D in der Raummitte im 3m breiten Raum mit verschiedenen Reflexionen

5.5. Vom Tageslichtquotienten zur Volllaststundenzahl

Mit dem im Kapitel 5.4. berechneten D wird nach dem im folgenden Teil erklärten Modell der Anteil Tageslicht-Nutzung berechnet. Das Modell ist eine Adaption einer Arbeit von Hennings am IWU Darmstadt [3].

Die Volllaststundenzahl berechnet sich danach aus:

$$h_{BI} = h_n \cdot (1 - f_D) \cdot f_p$$

Gleichung 5.10.

h_n sind die jährlichen Nutzungsstunden gemäss Abbildung 5.2

f_D ist der nutzbare Tageslichtanteil. Er wird in den folgenden Kapiteln für drei Lichtsteuerungsmodi, für verschiedene Betriebszeiten und verschiedene Beleuchtungsstärken entwickelt.

f_p ist der Korrekturfaktor (Reduktionsfaktor) für Präsenzmelder.

5.5.1. Auswahl der Diffusstrahlungsdaten

Die Berechnung der Volllaststunden basiert auf einer Auswertung von Diffus-Strahlungsdaten. Auch diffuses Licht ist bezüglich Intensität richtungsabhängig (siehe Abbildung 5.87). Das Berechnungsmodell würde durch die Berücksichtigung der Richtungsabhängigkeit zu stark kompliziert. Es wird deshalb festgelegt, für die Auswertungen mit dem arithmetischen Mittel der Strahlungsdaten in die vertikalen Ebenen der vier Himmelsrichtungen zu arbeiten.

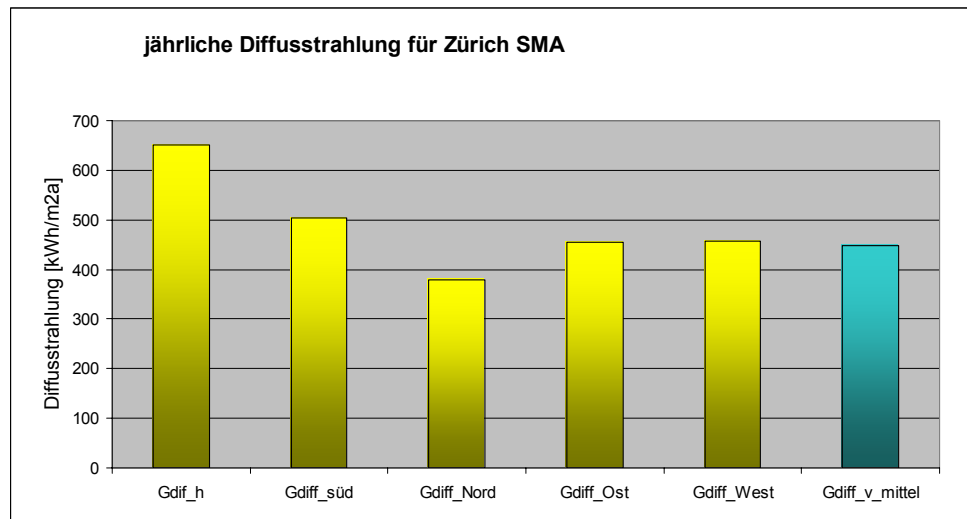


Abbildung 5.83 Diffusstrahlung in verschiedenen Ebenen

5.5.2. Tageslicht-Steuerung ein-aus

Die Berechnungen gehen von einer Jahresstatistik der diffusen Strahlung aus (Auswahl gemäss Kap. 5.5.1) Die Tabelle in Abbildung 5.88 zeigt den ersten Schritt dieser Auswertung: Die Diffusstrahlung ist in 100 Intensitätsklassen aufgeteilt, wobei die Abstufung bei geringen Werten enger gewählt ist als bei hohen (gelb hinterlegte Spalte). In der weiss hinterlegten Tabelle sind die Häufigkeiten der Diffusstrahlung für die 24 Tagesstunden eingetragen. In der hellblau gefärbten Spalte sind die Summenstunden während der Betriebszeiten für jede Strahlungsstufe und die rosa gefärbte Spalte enthält die kumulierten Stunden, welche in der obersten Zeile die volle Betriebszeit von 365 mal der Tagesbetriebszeit ergeben (im Beispiel $365 \cdot 11h = 4015h$)

ZH SMA G-diff [W/m ²]	Summen- Stunden kumuliert	Summe Betriebs- zeit	Tagesstunde, Wert =1 bei Betrieb, sonst 0							
			0	1	2	3	4	5	6	7
			0	0	0	0	0	0	0	1
0	4015	257	365	365	365	365	365	252	176	103
1	3758	33	0	0	0	0	0	2	1	7
2	3725	23	0	0	0	0	0	1	4	4
3	3702	30	0	0	0	0	0	7	1	6
4	3672	22	0	0	0	0	0	1	4	5
5	3650	20	0	0	0	0	0	2	3	1
7	3630	51	0	0	0	0	0	7	3	6
9	3579	57	0	0	0	0	0	5	9	6
11	3522	38	0	0	0	0	0	5	4	6
13	3484	32	0	0	0	0	0	7	2	3
16	3452	56	0	0	0	0	0	6	6	3
19	3396	38	0	0	0	0	0	5	5	1
22	3358	42	0	0	0	0	0	4	2	7

Abbildung 5.88 Ausschnitt aus der Diffusstrahlungsstatistik zur Ermittlung von Summenstunden während einer vorgegebenen Betriebszeit

In einer weiteren Tabelle (Abbildung 5.89) werden für dieselbe Abstufung der Strahlungsintensität die Raum-Beleuchtungsstärken als Produkt vom Tageslichtquotienten (D) mit der äusseren Beleuchtungsstärke eingetragen. Die äussere Beleuchtungsstärke ergibt sich durch Multiplikation der Diffusstrahlung mit dem Faktor $100 \text{ lux} / (\text{W/m}^2)$. Aus dieser Tabelle werden für einen bestimmten D und ein gegebenes Beleuchtungsniveau die tageslicht-nutzbaren Summenstunden herausgefiltert und wie in Abbildung 5.89 grafisch dargestellt. Die Tageslicht-Steuerungsfunktion "ein-aus" ergibt sich durch den Entscheid, jene Summenstunden auszuwählen, bis zu welchen die geforderte Raumbeleuchtungsstärke gerade noch erreicht wird. Der nutzbare Anteil ergibt sich aus den Summenstunden dividiert durch die entsprechende (Voll)-Betriebszeit. Abbildung 5.90 zeigt eine grafische Darstellung dieser Auswertung für verschiedene Beleuchtungsanforderungen

100 Lux / (W/m ²)		Tageslichtquotient TQ									
Ex [lux]	Summenstd.	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10
0	4015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	3758	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	10
200	3725	1	2	4	6	8	10	12	14	16	20
300	3702	1.5	3	6	9	12	15	18	21	24	30
400	3672	2	4	8	12	16	20	24	28	32	40
500	3650	2.5	5	10	15	20	25	30	35	40	50
700	3630	3.5	7	14	21	28	35	42	49	56	60
900	3579	4.5	9	18	27	36	45	54	63	72	70
1100	3522	5.5	11	22	33	44	55	66	77	88	90
1300	3484	6.5	13	26	39	52	65	78	91	104	110
1600	3452	8	16	32	48	64	80	96	112	128	130
1900	3396	9.5	19	38	57	76	95	114	133	152	160

Abbildung 5.89 Ausschnitt aus der Diffusstrahlungsstatistik zur Ermittlung von Summenstunden während einer vorgegebenen Betriebszeit

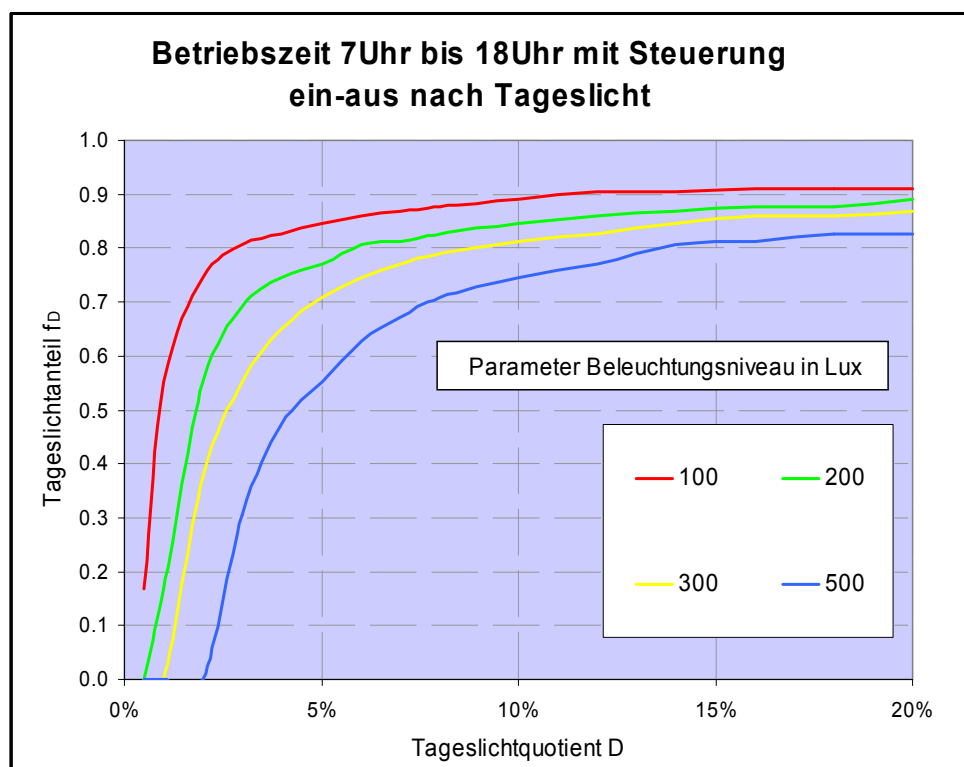


Abbildung 5.90 Tageslichtanteil in Funktion des Tageslichtquotienten für die Betriebszeit von 7 bis 18Uhr und verschiedene Beleuchtungsanforderungen mit Beleuchtungssteuerung ein-aus nach Tageslicht

5.5.3. Lichtsteuerung von Hand

Für die Handsteuerung werden zwei Varianten, analog zum Modell von Hennings entwickelt. Die Stundenwerte der Diffusstrahlungsdaten werden nach folgenden zwei Vorschriften ausgewertet:

Handsteuerung ohne Abschalten: Falls bei Betriebsbeginn das geforderte Beleuchtungsniveau nicht erreicht ist, wird das Licht von Hand eingeschaltet und bis Betriebsende nicht mehr ausgeschaltet. Die entsprechende Auswertung mit Daten von Zürich SMA ergibt die Kurven in Abbildung 5.91.

Handsteuerung mit automatischer Abschaltung zur Mittagszeit: Bei Betriebsbeginn wird das Licht eingeschaltet, wenn das Beleuchtungsniveau nicht erreicht ist. Zur Mittagszeit wird automatisch abgeschaltet und eine neue Überprüfung des Beleuchtungsniveaus vorgenommen. Die entsprechende Auswertung mit Daten von Zürich SMA ergibt die Kurven in Abbildung 5.92.

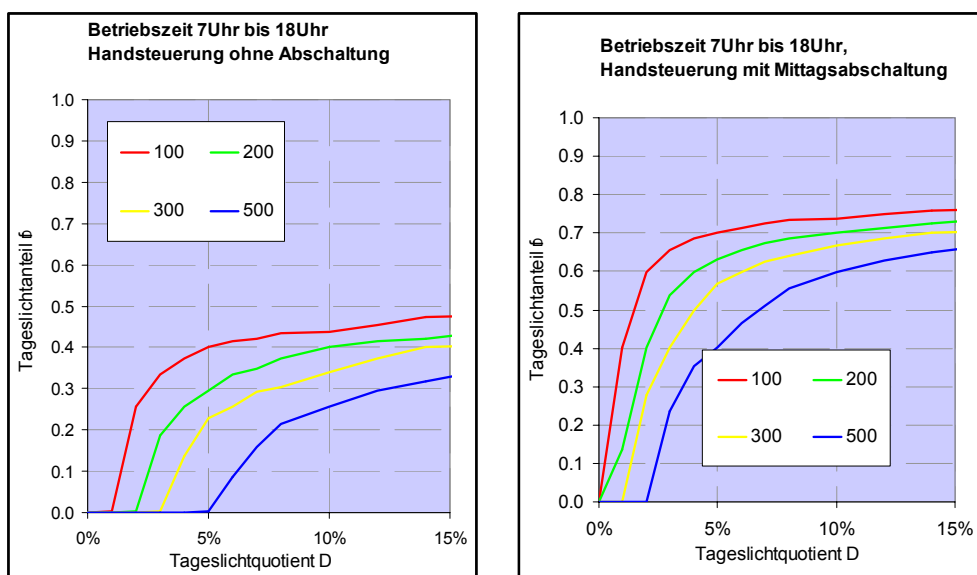


Abbildung 5.91 und 5.92: Tageslichtanteil in Funktion des Tageslichtquotienten für die Betriebszeit von 7 bis 18Uhr und verschiedene Beleuchtungsanforderungen, für die beiden Typen von Handsteuerung

5.5.4. Analytische Funktionen für die Kurven $f_D=f(D)$

Die Kurven, die sich so ergeben, werden mit der Funktion in Gleichung 5.11 angenähert und die Parametersätze dieser Funktion für alle nötigen Fälle bestimmt (Abbildung 5.93) :

$$f_D = \{a \cdot (1 - b \cdot e^{c \cdot D}); f_{Dmin}=0\}$$

Gleichung 5.11.

Betriebszeit = 7Uhr bis 18Uhr									
Anf. [lux]	Tageslichtsteuerung ein-aus			Handsteuerung o. Abschaltung			Handst. m. Mittags-Abschaltung		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
100	0.89	1	-70	0.47	1.40	-45	0.75	0.9	-65
200	0.85	1.4	-60	0.44	1.80	-35	0.72	1.2	-50
300	0.82	1.6	-50	0.42	2.1	-27	0.69	1.4	-40
500	0.80	1.8	-35	0.35	3.3	-25	0.65	1.8	-32

Abbildung 5.93 Parametersätze der Gleichung 5.11 für Betriebszeit 7Uhr bis 18Uhr

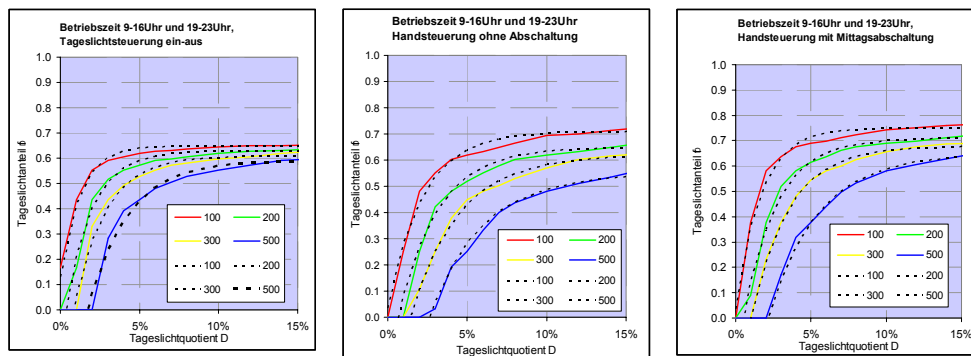
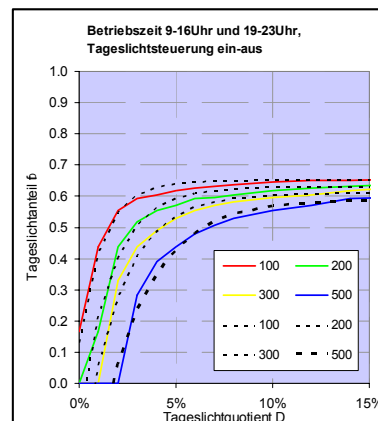


Abbildung 5.94: Übereinstimmung der Funktionen mit der analytischen Nachbildung nach Gleichung 5.11.

Grundsätzlich müssten nun für alle möglichen Betriebszeiten gemäss der Tabelle in Abbildung 5.2 solche Diagramme mit entsprechenden Parametersätzen ermittelt werden. Diese Arbeit kann nach der Festlegung der Nutzungstypen in der sia nachgeholt werden. Es wird in einem weiteren Schritt aber noch überprüft, ob sich das Modell auch eignet für „exotischere“ Betriebszeiten. Die Abbildungen 5.95. und 5.96. zeigen die Funktion f_D mit dem entsprechenden Parametersatz gemäss Gl. 5.11 für die beiden Betriebsphasen 9-16Uhr und 19-23Uhr bezogen auf die Tageslichtsteuerung „ein-aus“. Für die beiden Handsteuerungen zeigte sich, dass die Auswertungs-Algorithmen noch verfeinert werden müssten.

Betriebszeit = 9-16Uhr und 19-23Uhr			
Anf. [lux]	Tageslichtsteuerung ein-aus		
	a	b	c
100	0.65	0.8	-80
200	0.63	1.2	-60
300	0.61	1.5	-50
500	0.59	2	-40

Abbildung 5.95 und 5.96: Parametersätze der Gleichung 5.11 für Betriebszeit 9-16Uhr und 19-23Uhr mit entsprechender Grafik



5.5.5. Lichtsteuerung durch Präsenzmelder

Die Einsparungseffekte durch den Einbau von Präsenzmeldern sind stark abhängig von gesamten Steuerungskonzept. In Zonen mit hoher Aufenthaltsdichte, wo zudem noch Tageslichtsteuerungen eingesetzt werden, ist der relative Spareffekt viel geringer als in selten frequentierten Zonen mit Ein-Aus-Steuerung.

Eine Behandlung dieser Thematik ist in dieser Arbeit nicht vorgesehen.

6. Überprüfung des Modells

6.1. Vergleich der Volllaststunden-Berechnung in Abhängigkeit vom Tageslichtquotienten

Die Volllaststunden der Beleuchtung sind vom nutzbaren Tageslichtanteil f_D abhängig (Gleichung 5.10). Für f_D wird in Gleichung 5.11 eine Funktion angegeben, welche für verschiedene Beleuchtungssteuerungen je einen Parametersatz angibt. RELUX berechnet "nur" den Idealfall der Beleuchtungssteuerung mit optimaler tageslichtabhängiger Dimmung des Lichtes. Die Abbildung 6.1 zeigt den Vergleich der mit RELUX gerechneten optimalen Situation zur "ein-aus"-Steuerung, der besten Steuerung nach Kap. 5.5, für die Beleuchtungsniveaux 100Lux und 500Lux. Es resultieren relativ starke Abweichungen von bis zu +70% der Volllaststunden vom Idealfall RELUX zur "ein-aus-Steuerung". Diese Abweichungen spiegeln wohl nur zum Teil den Unterschied der "ein-aus"-Steuerung zur optimalen tageslichtabhängigen Regulierung, einen weiteren Anteil zur Differenz tragen möglicherweise die unterschiedliche Bewertung der Strahlungs- bzw. Aussenbeleuchtungsstärken bei. Eine Untersuchung dieser Umstände wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht gemacht, weil für das Berechnungsmodell von RELUX keine Grundlagen zur Verfügung standen. Es konnte auch nie geklärt werden, inwieweit die im "ein-aus"-Steuerungsmodell verwendete Umrechnung 100Lux pro (W/m^2) Diffusstrahlung die physikalische Wirklichkeit abbildet. Und RELUX stellt für die Tageslichtoptimierung nur den einen optimalen Algorithmus zur Verfügung.

Für einen echten Vergleich mit RELUX fehlt eine Ergänzung des Modells mit der kontinuierlichen tageslichtabhängigen Regulierung

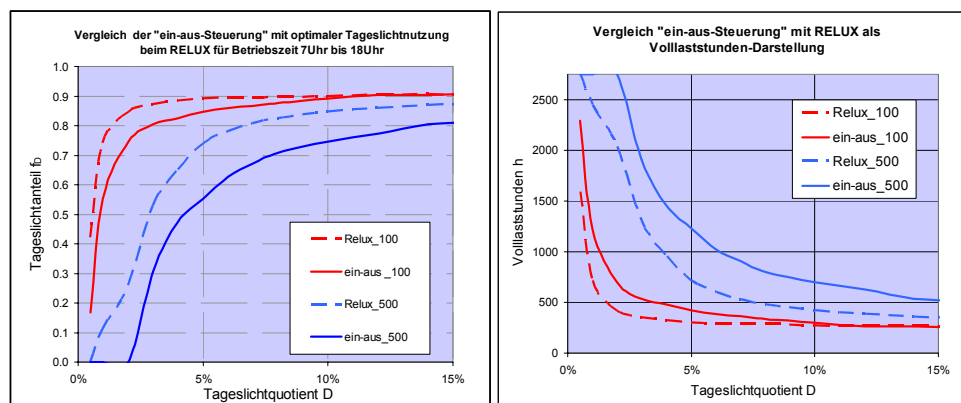


Abbildung 6.1: Vergleich Nutzung Tageslichtanteil und Volllaststunden vom Idealfall „Tageslichtsteuerung mit RELUX“ zur „Tageslichtsteuerung ein-aus“

In einem weiteren Entwicklungsschritt im Modell der Volllaststundenberechnung könnte (sollte) mit einer tageslichtabhängigen Steuerung eine Annäherung an die Resultate von RELUX erreicht werden.

6.2. Überprüfung der Berechnungen vom Tageslichtquotienten

Es wäre wünschbar und sinnvoll, im vorgestellten Modell den Einfluss der untersuchten Parameter und Kombinationen davon auf die Volllaststunden mit analogen Simulationen von RELUX zu vergleichen. Die entsprechenden Versuche wurden jedoch abgebrochen, weil Volllaststundenrechnung allein zu grosse Differenzen erzeugt, wie dies in Kap. 6.1 erläutert ist. Die durchgeführten Prüfungen von Kombinationen verschiedener Parameter (Überlagerung) beschränkten sich deshalb auf die Beobachtung des Einflusses auf den Tageslichtquotienten.

Für die Berechnung der Tageslichtquotienten in Abhängigkeit der untersuchten Parameter wurde eine EXCEL-Tabelle konstruiert (s. Abbildung 6.2). Die dargestellte Tabelle zeigt die Kombinationen für die Überprüfung der Variation von Transmission und Fenstergrösse exemplarisch auf.

Glas-zu Fassaden- Verhältnis	Zone	Bel.- Niveau	h_n	k red_Trans- mission	k Fenster- sturz	k sonnen- schutz	k balkon	k umgebungs- ebauung	k innen- raum	k raum- breite	k raum- höhe	$D=f(A_g/A_b)$	$D_{korrigiert}$
[%]	(1.4;2.9;4.6)	500Lx;300Lx	[h]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]	[%]
54.00%	1.4	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.5	8.5
54.00%	2.9	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.9	2.9
54.00%	4.6	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.2	1.2
54.00%	1.4	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.5	6.1
54.00%	2.9	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.9	2.1
54.00%	4.6	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.2	0.86
54.00%	1.4	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	8.5	3.6
54.00%	2.9	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.9	1.2
54.00%	4.6	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.2	0.51
25.00%	1.4	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.3	4.3
25.00%	2.9	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.5	1.5
25.00%	4.6	500	2750	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.6	0.6
25.00%	1.4	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.3	3.0
25.00%	2.9	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.5	1.0
25.00%	4.6	500	2750	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.6	0.43
25.00%	1.4	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.3	1.8
25.00%	2.9	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.5	0.6
25.00%	4.6	500	2750	0.43	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.6	0.26

Abbildung 6.2 Beispiel : EXCEL-Tabelle für Kontrollrechnungen

6.2.1. Variation Transmission und Fenstergrösse

In Gleichung 5.3 wurde eine lineare Abhängigkeit von der Lichtdurchlässigkeit der Scheiben vorgegeben, ohne diese mit Simulationen zu verifizieren. Die in Abbildung 6.3 gezeigten Resultate dienen in erster Linie der Überprüfung dieser Annahme. Beim optimalen Fensteranteil von 54% der Fassadenfläche zeigt sich, dass die Annahme der linearen Abhängigkeit genügt. Aufgrund diverser nichtlinearer Phänomene bei der Strahlungsausbreitung ist die effektive Abhängigkeit etwas unterproportional, was beim kleineren Glasanteil noch stärker zutage tritt.

		Fensterabstand		
		1.4m	2.9m	4.6m
Glasant. 54% + Transm. 70%	Relux	8.8	2.9	1.3
	Modell 380/4	8.5	2.9	1.2
	Abweichung	-3%	0%	-8%
Glasant. 54% + Transm. 50%	Relux	6.3	2.1	0.9
	Modell 380/4	6.2	2.1	0.86
	Abweichung	-2%	0%	-4%
Glasant. 54% + Transm. 30%	Relux	3.9	1.3	0.6
	Modell 380/4	3.6	1.2	0.51
	Abweichung	-8%	-8%	-15%
Glasant. 25% + Transm. 70%	Relux	4.79	1.77	0.73
	Modell 380/4	4.3	1.5	0.6
	Abweichung	-10%	-15%	-18%
Glasant. 25% + Transm. 50%	Relux	3.45	1.28	0.53
	Modell 380/4	3.0	1.0	0.43
	Abweichung	-13%	-22%	-19%
Glasant. 25% + Transm. 30%	Relux	2.09	0.77	0.32
	Modell 380/4	1.8	0.6	0.26
	Abweichung	-14%	-22%	-19%

Abbildung 6.1 Vergleich Resultate RELUX mit Modell 380/4 für eine Kombination von Korrekturen für Scheiben-Transmissionsgrad und Fenstergrösse

6.2.2. Kombination von Balkontiefe und Fenstersturz

Die in der Abbildung 6.4 dargestellten Resultate zeigen den Vergleich der Kombination des schmalen Balkons mit dem Fenstersturz. Dabei ist ein Phänomen zu beobachten, das auch bei anderen, qualitaiv untersuchten, Kombinationen festgestellt worden ist. In der Überlagerung von verschiedenen Parametern ist die Abschwächung durch das Modell vor allem bei grösserem Fensterabstand zu stark. Bei der Zone nahe beim Fenster kann im allgemeinen vom guten Funktionieren des Modells ausgegangen werden.

**Modell bewertet
fensternahe Zone gut**

		Fensterabstand		
		1.4m	2.9m	4.6m
Balkontiefe 80cm Sturzhöhe 25cm	Relux	6.2	1.95	1.0
	Modell 380/4	6.2	2.1	0.90
	Abweichung	0%	8%	-10%
Balkontiefe 80cm Sturzhöhe 55cm	Relux	4.6	1.55	0.90
	Modell 380/4	5.0	1.7	0.70
	Abweichung	9%	10%	-22%
Balkontiefe 2m Sturzhöhe 25cm	Relux	3.7	1.6	0.95
	Modell 380/4	4.4	1.5	0.62
	Abweichung	19%	-6%	-35%
Balkontiefe 2m Sturzhöhe 55cm	Relux	3.8	1.5	0.90
	Modell 380/4	3.6	1.2	0.50
	Abweichung	-5%	-20%	-44%

Abbildung 6.2 Vergleich Resultate RELUX mit Modell 380/4 für eine Kombination der Parameter Balkontiefe und Fenstersturz

7. Literaturverzeichnis

- [1] Anwendungsinstrument zu SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau, Teil Beleuchtung
- [2] SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau, Entwurf vom 17.5.03, Kapitel 5. Beleuchtung
- [3] Nomogramme zur Berechnung des Tageslichtanteils aus : LEE, Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau, von Dr. Detlef Hennings, IWU Darmstadt
- [4] "Modul zur Berechnung des Tageslichtanteils und des elektrischen Energiebedarfs der Beleuchtung", Beschreibung und Benutzungsanleitung von Dr. Detlef Hennings, IWU Darmstadt
- [5] RELUX VISION 1.0, Erste Schritte, Handbuch der RELUX Informatik AG, Basel
- [6] RELUX PROFESSIONAL 3.0, Erste Schritte, Handbuch der RELUX Informatik AG, Basel
- [7] SWKI RICHTLINIE 95-3, "Jährlicher Energiebedarf von Lüftungstechnischen Anlagen", 11/2001
- [8] "Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht", SN 418911, 1989, Herausgeber SEV