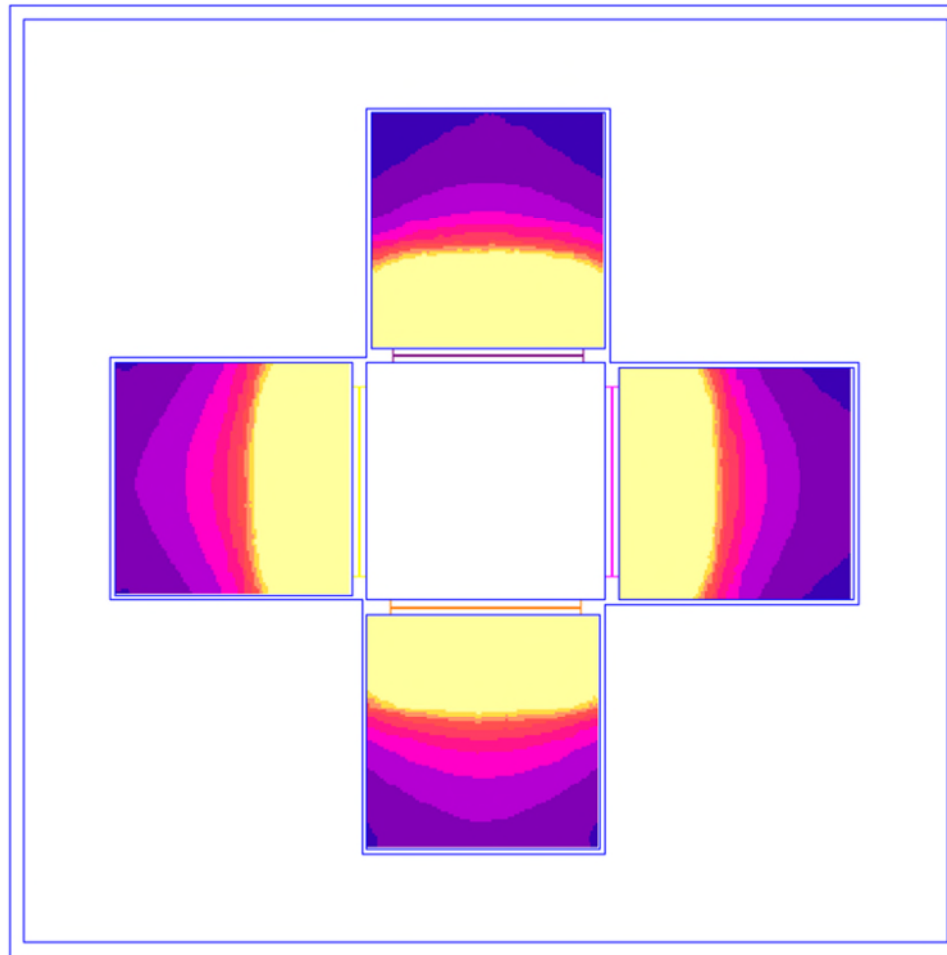


Innenhöfe als Lärmschutz – Tageslicht für Räume zum Innenhof Untersuchungen mittels Simulationen

Version 01 | Stand: 26.03.2019

DF [%]



Impressum

Thema

Innenhöfe als Lärmschutz

Auftraggeber

Kanton Zürich, Baudirektion
Tiefbauamt
Fachstelle Lärmschutz
Walcheplatz 2
8090 Zürich

Herr Eisenring
Herr Gastberger

Dynamische Gebäudesimulationen

Lemon Consult AG
Sumatrastrasse 10
CH-8006 Zürich
Tel. +41 44 200 77 44

Dr. Sarah Leenknecht, MSc. Architektur/PhD Bauphysik	Projektleiterin
Heinrich Hörth, Dipl.-Ing. (FH)	QS

Dokument

23171_BER_InnenhöfeLärmschutz_Zürich_Tageslicht_20190326.docx

Zürich, 27.03.2019

Inhalt

1. Ausgangssituation	4
1.1. Ausgangslage	4
1.2. Zielsetzung	4
1.3. Vorgehen	4
2. Grundlagen: Tageslichtbewertung und Methodik	5
2.1. Grundlagen der Tageslichtbewertung	5
2.2. Simulationsmodell	7
2.3. Parameterstudie	7
2.4. Modellierung Innenhof	8
3. Modellierung	9
3.1. Standort und Wetterdaten	9
3.2. Simulationsvarianten	9
3.3. Zonierung	9
3.4. Bauteile	9
3.5. Anforderungen und Auswertung	9
4. Resultate	13
4.1. Bewertung nach DIN 5034-1:2011	13
4.2. Bewertung nach DGNB Schweiz	15
4.3. Mittlerer Tageslichtquotient	17
4.4. Visualisierung des Tageslichtquotienten	19
5. Erkenntnisse	21
5.1. Erkenntnisse	21
5.2. Einfluss der Parameter	21
5.3. Empfehlungen	22
6. Anhang	25
6.1. Sensitivität der Annahmen	25
6.2. Visualisierung der Tageslichtquotienten	26

1. Ausgangssituation

Die Tageslichtverfügbarkeit in Wohneinheiten angrenzend an Innenhöfe wird ermittelt. Aus den Erkenntnissen werden Empfehlungen hinsichtlich der Anforderungen an Innenhöfe abgeleitet.

1.1. Ausgangslage

In Lagen mit hoher Lärmbelastung ist die Nutzung von Fenstern zur Lüftung von Wohnungen problematisch. Bei Gebäuden mit Innenhöfen können Lüftungsfenster auf der Innenhofseite eine Lösung bieten. Hier ist die Lärmbelastung meistens deutlich geringer.

Bezüglich der Abmessungen des Innenhofs müssen zwei Kriterien berücksichtigt werden.

- Um eine hinreichend gute Durchlüftung des Innenhofes zu gewährleisten, müssen die Abmessungen eines Innenhofs minimale Anforderungen einhalten.
- Das zweite Kriterium hinsichtlich der Geometrie des Innenhofs ist die Tageslichtverfügbarkeit.

In der bisherigen Praxis werden von der Fachstelle Lärmschutz des Kantons Zürich mittels einer Tabelle die Anforderungen an einen Innenhof hinsichtlich Tageslicht zusammengefasst (Tab. 1). Grundsätzlich wird in der bisherigen Vollzugspraxis ein „Höhe zu Breite Verhältnis“ ($AR = H/B$) von ≤ 1.2 gefordert.

1.2. Zielsetzung

Die bisherige Vollzugspraxis mit Bezug auf den Grenzwert für AR soll überprüft werden.

Tab. 1: Tabelle für die Bewertung von Innenhöfen für Belüftung und Beleuchtung nach bisheriger Vollzugspraxis (rot = massgebend für min. Fläche/Breite)

Gebäude		Belüftung und Beleuchtung		
Geschosse	Wohneinh./ Geschoss	min. Fläche	min. Breite	AR
Anzahl	Anzahl	m ²	m	-
1	1	9	3.0	0.9
1	> 1	16	4.0	0.7
2	1	36	4.5	1.2
2	> 1	36	4.5	1.2
3		81	7.0	1.2
4		144	9.5	1.2
5		225	12.0	1.2
6		324	14.0	1.2
7		441	16.0	1.2
8		576	18.0	1.2

1.3. Vorgehen

Damit eine allgemeine Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit in Innenhöfen möglich ist und die relevanten Kriterien ermittelt werden können, wird eine Parameterstudie mittels Tageslichtsimulation durchgeführt.

Die Grundlage für die Tageslichtbewertung und die Methodik dieser Studie wird im nächsten Abschnitt erläutert. Die Parameterstudie wird in den Abschnitten 3 bis 5 dargestellt. Die Randbedingungen zu den Tageslichtsimulationen sind in Abschnitt 3 und die Ergebnisse in Abschnitt 4 dokumentiert. Eine Zusammenfassung der Erkenntnisse ist im Abschnitt 5 enthalten.

2. Grundlagen: Tageslichtbewertung und Methodik

Die Grundlagen beschreiben die normative Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit, das Simulationsmodell und die Methodik dieser Studie.

2.1. Grundlagen der Tageslichtbewertung

Die Bewertung der Simulationsergebnisse muss mittels begründeter quantitativer Kriterien erfolgen. Eine Übersicht der normativen Anforderungen hinsichtlich Tageslicht kann im «Faktenblatt Tageslicht» von der Initiative «Gutes Wohnen» gefunden werden. Hier werden die relevanten Punkte zusammengefasst.

Gutes Tageslicht ist wichtig für unser Wohlbefinden, Leistungsfähigkeit und Gesundheit. Da wir zu 90 % unserer Zeit in geschlossenen Räumen verbringen, ist es enorm wichtig, durch gute Tageslichtplanung in unseren Wohnhäusern eine optimale Tageslichtqualität sicherzustellen.

In der Schweiz sind kaum normative Anhaltspunkte für die Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit vorhanden.

- In Kanton Zürich werden im Planungs- und Baugesetz (PBG) minimale Anforderungen an die Fenster für Wohn- und Schlafräume formuliert.
- Eine Bewertung des visuellen Komforts ist bei der Zertifizierung nach SGNI (DGNB Schweiz) zu finden.

Weitere Anhaltspunkte sind in Deutschland und in EU verfügbar.

- Eine Faustformel für Glasanteil zu Raumfläche ist in den Musterbauverordnungen/Landesbauverordnungen gegeben.
- Eine allgemeine Bewertung der Tageslichtqualität für Wohnen und Arbeiten ist in DIN 5034-1:2011 zu finden.
- In der Arbeitsstättenverordnung werden für Arbeitsplätze minimale Tageslichtquotienten gefordert.
- Die EU-Norm prEN 17037 ist in Entwicklung und spiegelt den aktuellen Stand des Wissens der europäischen Experten zum Tageslichtbedarf wider.

2.1.1. Planungs- und Baugesetz (PBG) Kanton Zürich: Wohnen

In Abschnitten 301 und 302 vom PBG Kanton Zürich wird die Besonnung, Belichtung und Belüftung behandelt. Wohn- und Schlafräume sind mit Fenstern zu versehen, die über dem Erdreich liegen, ins Freie führen und in ausreichendem Masse geöffnet werden können; die Fensterfläche hat wenigstens einen Zehntel der Bodenfläche zu betragen. Abweichungen sind bei besonderen Verhältnissen zulässig.

Belichtung über Innenhöfe wird nicht konkret berücksichtigt. Im Baurekursgerichtssentscheid BRKE II Nr. 52/2001 werden Räume wo das natürliche Licht nicht ungehindert einfallen kann behandelt. Nach PBG § 271 wird ein Mindestgebäudeabstand von 7 m gefordert. Es kann ein Näherbaurecht erlaubt werden. Bis zu welchem Abstand die Wohnhygiene noch gewährleistet ist und ein gegen ein nah stehendes Gebäude orientierter, befensterter Raum genügend belichtet ist, konnte nicht ohne weiteres abstrakt bestimmt werden.

2.1.2. SGNI SOC 1.4 Visueller Komfort: Wohnen

In Indikator 1 vom SGNI SOC 1.4 Kriterium zum visuellen Komfort wird die Tageslichtverfügbarkeit für das Gesamtgebäude bewertet. Der Tageslichtquotient wird berechnet. Die Tageslichtverfügbarkeit des Indikators 1 wird gemäss Tab. 2 bewertet. Die zu bewertende Fläche enthält Wohnräume (inkl. Küchen), Schlafzimmer, Gemeinschaftsräume, Pausenräume, Warteräume, Speiseräume. DF wird bewertet auf einer Höhe von 0.8 m. Punkte werden erst erteilt, wenn 50 % der Bewertungsfläche einen $DF \geq 1.0 \%$ hat. Die maximale Punktzahl wird bei $DF \geq 2.0 \%$ bekommen.

Tab. 2: Bewertung des Indikators 1 – SGNI SOC 1.4 Visueller Komfort

50 % der Bewertungsfläche hat einen Tageslichtquotient (DF) in Höhe von

DF < 1.0 %	0 CLP
DF ≥ 1.0 %	20 CLP
DF ≥ 1.5 %	30 CLP
DF ≥ 2.0 %	40 CLP

2.1.3. Musterbauverordnung/Landesbauverordnung DE

In Deutschland hat die Musterbauordnung einen erheblichen Einfluss auf die Baupraxis, denn 3/4 der Bundesländer übernehmen für Wohnbauten die folgende Faustformel zum prozentualen Fensterflächenanteil zur Grundfläche in ihre Landesbauordnungen:

«Aufenthaltsräume müssen ausreichend belüftet und mit Tageslicht belichtet werden können. Sie müssen Fenster mit einem Rohbaumaß der Fensteröffnungen von mindestens 1/8 der Netto-Grundfläche des Raumes einschließlich der Netto-Grundfläche verglaster Vorbauten und Loggien haben.»

Die verbleibenden Bundesländer stellen noch geringere Anforderungen an Fensteranteile. Die 1/8 Faustformel existiert bereits in ähnlicher Form seit 1960 und wurde seitdem nur wenig angepasst. Die zunehmende urbane Verdichtung oder die Tageslichtbeeinträchtigung in unteren Geschossen bleiben unberücksichtigt.

2.1.4. DIN 5034-1:2011: Wohnen

In der Deutschen Norm DIN 5034-1:2011 (nicht rechtlich verbindlich) werden Anforderungen für die Tageslichtbeleuchtung gefunden. Zum Gewährleisten einer ausreichenden Tageslichtbeleuchtung werden zwei Punkte im Raum betrachtet. Der Tageslichtquotient auf einer horizontalen Bezugsebene, gemessen in einer Höhe von 0.85 m über dem Fußboden in halber Raumtiefe und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden soll im Mittel wenigstens 0.9 % und am ungünstigsten dieser Punkte wenigstens 0.75 % betragen.

2.1.5. Arbeitsstättenverordnung Deutschland: Arbeitsplätze

Die ASR A3.4 fordert einen Tageslichtquotienten von mindestens 2 %, beim Einsatz von Dachoberlichtern mindestens 4 % oder ein Verhältnis von lichtdurchlässiger Fenster-, Tür- oder Wandfläche bzw. Oberlichtfläche von mindestens 1:10 (entspricht ca. 1:8 Rohbaumaße).

2.1.6. prEN 17037:2016-08

Der Entwurf zur europäischen Norm prEN 17037:2016-08 ist seit 2010 in der Entwicklung und seit Ende Oktober 2016 im Europäischen Umfrageverfahren. Im Gegensatz zur deutschen Norm DIN 5034-1 wird der Ansatz der „Daylight autonomy“ (Tageslichtautonomie) favorisiert, da reine Tageslichtquotienten bei bedecktem Himmel ohne Zusammenhang zur Tageslichtautonomie als nicht mehr zeitgemäß eingestuft werden.

Die prEN 17037:2016-08 gilt für „alle Räume, die regelmäßig für längere Zeiträume genutzt werden, sofern das Tageslicht nicht Art und Aufgabe der Arbeit widerspricht“. Aus Sicht der Tageslichtautonomie wird eine Beleuchtungsstärke von mindestens 300 Lux empfohlen, die über 50 % des Raumes zu 50 % der Tageslichtstunden gewährleistet sein muss. Aus der Mindestempfehlung von 300 Lux ergeben sich für die 33 Hauptstädte der nationalen Mitglieder des Europäischen Komitees für Normung Mindestwerte für den Tageslichtquotienten. Für Deutschland (Berlin) beträgt der Mindestwert für den Tageslichtquotienten 2.2 %.

In «Tageslichtangebot in Deutschen Gebäuden» von Ecofys (2017) wird die Faustformel der Musterbauverordnung DE auf Grundlage des Entwurfs zur Norm prEN 17037:2016-08 überprüft. Als Untersuchungsobjekt dient ein Raum (5 m x 4 m) mit einem Fensteranteil gemäß Musterbauordnung. Der Untersuchungsraum befindet sich im 1. OG und wird durch eine gegenüberliegende Mehrfamilienhauszeile (Abstand ca. 14 m) verschattet. Die Simulationsergebnisse zum Tageslichtquotienten werden mit den Mindestwerten dieser Norm verglichen.

Unter Anwendung der 1/8-Faustformel wird bei Weitem nicht der Mindestwert für den Tageslichtquotienten der prEN 17037:2016 erfüllt. Erst indem die Faustformel für das Rohbaumaß der Fenster auf etwa 1/4 der Grundfläche des Raumes verdoppelt wird, genügt den Anforderungen an eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht gemäß Normenentwurf.

Auf Grundlage der Simulationsergebnisse wäre eine Verdopplung der Faustformel gemäß Musterbauordnung für das Rohbaumaß der Fenster von 1/8 auf 1/4 der Grundfläche des Raumes anzuraten.

2.1.7. Fazit

Die Bewertung der Simulationsergebnisse in der vorliegenden Studie wird mittels der folgenden Kriterien erfolgen:

- DIN 5034-1:2011
- SGNi SOC 1.4 Indikator 1
- Mittlerer Tageslichtquotient von Minimum 1.5 %

Gemäss der obigen Zusammenfassung entsprechen diesen Kriterien eher den minimalen Anforderungen hinsichtlich Tageslichtverfügbarkeit für Aufenthaltsräume. Eine Berechnung der Tageslichtautonomie nach prEN 17037:2016-08 liegt nicht im Rahmen dieser Studie.

2.2. Simulationsmodell

Die Untersuchung wird mit dem Simulationsprogramm TAS Version 9.4.2 durchgeführt. TAS ist ein weltweit anerkanntes und mehrfach validiertes (ASHRAE 140-1, EN ISO 13791, EN ISO 15255 CIE 171:2006) und zertifiziertes (LEED, BREEAM) Gebäudesimulationsprogramm für die Entwicklung nachhaltiger und energieeffizienter Gebäude. Die Tageslichtberechnung in TAS wurde gemäss der Norm CIE 171:2006 validiert.

Das Tageslicht wird mittels dem Tageslichtquotient (DF) bewertet. DF ist definiert als das Verhältnis der Beleuchtungsstärke in einem Punkt einer gegebenen Ebene, die durch direktes oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichtverteilung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien bei unverbaute Himmelskugel.

Nur die Beleuchtung des bewölkten Himmels wird berücksichtigt (CIE Overcast Sky Modell). Die CIE definiert diesen Zustand als Standardhimmel mit einer vollständig geschlossenen Wolkendecke. Die Anteile des direkten Sonnenlichtes bleiben hierbei unberücksichtigt (siehe DIN EN 12665:2002). Das Ergebnis ist unabhängig von der simulierten Uhrzeit, Lage und Ausrichtung.

2.3. Parameterstudie

Das Tageslicht wird für Räume im EG von ca. 24.5 m² mit einer Fassadenbreite von 5 m, eine Raumtiefe von 5 m und einer Raumhöhe von 2.6 m ermittelt.

Die Abhängigkeit der Tageslichtverfügbarkeit wird für drei Parameter ermittelt:

- Parameter 1: Fensteranteil nach Höhe der Verglasung mit 4 Optionen
- Parameter 2: Innenhofbreite B mit 4 Optionen
- Parameter 3: AR-Wert Innenhof mit 7 Optionen

Insgesamt entstehen 96 Räume, angrenzend am Innenhof, in denen die Tageslichtverfügbarkeit berechnet wird. Zusätzlich werden 4 Referenzräume definiert. Diese Räume haben unterschiedliche Fensteranteile aber werden nicht von einem Innenhof verschattet.

2.3.1. Parameter 1: Fensteranteil

In DIN 5034-1:2011 werden Anforderungen hinsichtlich der Sichtverbindung nach Aussen formuliert. Zum Gewährleisten einer möglichst ungehinderten Sichtverbindung nach Aussen müssen minimale Anforderungen an den Abmessungen und Einbau von Fenstern erfüllt werden:

- Die Unterkante der durchsichtigen Verglasung des Fensters soll höchstens 0.95 m betragen.
- Die Oberkante der durchsichtigen Verglasung des Fensters soll mindestens 2.2 m über dem Fussboden liegen
- Bei überwiegend sitzender Tätigkeit soll die Höhe der durchsichtigen Verglasung mindestens 1.25 m betragen.
- Minimale Breite der durchsichtigen Verglasung gleich 55 % der Raumbreite

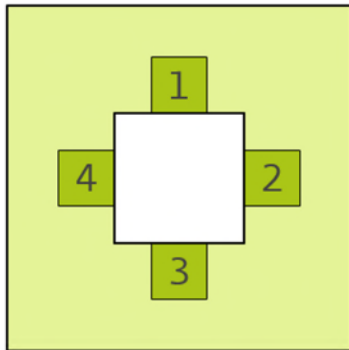
Die Anforderungen hinsichtlich der Höhen wurden in der Parameterstudie als minimale Abmessung der durchsichtigen Verglasung des Fensters angesetzt. Es werden 4 Fenstergrössen berücksichtigt:

- Die Oberkante der durchsichtigen Verglasung bleibt bei 2.2 m über dem Fussboden. Der Einfluss dieser Annahme ist im Anhang im Abschnitt 6.1 dargestellt.
- Als minimale Fensterhöhenanforderung wird 1.25 m nach DIN 5034-1:2011 angesetzt.
- Die Höhe der Verglasung wird schrittweise um 25 cm bis maximal 2 m erhöht.

- Die Fensterbreite wird mit 4 m auf 80 % statt 55 % der Raumbreite gewählt, indem das Glasfläche-zu-Raumfläche Verhältnis ca. 20 % ist und so einer klassischen Faustregel entspricht. Ausserdem sind in einer Innenhofsituation allgemein die Glasflächen grösser als minimal erforderlich einzusetzen.

Abb. 1: Grundriss – Modellierung der Varianten hinsichtlich Fenstergrösse

Mit Innenhofverschattung



Ohne Innenhofverschattung

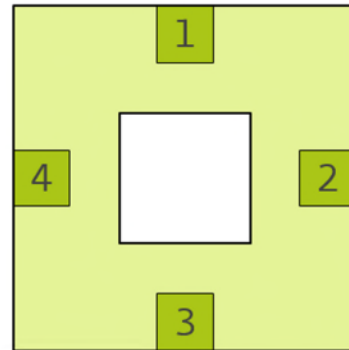
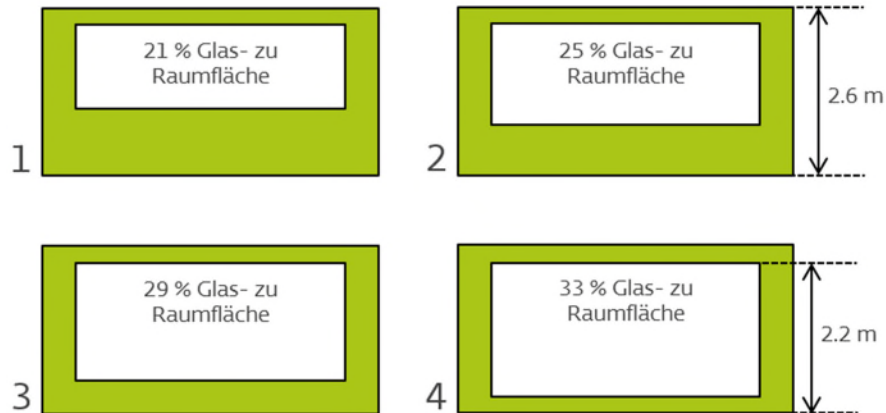


Abb. 2: Ansicht Innenseite Raum zur Fassade – 4 Varianten hinsichtlich Fenstergrösse



2.3.2. Parameter 2: Innenhofbreite B

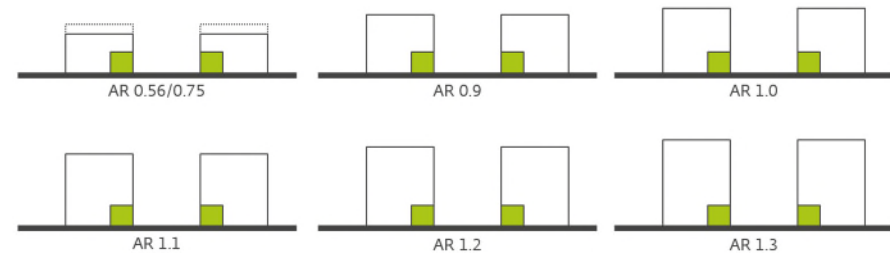
Es werden 4 Varianten hinsichtlich der Innenhofbreite B berücksichtigt: 5 m, 7.5 m, 10 m und 15 m.

Die Gebäudetiefe ist nicht relevant für die Tageslichtermittlung.

2.3.3. Parameter 3: AR-Wert

Es werden 7 Stufen für den AR-Wert berücksichtigt.

Abb. 3: Varianten hinsichtlich AR-Wert



2.4. Modellierung Innenhof

Die ermittelten Räume werden im kritischsten Geschoss EG angeordnet. Die Räume in den oberen Geschossen wurden nicht modelliert.

Eine Teilverglasung der Innenhoffassade wurde mit den folgenden Annahmen berücksichtigt:

- Verglasung mit 70 %
- Rahmen/Aussenwand mit 30 %

Aufgrund des hohen angesetzten Verglasungsanteil des Innenhofs ist die Bewertung eher konservativ. Der Einfluss dieser Annahme ist im Anhang in Abschnitt 6.1 dargestellt.

3. Modellierung

In einer Parameterstudie wird der Tageslichtquotient DF in den 100 Räumen berechnet.

3.1. Standort und Wetterdaten

Der Tageslichtquotient wird mit dem «CIE overcast sky» Modell berechnet.

3.2. Simulationsvarianten

Es werden 96 Fälle mit Varianten hinsichtlich Fenstergrösse, AR-Wert und Innenhofbreite modelliert und berechnet. 4 Fälle wurden ausserhalb des Innenhofs als Referenzfall berechnet. Die Varianten sind in Tab. 4 aufgelistet.

3.3. Zonierung

Jede Zone hat eine Breite und Tiefe von je ca. 5 m. Die Raumfläche, unter Berücksichtigung der Wanddicke, ist ca. 24.5 m². Die Raumhöhe ist 2.6 m. Die Geschosshöhe ist mit 2.8 m angesetzt. Die Räume werden im EG angeordnet.

Pro Simulationsmodell werden 4 Zonen simuliert, unterschiedlich hinsichtlich Fensterfläche. Die Berechnung des Tageslichtquotienten ist unabhängig von der Ausrichtung. Die Zonierung ist in Abb. 4 ersichtlich.

3.4. Bauteile

Die angesetzten Reflektion- und Transmissionswerte entsprechen Standardwerte und sind hier zusammengefasst.

Tab. 3: Reflektion/Transmission

Nr.	Bauteil	Reflektion	Transmission	Beispiel
1	Boden Aussen	20 %	/	Steinpflaster, Strassenbelag
2	Aussenwand	50 %	/	Beton hellgrau, Holz hell
3	Innenwände	50 %	/	Putz gemalt hellgrau
4	Decke	80 %	/	Putz gemalt weiss
5	Boden	30 %	/	Steinplatte hell, Holz leicht poliert
6	Verglasung	20 %	70 %	3-Fach Verglasung g 0.45

3.5. Anforderungen und Auswertung

Die normative Bewertung der Tageslichtverfügbarkeit wird in Abschnitt 2.1 zusammengefasst. Der Tageslichtquotient wird auf einer Höhe von 80 cm ausgewertet.

Tab. 4: Auflistung der Geometrievarianten

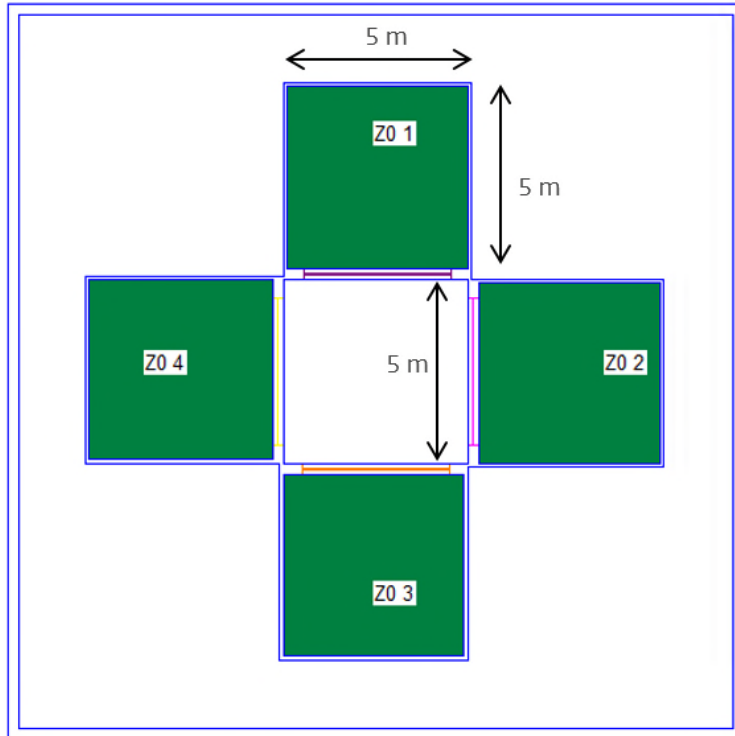
Nr.	Innenhofbreite B [m]	AR-Wert [-]	Glas-zu-Raumfläche [%]
1	5	0.56	21%
2	5	0.56	25%
3	5	0.56	29%
4	5	0.56	33%
5	5	0.9	21%
6	5	0.9	25%
7	5	0.9	29%
8	5	0.9	33%
9	5	1	21%
10	5	1	25%
11	5	1	29%
12	5	1	33%
13	5	1.1	21%
14	5	1.1	25%
15	5	1.1	29%
16	5	1.1	33%
17	5	1.2	21%
18	5	1.2	25%
19	5	1.2	29%
20	5	1.2	33%
21	5	1.3	21%
22	5	1.3	25%
23	5	1.3	29%
24	5	1.3	33%
25	7.5	0.75	0%
26	7.5	0.75	0%
27	7.5	0.75	0%

Nr.	Innenhofbreite B [m]	AR-Wert [-]	Glas-zu-Raumfläche [%]
28	7.5	0.75	0%
29	7.5	0.9	21%
30	7.5	0.9	25%
31	7.5	0.9	29%
32	7.5	0.9	33%
33	7.5	1	21%
34	7.5	1	25%
35	7.5	1	29%
36	7.5	1	33%
37	7.5	1.1	21%
38	7.5	1.1	25%
39	7.5	1.1	29%
40	7.5	1.1	33%
41	7.5	1.2	21%
42	7.5	1.2	25%
43	7.5	1.2	29%
44	7.5	1.2	33%
45	7.5	1.3	21%
46	7.5	1.3	25%
47	7.5	1.3	29%
48	7.5	1.3	33%
49	10	0.56	21%
50	10	0.56	25%
51	10	0.56	29%
52	10	0.56	33%
53	10	0.9	21%
54	10	0.9	25%
55	10	0.9	29%
56	10	0.9	33%
57	10	1	21%
58	10	1	25%
59	10	1	29%
60	10	1	33%
61	10	1.1	21%
62	10	1.1	25%
63	10	1.1	29%
64	10	1.1	33%

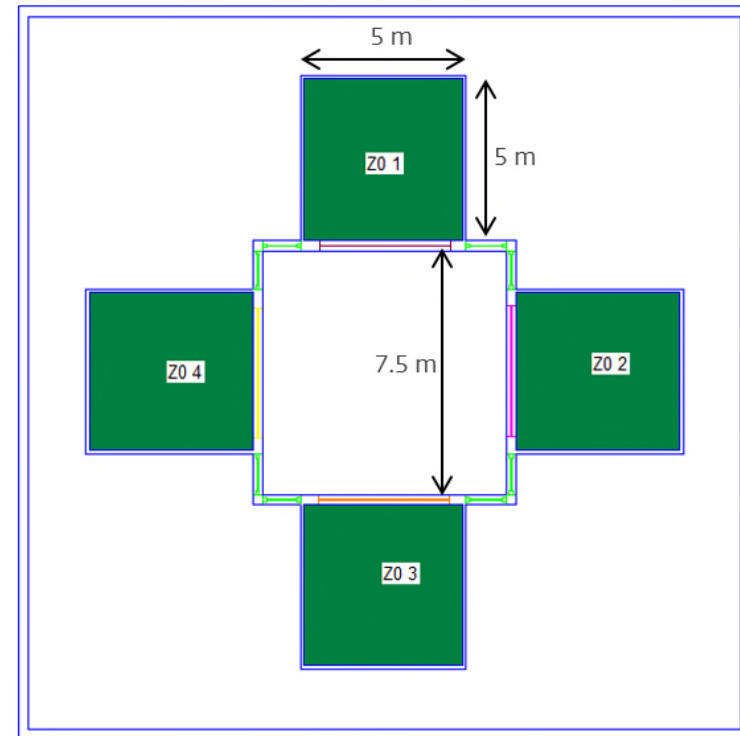
Nr.	Innenhofbreite B [m]	AR-Wert [-]	Glas-zu-Raumfläche [%]
65	10	1.2	21%
66	10	1.2	25%
67	10	1.2	29%
68	10	1.2	33%
69	10	1.3	21%
70	10	1.3	25%
71	10	1.3	29%
72	10	1.3	33%
73	15	0.56	21%
74	15	0.56	25%
75	15	0.56	29%
76	15	0.56	33%
77	15	0.9	21%
78	15	0.9	25%
79	15	0.9	29%
80	15	0.9	33%
81	15	1	21%
82	15	1	25%
83	15	1	29%
84	15	1	33%
85	15	1.1	21%
86	15	1.1	25%
87	15	1.1	29%
88	15	1.1	33%
89	15	1.2	21%
90	15	1.2	25%
91	15	1.2	29%
92	15	1.2	33%
93	15	1.3	21%
94	15	1.3	25%
95	15	1.3	29%
96	15	1.3	33%
97	Aussenfassade	/	21%
98	Aussenfassade	/	25%
99	Aussenfassade	/	29%
100	Aussenfassade	/	33%

Abb. 4: Zonierung

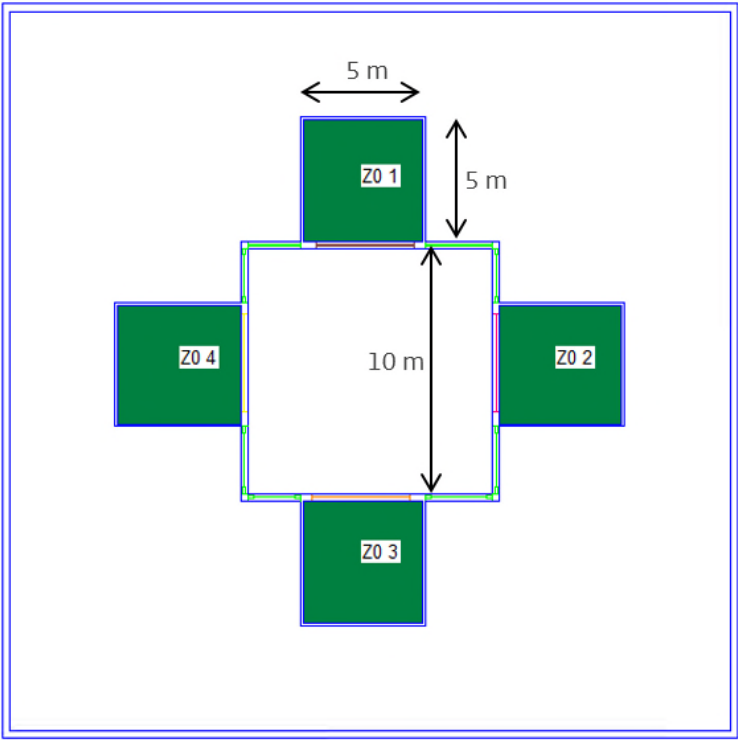
Innenhofbreite 5 m



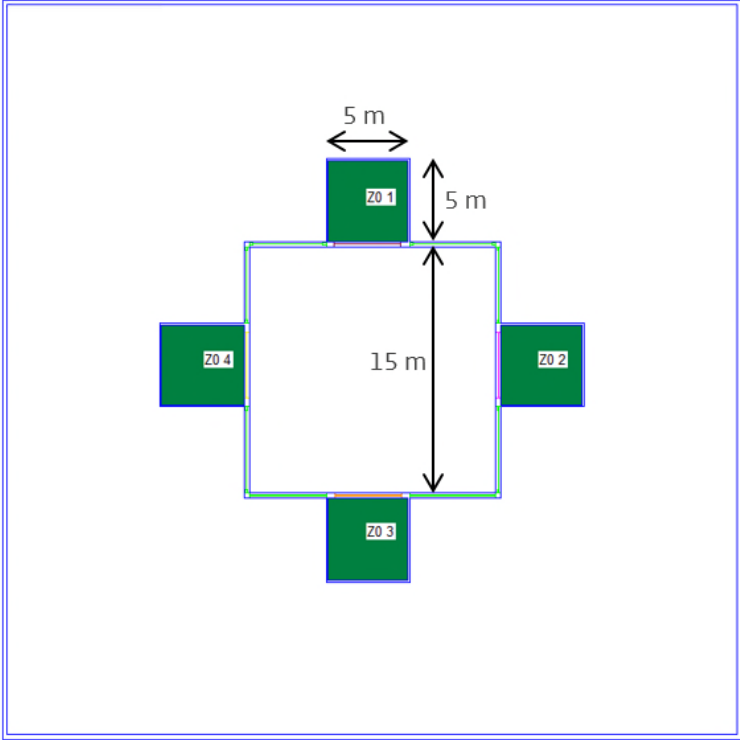
Innenhofbreite 7.5 m



Innenhofbreite 10 m



Innenhofbreite 15 m



4. Resultate

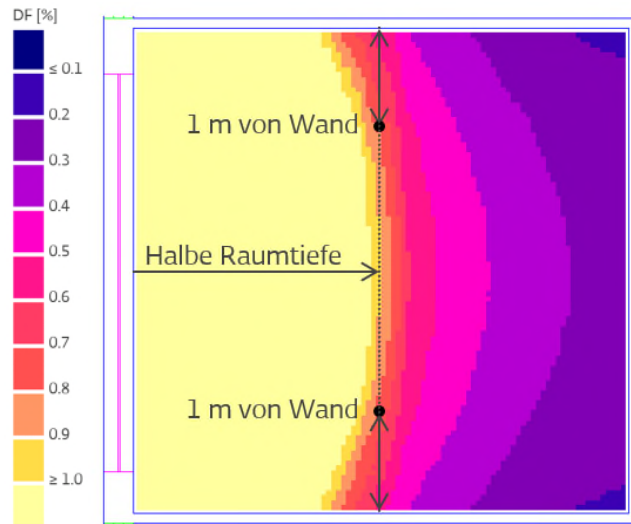
Zur Auswertung der Tageslichtsimulation wurde für 100 Varianten der Tageslichtquotient untersucht und dargestellt.

4.1. Bewertung nach DIN 5034-1:2011

Gemäss DIN 5034-1:2011 soll der Tageslichtquotient auf einer horizontalen Bezugsebene, gemessen in einer Höhe von 0.85 m über dem Fußboden in halber Raumtiefe und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden im Mittel wenigstens 0.9 % und am ungünstigsten dieser Punkte wenigstens 0.75 % betragen.

In dieser Ermittlung ist die Tageslichtverteilung in den Räumen symmetrisch und kann die Auswertung für 1 Punkt pro Raum erfolgen. Ein $DF \geq 0.9$ % ist gefordert.

Abb. 5: Tageslichtquotient – Auswertung nach DIN 5034-1



Die Ergebnisse sind in Abb. 6 bis Abb. 10 ersichtlich. Im ersten Bild sind die 96 Räume dargestellt, für jede Innenhofbreite B, Fenstergrösse und AR-Wert. Auch die Ergebnisse für die 4 Räume ohne Innenhofverschattung («Aussen») sind ersichtlich. Für ein besseres Verständnis sind in den nachfolgenden vier Grafiken die Ergebnisse für jede Innenhofbreite B separat dargestellt.

Für jede Innenhofbreite B und AR-Wert sind 4 Punkte dargestellt, äquivalent mit den 4 unterschiedlichen Fensteranteile. Der Einfluss der Fenstergrösse ist bei den hier angesetzten Randbedingungen eher gering; die Punkte sind teilweise überlappend.

Die Bewertung:

- In den Räumen ausserhalb des Innenhofs werden die Anforderungen sehr gut eingehalten. Der Tageslichtquotient nach DIN 5034-1 ist für die 4 Räume > 2.0 %.
- Im Innenhof werden die Anforderungen nur für $AR < 0.6$ mit $B \leq 10$ m und Fensteranteil > 25 % eingehalten.

Abb. 6: Tageslichtquotient in halber Raumtiefe, 1 m Abstand von der Wand

DF in halber Raumtiefe, 1 m von der Wand [%]

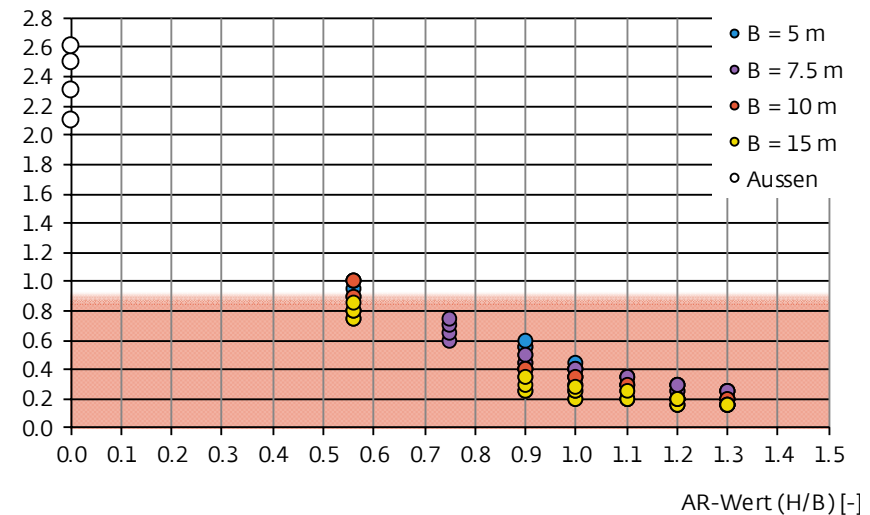


Abb. 7: Tageslichtquotient in halber Raumtiefe, 1 m Abstand von der Wand - B = 5 m
DF in halber Raumtiefe, 1 m von der Wand [%]

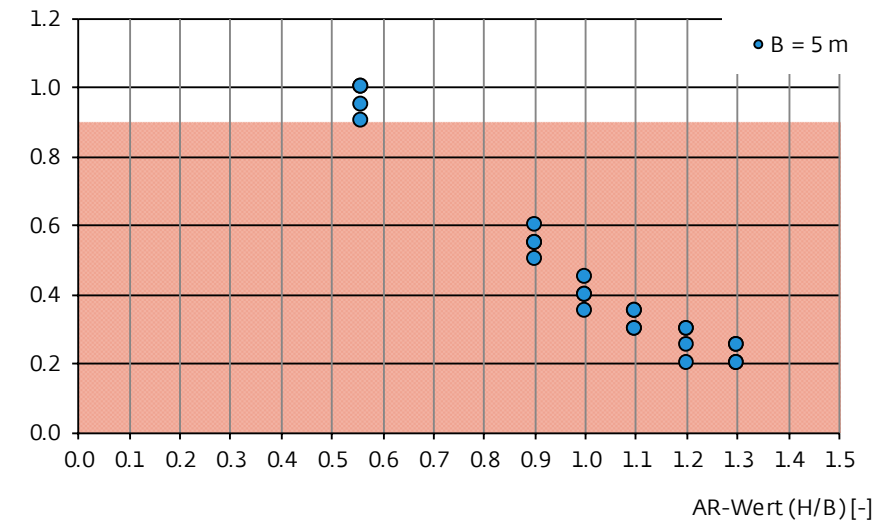


Abb. 9: Tageslichtquotient in halber Raumtiefe, 1 m Abstand von der Wand - B = 10 m
DF in halber Raumtiefe, 1 m von der Wand [%]

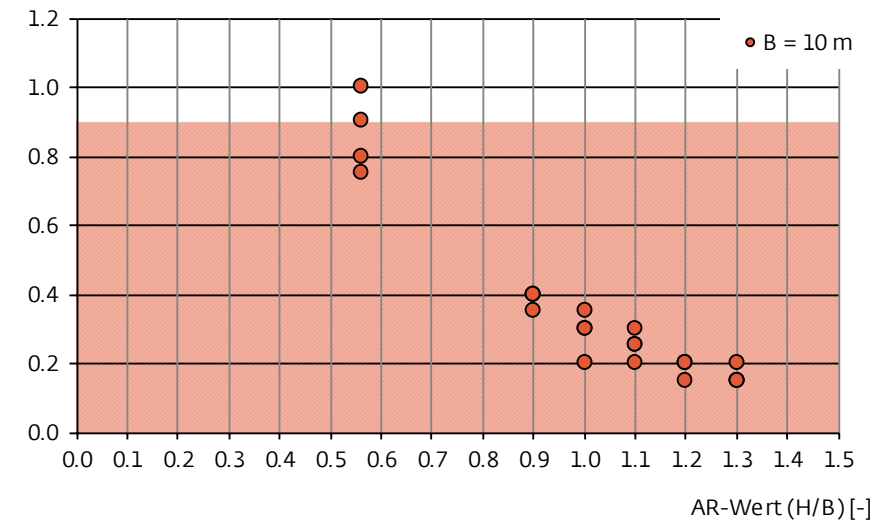


Abb. 8: Tageslichtquotient in halber Raumtiefe, 1 m Abstand von der Wand - B = 7.5 m
DF in halber Raumtiefe, 1 m von der Wand [%]

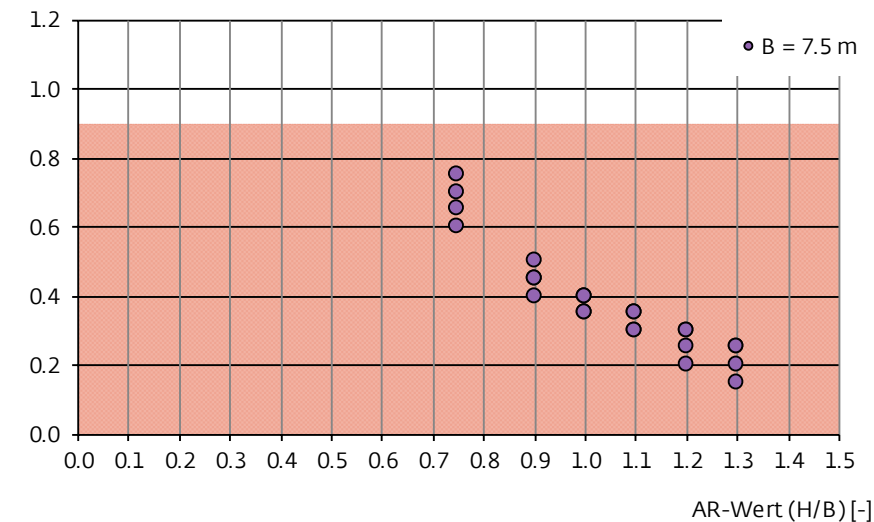
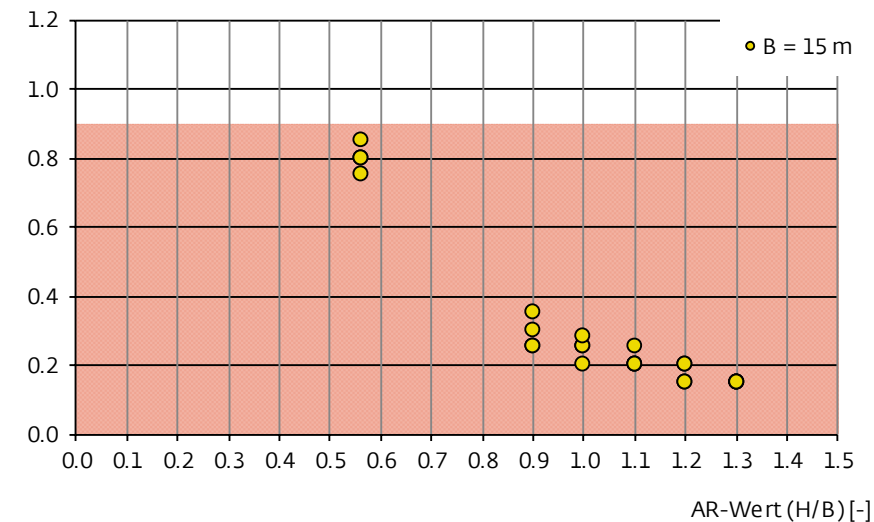


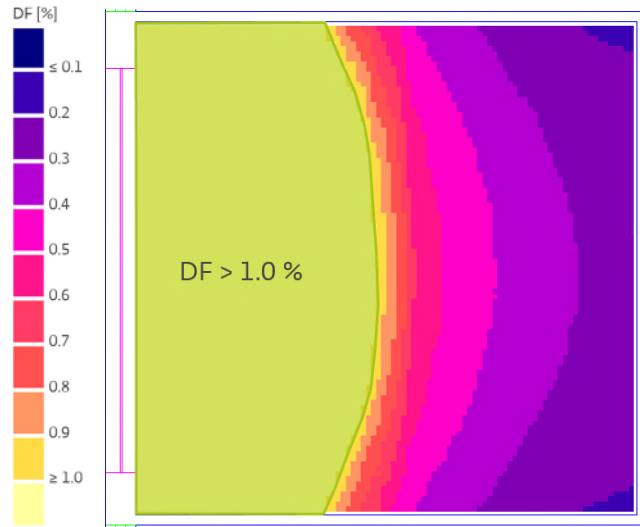
Abb. 10: Tageslichtquotient in halber Raumtiefe, 1 m Abstand von der Wand - B = 15 m
DF in halber Raumtiefe, 1 m von der Wand [%]



4.2. Bewertung nach DGNB Schweiz

Gemäss dem Indikator 1 für visuellen Komfort werden DGNB-Punkte erreicht, wenn minimal 50 % der Fläche einen $DF \geq 1.0 \%$ ausweist. Die maximale Punktzahl wird bei 50 % der Fläche mit einem $DF \geq 2.0 \%$ erreicht.

Abb. 11: Tageslichtquotient – Auswertung nach DGNB Visueller Komfort



Die Ergebnisse sind in Abb. 12 bis Abb. 16 ersichtlich.

Im ersten Grafik sind alle Ergebnisse dargestellt, für jede Innenhofbreite B, Fenstergrösse und AR-Wert. Auch die Ergebnisse für die Räume ohne Innenhofverschattung («Aussen») sind ersichtlich. Für ein besseres Verständnis sind in den nachfolgenden vier Grafiken die Ergebnisse für jede Innenhofbreite B separat dargestellt.

Die Ergebnisse sind in Abb. 12 ersichtlich. Für jede Innenhofbreite B und AR-Wert sind 4 Punkte dargestellt, äquivalent mit den 4 unterschiedlichen Fensteranteile. Der Einfluss der Fenstergrösse ist bei den hier angesetzten Randbedingungen eher gering; die Punkte sind teilweise überlappend.

Die Bewertung:

- In den Räumen ausserhalb des Innenhofs werden die Anforderungen sehr gut eingehalten. Mehr als 80 % der Fläche weist einen $DF > 1.0 \%$ aus.
- Im Innenhof werden die Anforderungen nur für $AR < 0.6$ mit $B \leq 10$ m und Fensteranteil $> 30 \%$ eingehalten.

Abb. 12: Anteil der Raumfläche mit $DF \geq 1.0 \%$

Anteil mit $DF > 1 \%$ [%]

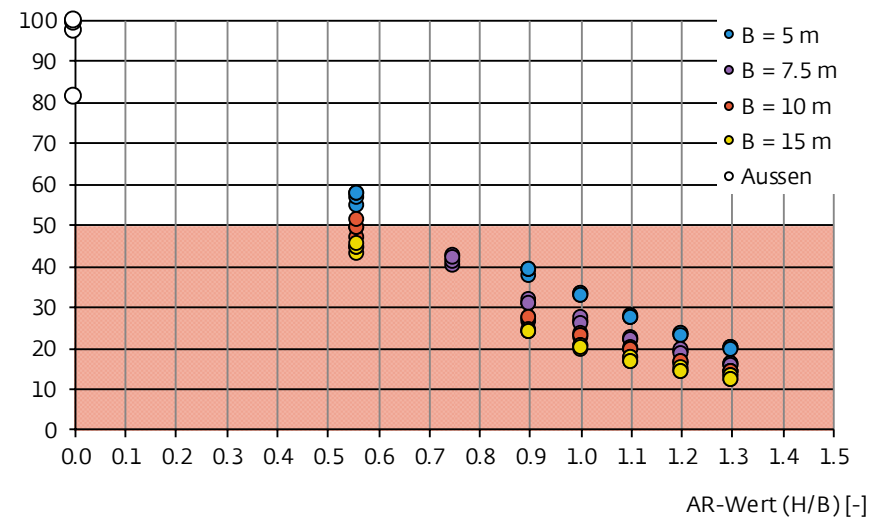


Abb. 13: Anteil der Raumfläche mit $DF \geq 1.0\%$ - $B = 5\text{ m}$

Anteil mit $DF > 1\%$ [%]

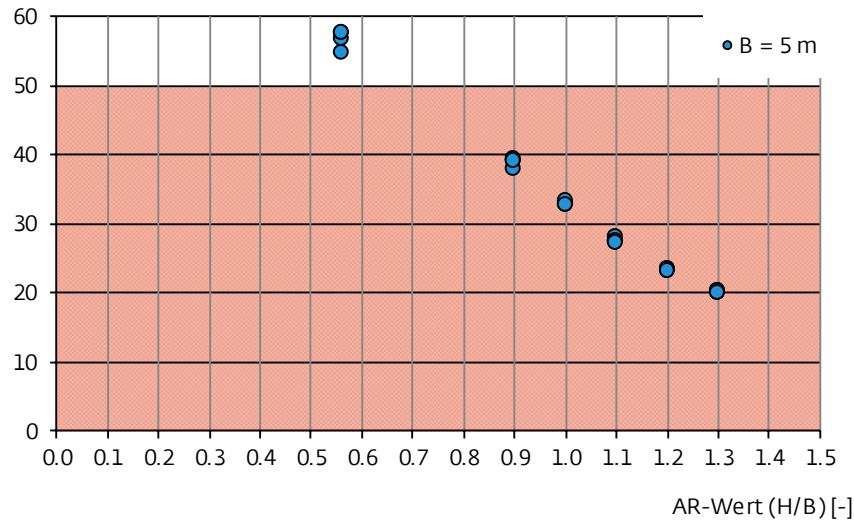


Abb. 15: Anteil der Raumfläche mit $DF \geq 1.0\%$ - $B = 10\text{ m}$

Anteil mit $DF > 1\%$ [%]

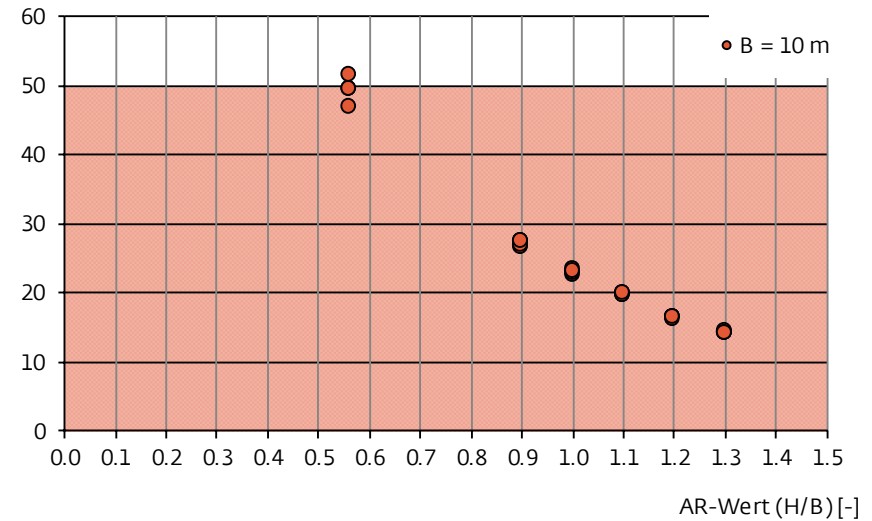


Abb. 14: Anteil der Raumfläche mit $DF \geq 1.0\%$ - $B = 7.5\text{ m}$

Anteil mit $DF > 1\%$ [%]

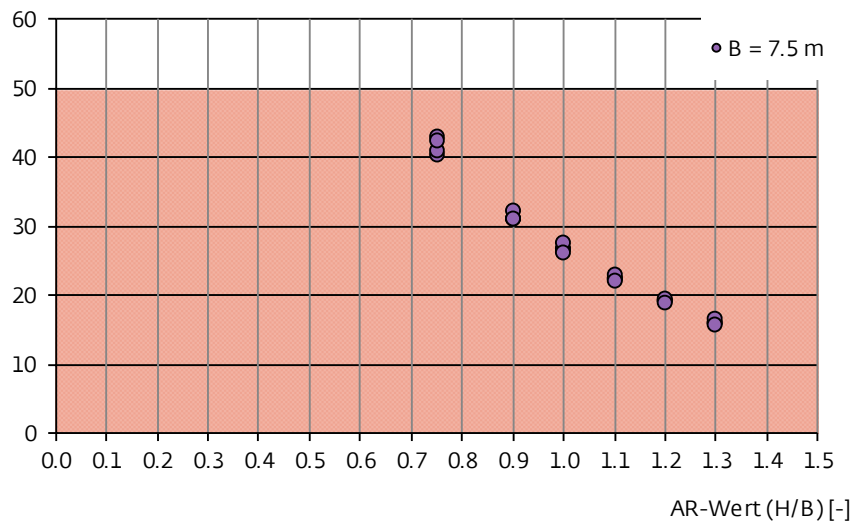
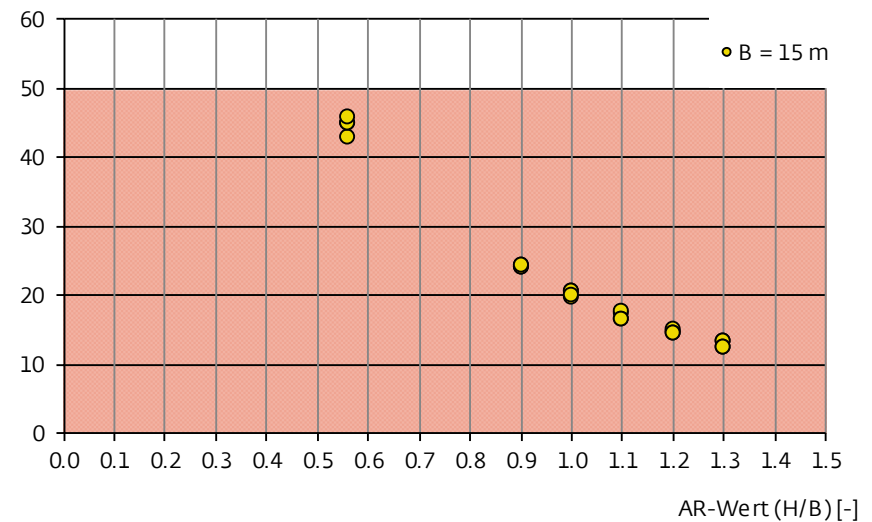


Abb. 16: Anteil der Raumfläche mit $DF \geq 1.0\%$ - $B = 15\text{ m}$

Anteil mit $DF > 1\%$ [%]



4.3. Mittlerer Tageslichtquotient

Als Ergänzung zur obenstehenden Bewertung ist der mittlere Tageslichtquotient in Abb. 17 dargestellt. Auch hier werden die Ergebnisse mittels 5 Grafiken dargestellt.

Normative Anforderungen für den mittleren Tageslichtquotienten für Wohnen sind nicht verfügbar. Zum Einhalten der Norm prEN 17037:2016-08 wäre zum Beispiel für Berlin ein Tageslichtquotienten von ca. 2.2 % gefordert. In der Praxis wird ein Grenzwert von 1.5 bis 2.0 % typisch für Wohnnutzung als ausreichend eingestuft.

Die Bewertung:

- In den Räumen ausserhalb des Innenhofs werden die Anforderungen sehr gut eingehalten. Es werden Tageslichtquotienten von 4.0 oder höher erreicht.
- Im Innenhof werden die Anforderungen für $AR < 0.8$ eingehalten.

Abb. 17: Mittlerer Tageslichtquotient

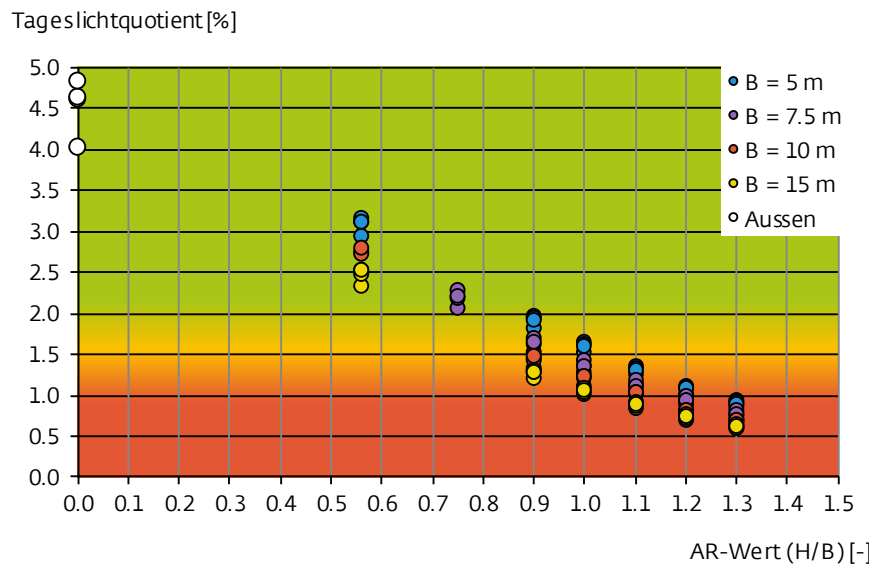


Abb. 18: Mittlerer Tageslichtquotient – B = 5 m

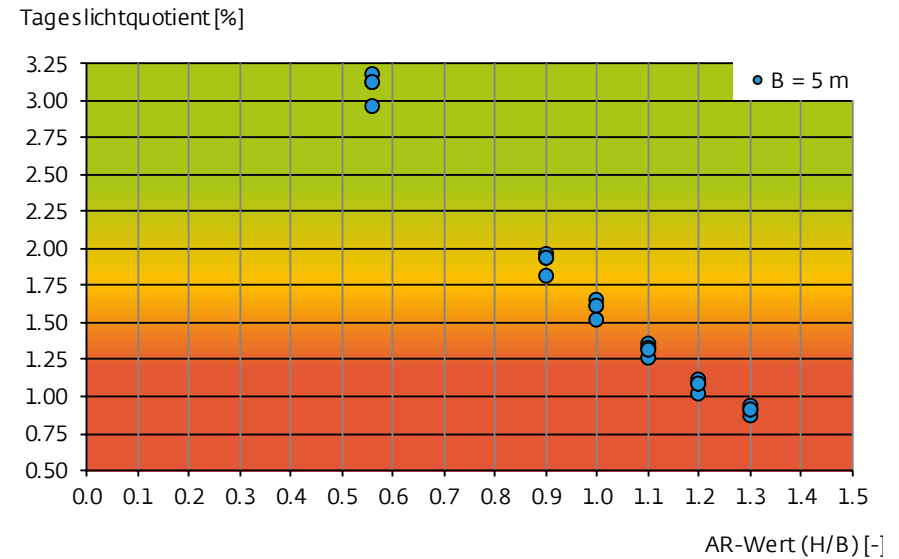


Abb. 19: Mittlerer Tageslichtquotient – B = 7.5 m

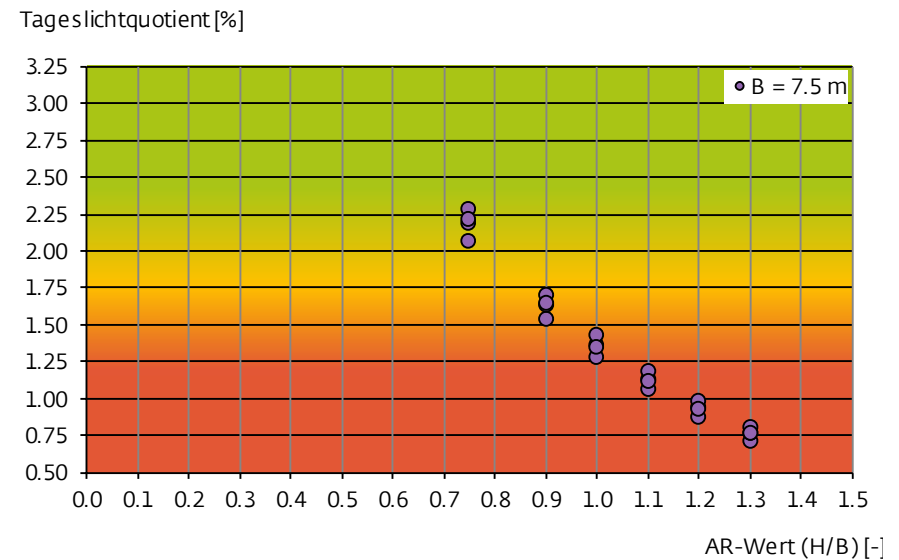


Abb. 20: Mittlerer Tageslichtquotient – B = 10 m

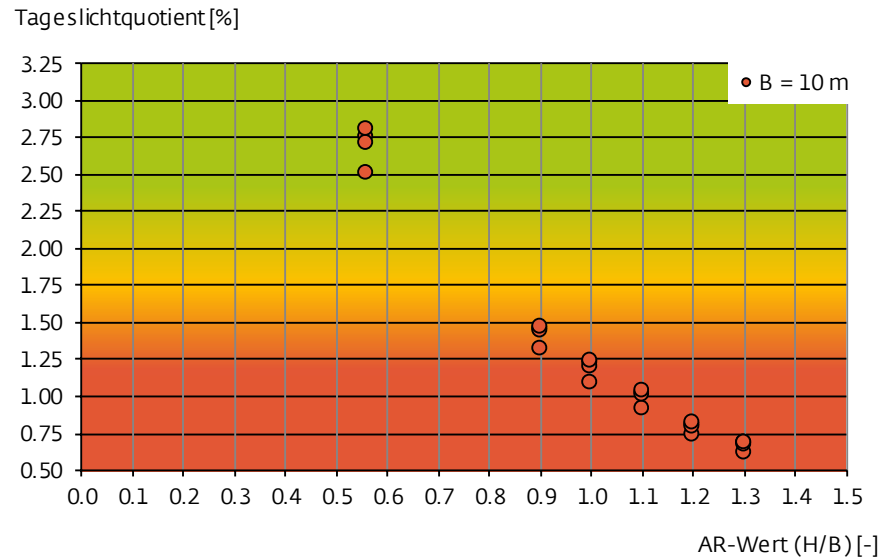
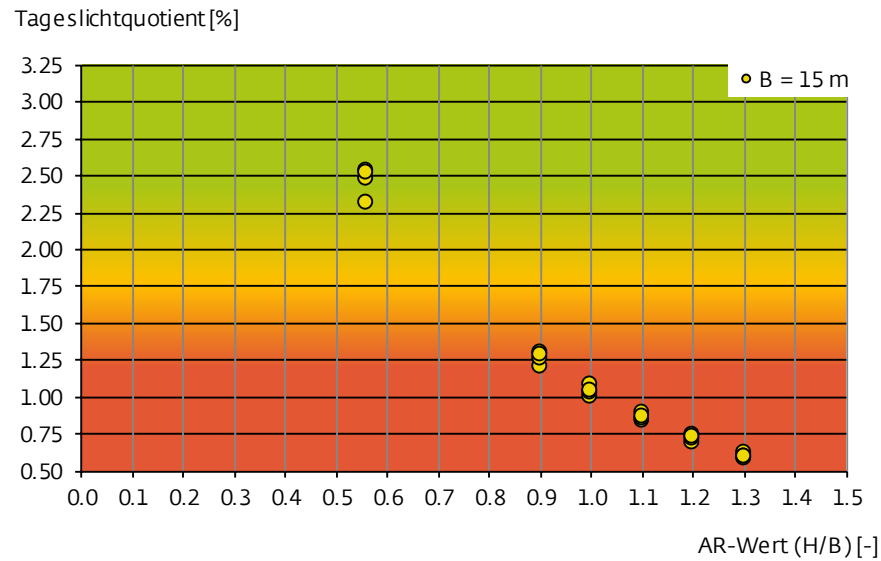


Abb. 21: Mittlerer Tageslichtquotient – B = 15 m



4.4. Visualisierung des Tageslichtquotienten

Die Verteilung des Tageslichtquotienten für jeden Raum ist im Anhang ersichtlich. 5 Fälle werden unten direkt verglichen, jeweils mit einer Glasfläche-zu-Raumfläche von 25 %. Die ausgewählten Fälle entsprechen den besten und kritischsten Räumen hinsichtlich Tageslicht.

- Aussen = Raum ohne Innenhof
- Innenhofbreite 5 m, AR = 0.56 (1 Geschoss)
- Innenhofbreite 5 m, AR = 1.3
- Innenhofbreite 15 m, AR = 0.56 (3 Geschosse)
- Innenhofbreite 15 m, AR = 1.3

Der nach DIN 5034-1 geforderte lokale Tageslichtquotient von 0.9 % wird nur in einem Fall erreicht. Beim Fall mit Innenhofbreite 5 m und AR 0.56 % ist der DF in halber Raumtiefe und auf 1 m Abstand der Innenwand 1.2 %.

Im kritischsten Fall wird ein $DF \geq 0.9 \%$ nur bei einer Raumtiefe bis 0.9 m erreicht. Ob die Norm eingehalten wird, ist also stark von der Raumtiefe abhängig.

Abb. 22: Tageslichtquotient – Aussen (Glas/Raum 25 %)

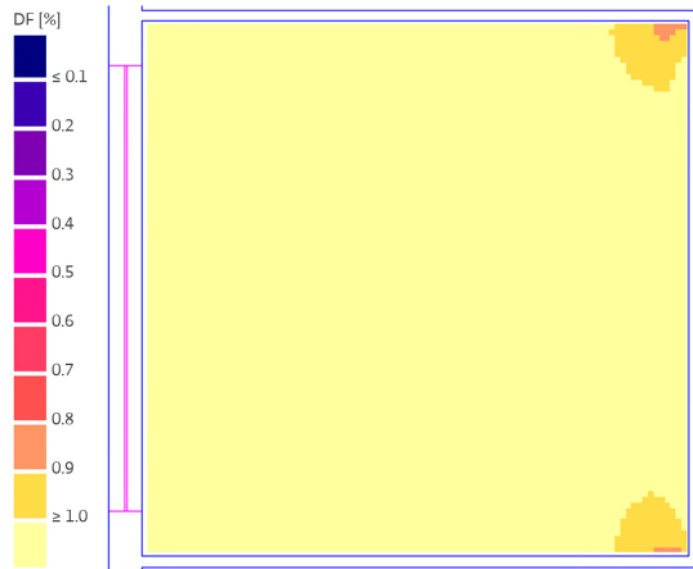


Abb. 23: Tageslichtquotient – B 5 m, AR 0.56 (Glas/Raum 25 %)

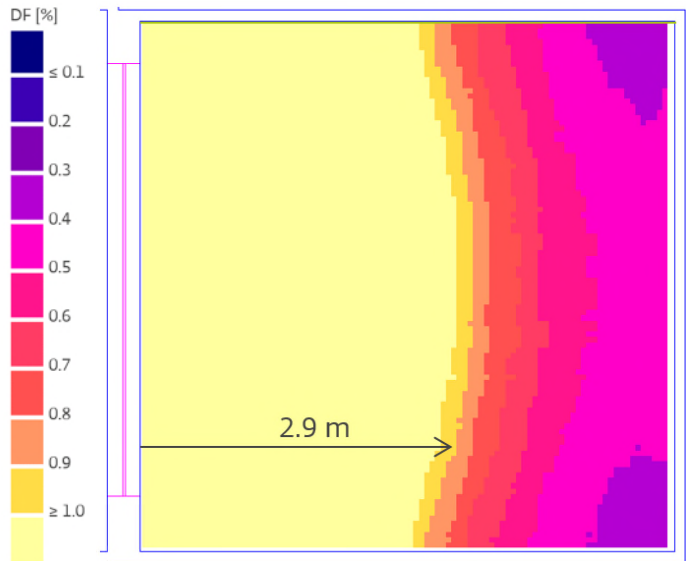


Abb. 25: Tageslichtquotient – B 15 m, AR 0.56 (Glas/Raum 25 %)

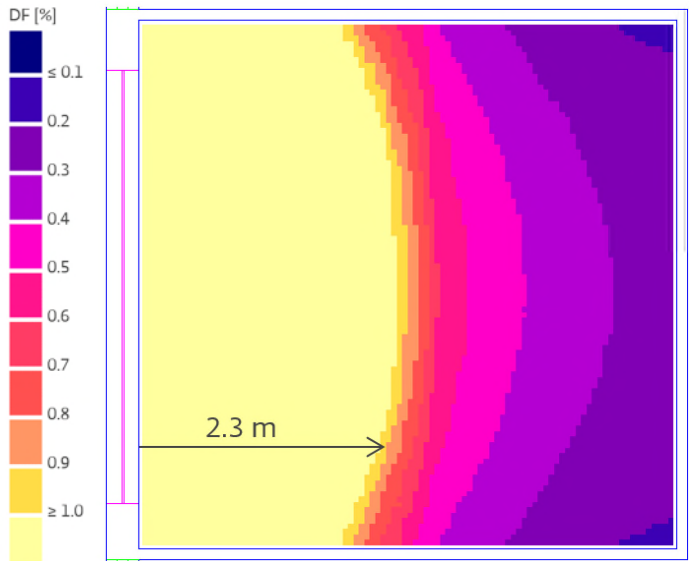


Abb. 24: Tageslichtquotient – B 5 m, AR 1.3 (Glas/Raum 25 %)

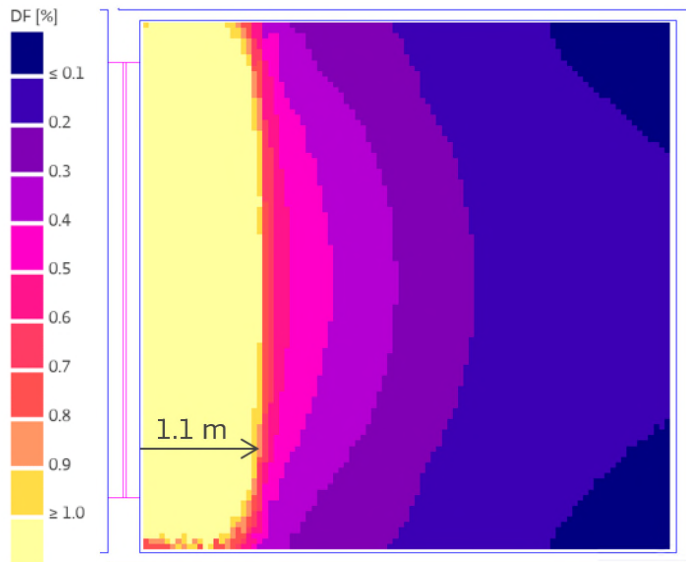
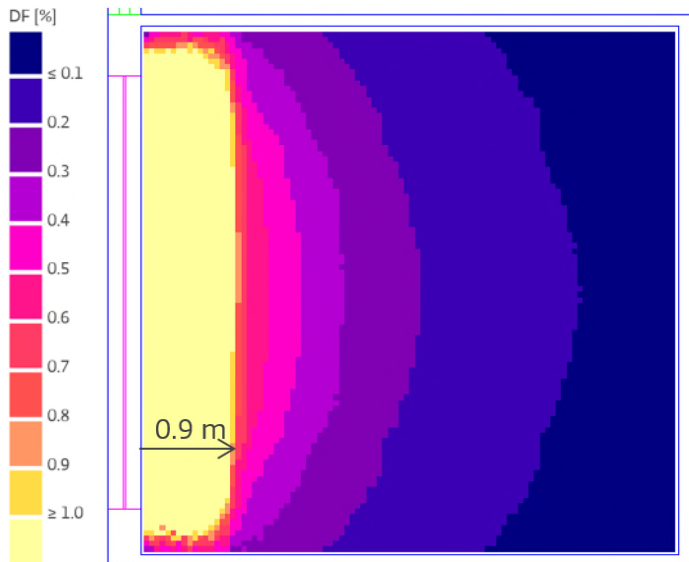


Abb. 26: Tageslichtquotient – B 15 m, AR = 1.3 (Glas/Raum 25 %)



5. Erkenntnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse und Empfehlungen werden zusammengefasst.

5.1. Erkenntnisse

5.1.1. Ausgangslage

Die bisherige Vollzugspraxis hinsichtlich des Grenzwerts für AR mit Zweck Tageslichtverfügbarkeit soll überprüft werden. Der Tageslichtquotient wurde für 100 Räume mit Raumtiefe und Fassadenlänge jeweils 5 m ermittelt. Sowohl Fenstergrösse als Innenhofbreite und AR-Wert wurden variiert. Die Details zur Parameterstudie sind in Abschnitt 2.2 zu finden. Der Fokus lag auf eher schmalen Innenhöfen mit Breiten von 5 m bis 15 m.

Die Bewertungsgrundlagen sind in Abschnitt 2.1 erläutert.

5.1.2. Ergebnisse

In der Bewertung wurden die kritischen Räume im EG berücksichtigt. Die Räume in den höheren Ebenen werden eine bessere Tageslichtverfügbarkeit ausweisen. Gemäss Erfahrungswerte aus der Praxis werden bei herkömmlichen Innenhofbreiten (ca. 15 m und grösser) die oberen 2 bis 3 Geschosse ausreichend von Tageslicht beleuchtet.

Das Tageslicht wurde nach DIN 5034-1 und nach DGNB Schweiz SOC 1.4 Visueller Komfort bewertet. Gemäss dieser normbasierten Bewertung werden die Anforderungen nur in Innenhöfen mit $AR < 0.6$ und Innenhofbreite $B < 10$ m bei einem minimalen Anteil Glas-zu-Raumfläche von > 25 bis 30 % eingehalten.

Als Ergänzung zur normbasierten Bewertung wurde der mittlere Tageslichtquotient ebenfalls bewertet. In der Praxis wird ein mittlerer Tageslichtquotient von 1.5 bis 2.0 % typisch als ausreichend eingestuft. Zum Beispiel, für eine Innenhofbreite $B = 10$ m und einen Anteil Glas-zu-Raumfläche von 25 % würde ein AR-Wert < 0.85 ausreichend sein.

5.2. Einfluss der Parameter

Nach aktuellem Vollzugspraxis wird $AR = 1.2$ als Grenzwert für Innenhöfe mit Beleuchtungszwecke angesetzt. Aus der vorliegenden Studie geht eine starke Verschärfung des maximalen AR-Werts hervor. Die Diskussion der Bewertungsgrundlagen in Abschnitt 2.1 zeigt, dass die angesetzten Kriterien eher den minimalen Anforderungen hinsichtlich Tageslichtverfügbarkeit für Aufenthaltsräume entsprechen.

Zur Erläuterung der Ergebnisse ist eine kurze Diskussion der angesetzten Randbedingungen und Parameter sinnvoll. Drei Parameter wurden konkret in der Parameterstudie berücksichtigt: Fenstergrösse, Innenhofbreite und AR-Wert. Ausserdem wurden mehrere Annahmen getroffen, z.B. hinsichtlich Raumtiefe, Positionierung der Fenster und Fassadengestaltung des Innenhofs, die auch einen Einfluss auf die Ergebnisse zeigen.

Der **AR-Wert** zeigt sich als massgebender Parameter. Je höher der Aspect Ratio AR, desto weniger Tageslicht gelingt zum unteren Bereich. Für das Beispiel $B = 10$ m und Glasanteil 25 % steigt der mittlere Tageslichtquotient von 0.81 % auf 1.45 % bei einer Reduktion des AR-Werts von 1.2 auf 0.9 (äquivalent mit der Reduktion um ein Geschoss).

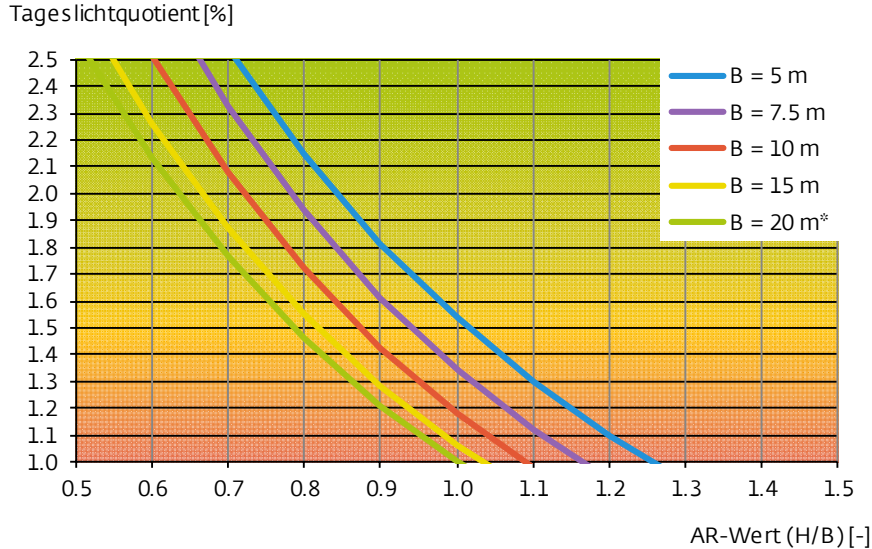
Die **Innenhofbreite B** wirkt sich ebenfalls stark auf den Tageslichtzutritt aus. In den ermittelten Varianten zeigen schmale Innenhöfe beim gleichen AR-Wert einen besseren Tageslichtzutritt. Über die Innenhoffassade wird das Tageslicht reflektiert und gelingt besser in die angrenzenden Zonen. Für das Beispiel Glasanteil 25 % und $AR = 0.9$ steigt der mittlere Tageslichtquotient von 1.31 % auf 1.45 % bei der Reduktion der Innenhofbreite von 15 m auf 10 m.

Der Einfluss von **Fenstergrösse** ist bei den hier angesetzten Randbedingungen eher begrenzt, vorausgesetzt es wird eine minimale Grösse respektiert. Bei tieferen AR-Werten wird die Fenstergrösse relevanter und werden die absoluten Unterschiede in mittleren Tageslichtquotient grösser. Für das Beispiel $B = 10$ m und $AR = 0.9$ steigt der mittlere Tageslichtquotient von 1.32 % auf 1.45 % bei einer Erhöhung des Glasanteils von 20 % auf 25 %.

Bezüglich der Fenstergrösse ist der Einfluss der **Höhe Oberkante Verglasung** nicht zu unterschätzen. In der Studie wurde die Höhe nach DIN 5034-1 für alle Räume auf 2.2 m oberhalb des Fertigbodens fixiert. Wenn die gleichen Fenster bündig mit der Decke positioniert werden, ist der Tageslichtzutritt wesentlich besser (Abb. 31 im Anhang). Für das Beispiel B = 10 m, Fensteranteil = 25 % und AR = 0.9 steigt der mittlere Tageslichtquotient von 1.45 % auf 1.85 %.

Letztendlich ist die **Raumtiefe** zu berücksichtigen. Bei Räume mit geringerer Raumtiefe sind die Anforderungen nach DGNB, DIN 5034-1 und mittleren Tageslichtquotient einfacher einzuhalten, da ein Raumabschnitt im dunklen Bereich wegfällt. Bei Raumtiefe 4 m statt 5 m ist der mittlere Tageslichtquotient wesentlich besser (Abb. 32 im Anhang). Für das Beispiel B = 10 m, Fensteranteil = 25 % und AR = 0.9 steigt der mittlere Tageslichtquotient von 1.45 % auf 1.81 %.

Abb. 27: Tageslichtquotient – Tendenzen (* Kurve extrapoliert)



5.3. Empfehlungen

Wenn die normativen Anforderungen massgebend sind, sollte für Innenhöfe mit Beleuchtungszweck der AR-Wert auf 0.6 oder tiefer begrenzt werden. Die angesetzten Kriterien sind jedoch in der Schweiz nicht gesetzlich gefordert.

Als pragmatische Obergrenze des AR-Grenzwerts kann der mittlere Tageslichtquotient berücksichtigt werden. Gemäss der vorgehenden Diskussion wird ein minimaler mittlerer Tageslichtquotient von 1.5 % vorgeschlagen. An bedeckten Wintertagen ist typisch eine Beleuchtungsstärke im Aussenraum von ca. 10'000 Lux zu erwarten. Mit DF = 1.5 % ist dann im Innenraum ca. 150 Lux verfügbar. Für Schreibaufgaben wird allgemein eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux gefordert.

Mit DF = 1.5 % als Untergrenze ist der AR-Wert in Abhängigkeit der Innenhofbreite entsprechend den Richtwerten in Tab. 5 zu begrenzen. Die AR-Werte wurden auf 0.05 nach unten gerundet. Eine genauere Angabe ist nicht sinnvoll.

Tab. 5: Empfehlung für AR bei einem mittleren Tageslichtquotient von 1.5 % als Untergrenze

Innenhofbreite B [m]	Maximaler AR-Wert [-]	Glas-zu-Raumfläche [%]
5	1.0	25 %
7.5	0.9	25 %
10	0.85	25 %
15	0.8	25 %

5.3.1. Abweichungen

Mehrere Parameter können den Tageslichtzutritt einschränken oder fördern. In diesem Abschnitt werden Richtwerte vorgeschlagen, damit Parameteränderungen bei der Bestimmung eines angepassten Grenzwerts für AR berücksichtigt werden können.

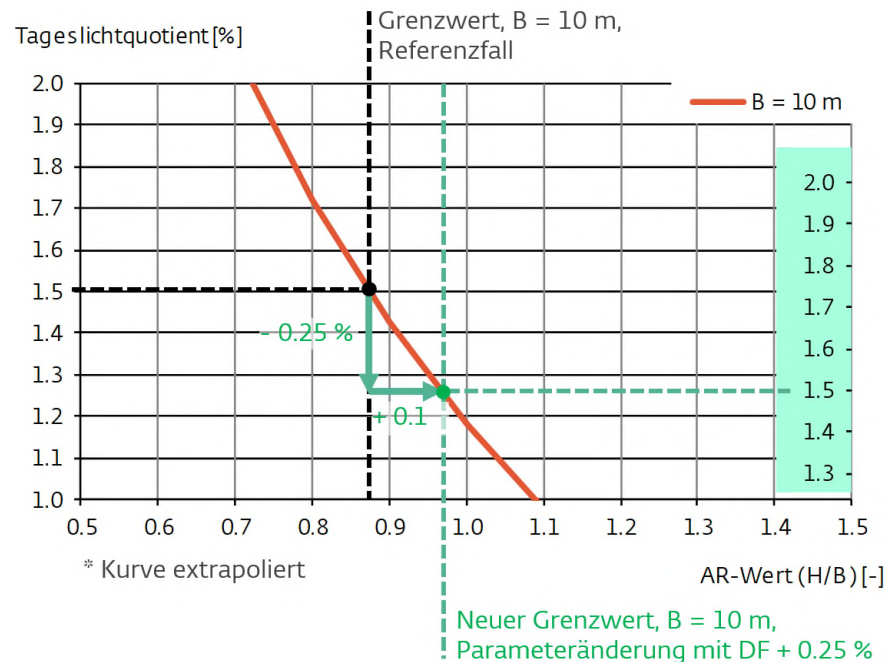
Die Tendenzen aus den Simulationsergebnisse sind in Abb. 27 dargestellt. Die Kurven zeigen die Abhängigkeit des Tageslichtquotienten zum AR-Wert für 4 Stufen der Innenhofbreite in Schritten von 5 m. Die Kurve für B = 20 m wurde extrapoliert. Die Kurven verlaufen nahezu linear innerhalb des relevanten DF-Bereichs.

Gemäss den Simulationsergebnissen kann der Einfluss von Parameteränderungen auf den mittleren Tageslichtquotienten im Raum eingestuft werden. Aufgrund dieser Werte kann abgeschätzt werden um wie viel der AR-Grenzwert erhöht werden muss oder gesenkt werden kann.

Ein Beispiel kann das Vorgehen erläutern. Ein Raum (Referenzfall) grenzt an einem Innenhof mit Breite 10 m, hat eine Raumtiefe von 5 m und ein Glasanteil zu Raumfläche von 25 %. Die Transmission der Verglasung ist 70 %. Der maximaler AR-Wert in diesem Fall ist ca. 0.85 (gerundet auf 0.05).

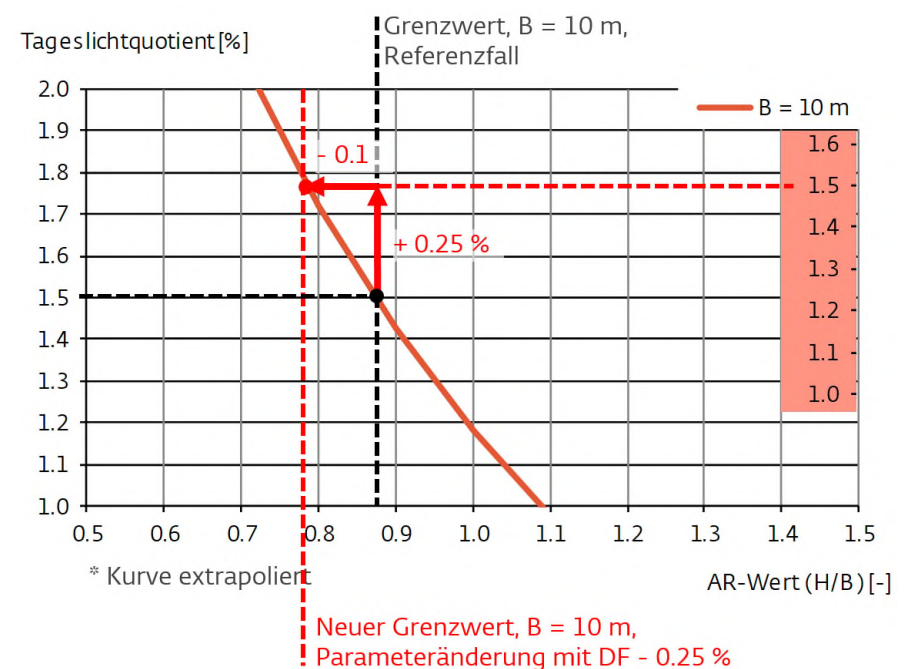
Im ersten Fall wird die Raumtiefe von 5 m auf 4 m gesenkt. Aus diesem Grund ergibt sich eine Verbesserung des Tageslichtzutritts. Gemäss Abb. 32 (im Anhang) wird der neue DF ca. 0.25 % höher liegen. In Abb. 28 ist ersichtlich, dass der AR-Grenzwert um ca. 0.1 von 0.85 bis auf 0.95 erhöht werden kann, bei dem weiterhin ein minimaler Tageslichtquotient von 1.5 % gewährleistet ist.

Abb. 28: Tageslichtquotient – Verschiebung des AR-Grenzwerts bei einer Parameteränderung mit einer Zunahme des DF um 0.25 %



Im zweiten Fall wird die Transmission der Verglasung von 70 % auf 60 % gesenkt. Aus diesem Grund ergibt sich eine Reduktion des Tageslichtzutritts. Der neue DF ist ca. 1.25 % statt 1.5 %. Damit trotzdem ein $DF \geq 1.5 \%$ gewährleistet werden kann, soll der AR-Grenzwert gesenkt werden. In Abb. 29 ist ersichtlich, dass der AR-Grenzwert um ca. 0.1 von 0.85 bis auf 0.75 gesenkt werden soll.

Abb. 29: Tageslichtquotient – Verschiebung des AR-Grenzwerts bei einer Parameteränderung mit einer Reduktion des DF um 0.25 %



Das Vorgehen wird zusammengefasst:

- Wenn eine Parameteränderung den mittleren Tageslichtquotienten um ca. 0.25 % erhöht, kann der AR-Grenzwert um 0.1 erhöht werden.
- Wenn eine Parameteränderung den mittleren Tageslichtquotienten um ca. 0.25 % senkt, soll der AR-Grenzwert um 0.1 gesenkt werden.
- Die Grundlage für die Bestimmung der AR-Grenzwert ist Abb. 27 und Tab. 5

In der untenstehenden Tabelle werden noch weitere Beispiele gegeben.

Tab. 6: Abweichung des AR-Grenzwerts – Senkung um 0.1

Parameter	Referenzwert	Senkung von AR_{max} um 0.1
Raumtiefe	5 m	+ 1 m (max. 6 m)
Innenhofbreite	15 m	+ 10 m
Lichttransmission Verglasung	70 %	- 10 % (z.B. 70 auf 60 %)
Glasfläche zu Raumfläche	25 %	- 3 % (z.B. 25 auf 22 %)

Tab. 7: Abweichung des AR-Grenzwerts – Erhöhung um 0.1

Parameter	Referenzwert	Erhöhung von AR_{max} um 0.1
Raumtiefe	5 m	- 1 m
Lichttransmission Verglasung	70 %	+ 10 % (z.B. 70 auf 80 %)
Glasfläche zu Raumfläche	25 %	+ 3 % (z.B. 25 auf 28 %)
Oberkante Verglasung	2.2 m von Fertigboden	Max 15 cm von der Decke

In der vorliegenden Studie wurden keine Verschattungselemente (z.B. Kunst, Bäume, Treppen/Brücken, usw.) im Innenhof berücksichtigt. Der Einfluss soll projektabhängig abgeschätzt werden.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Studie keine exakte Regelung für den AR-Grenzwert festlegen kann. Die Anforderungen sind für jedes Projekt separat zu betrachten und zu interpretieren.

6. Anhang

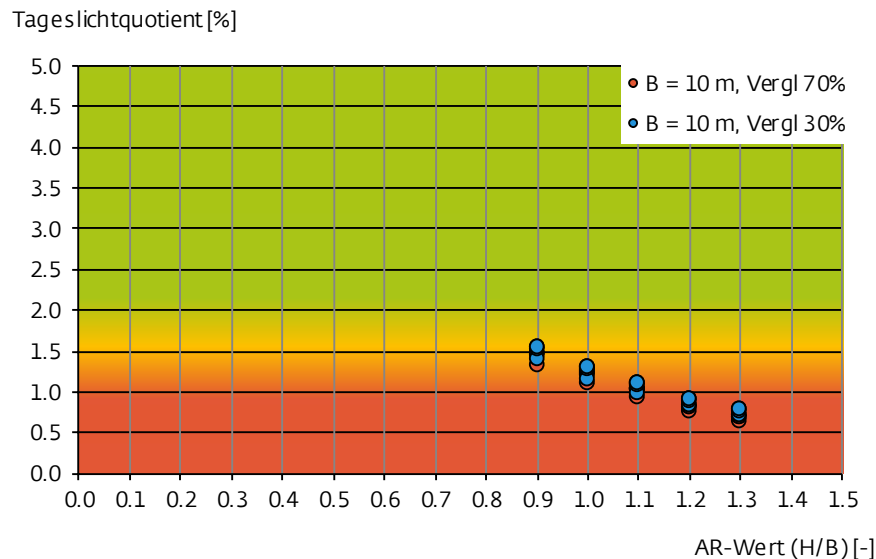
6.1. Sensitivität der Annahmen

6.1.1. Gestaltung der Innenhoffassade

Im untenstehenden Bild ist der Einfluss der Annahmen hinsichtlich der Innenhoffassade ersichtlich.

- B = 10 m, Vergl 70%: Verglasungsanteil der Innenhoffassade = 70 % (Abschnitt 2.4)
- B = 10 m, Vergl 30%: Verglasungsanteil der Innenhoffassade = 30 %

Abb. 30: Einfluss der Annahme bezüglich Verglasungsanteil Innenhof

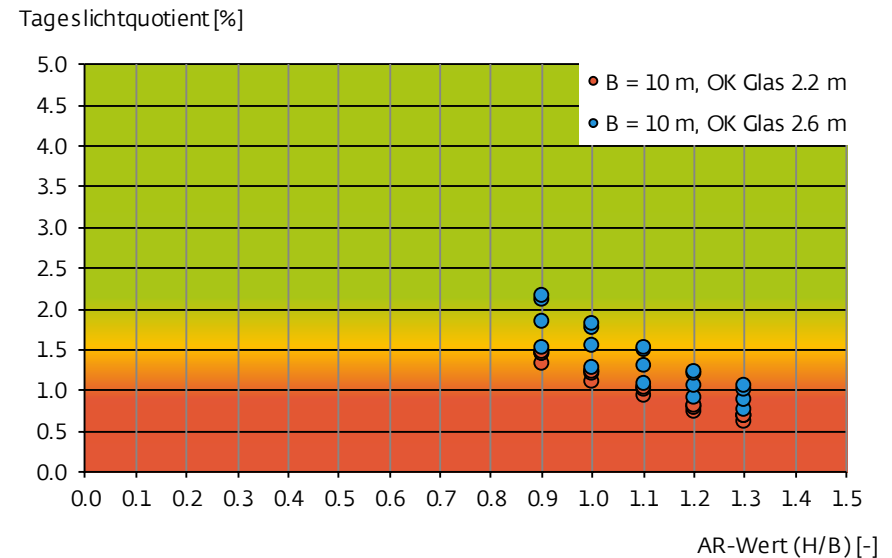


6.1.2. Oberkante der Verglasung

Im untenstehenden Bild ist der Einfluss der Höhe Oberkante Verglasung ersichtlich.

- B = 10 m, OK Glas 2.2 m: Oberkante der Verglasung liegt auf Höhe 2.2 m (Abschnitt 2.3.2)
- B = 10 m, OK Glas 2.6 m: Oberkante der Verglasung liegt bündig mit der Decke

Abb. 31: Einfluss der Annahme bezüglich Höhe der Oberkante Verglasung

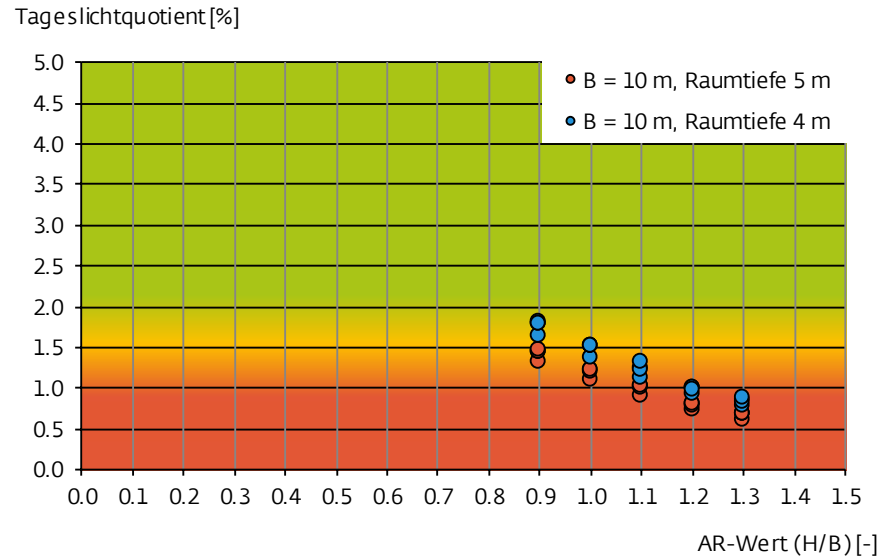


6.1.3. Raumtiefe

Im untenstehenden Bild ist der Einfluss der Raumtiefe ersichtlich.

- B = 10 m, Raumtiefe 5 m
- B = 10 m, Raumtiefe 4 m

Abb. 32: Einfluss der Annahme bezüglich Raumtiefe



6.2. Visualisierung der Tageslichtquotienten

Räume ohne Innenhof

Abb. 33: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

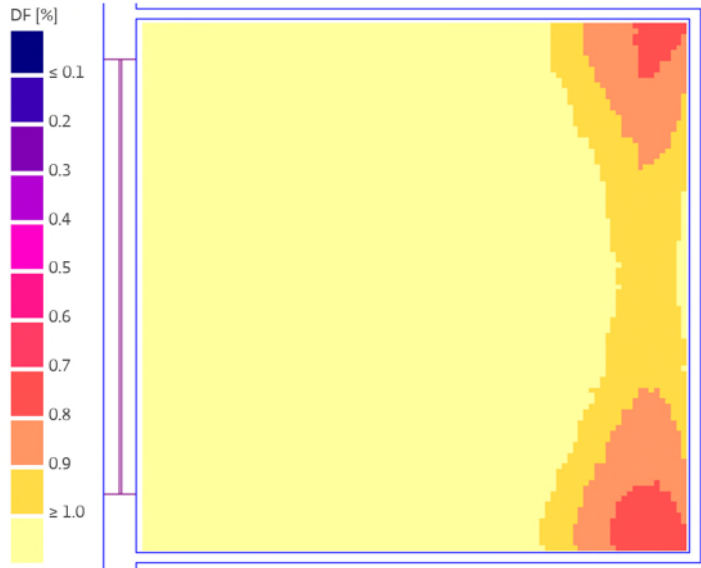


Abb. 35: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

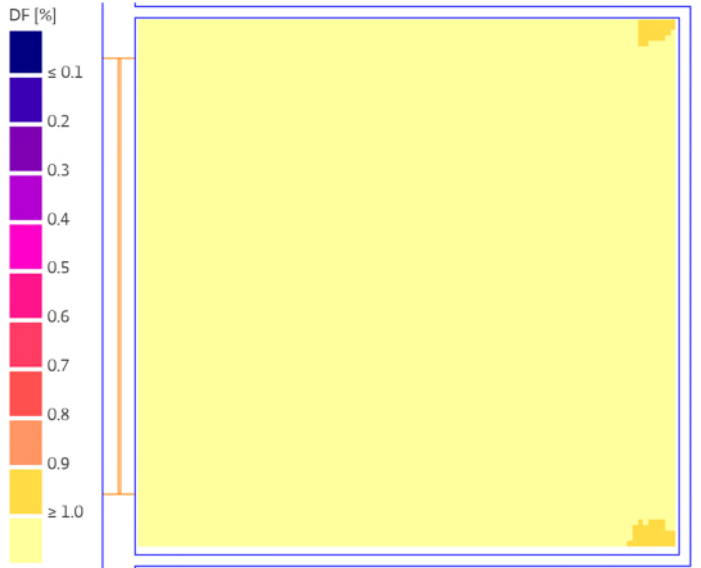


Abb. 34: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

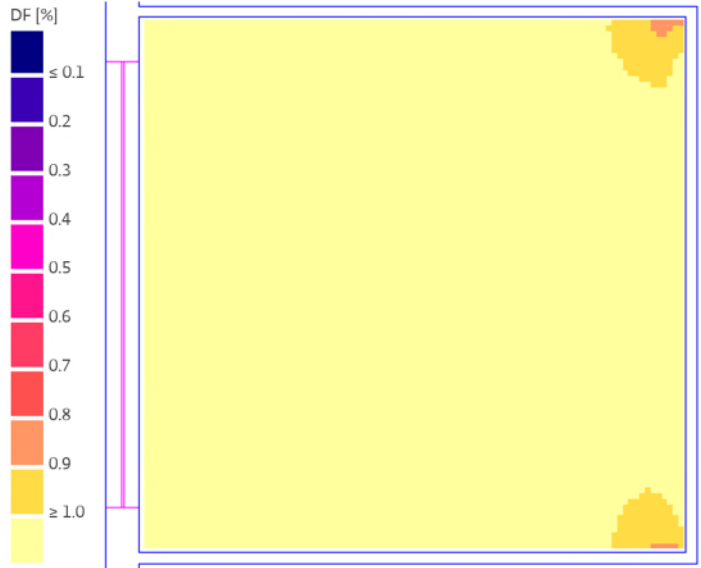
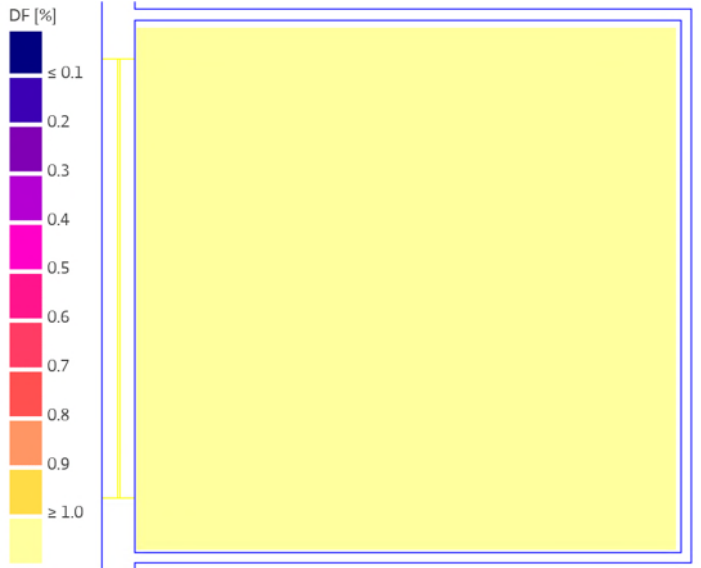


Abb. 36: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 0.56

Abb. 37: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

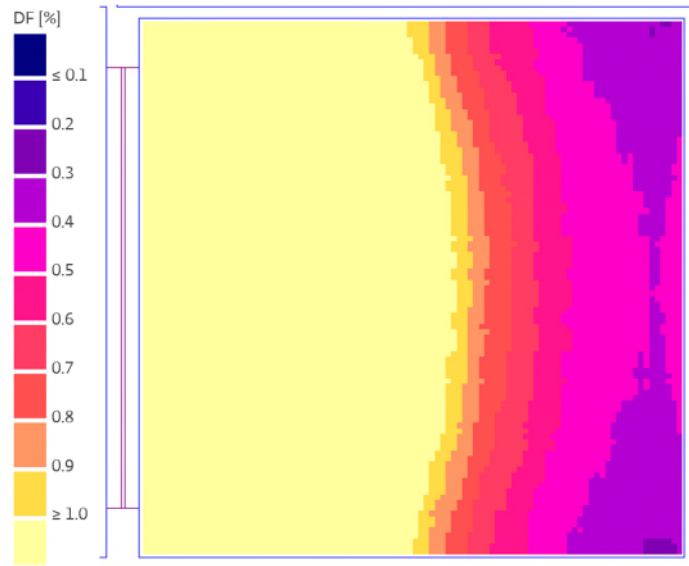


Abb. 39: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

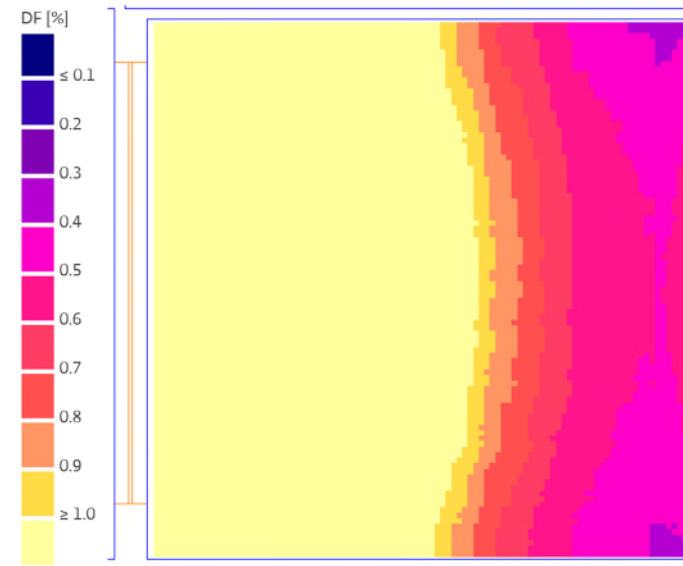


Abb. 38: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

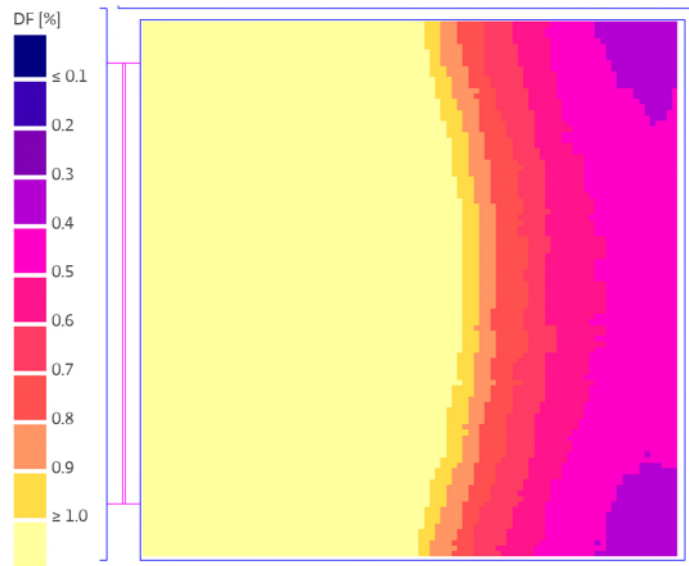
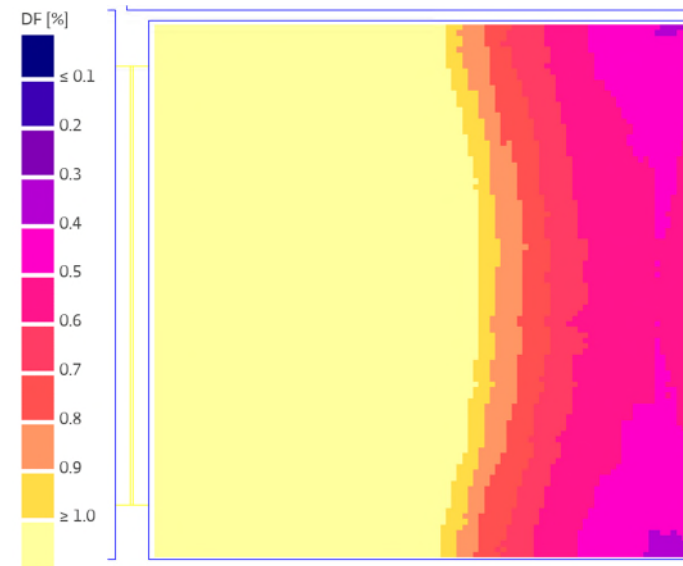


Abb. 40: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 0.9

Abb. 41: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

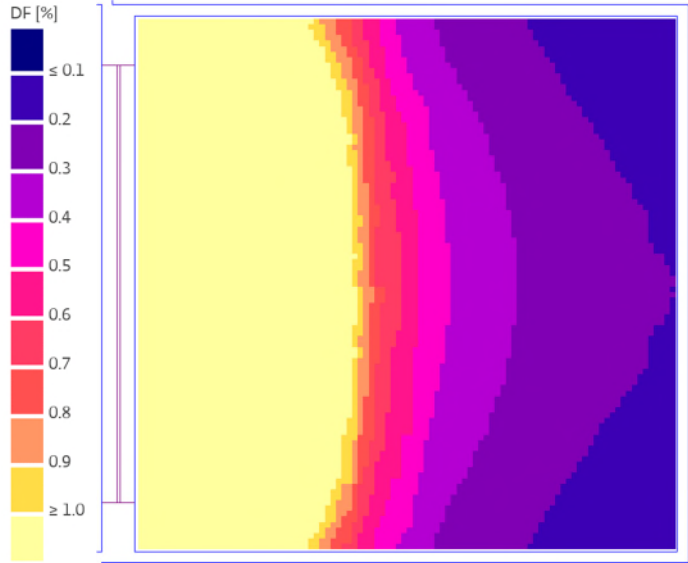


Abb. 43: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

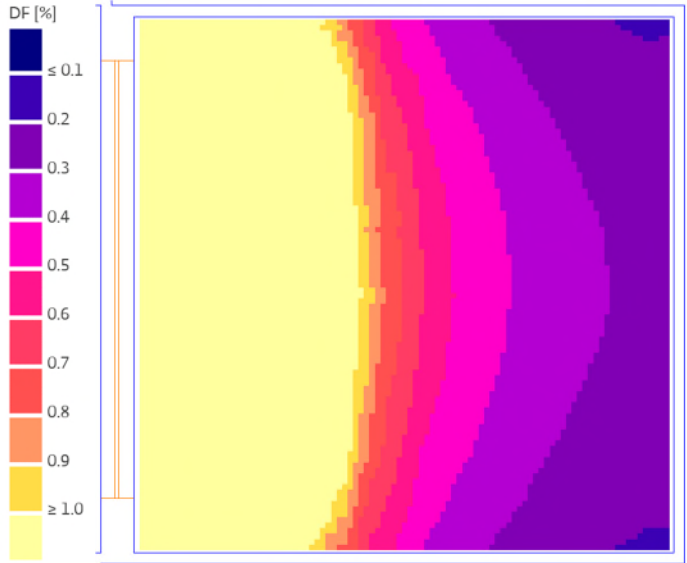


Abb. 42: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

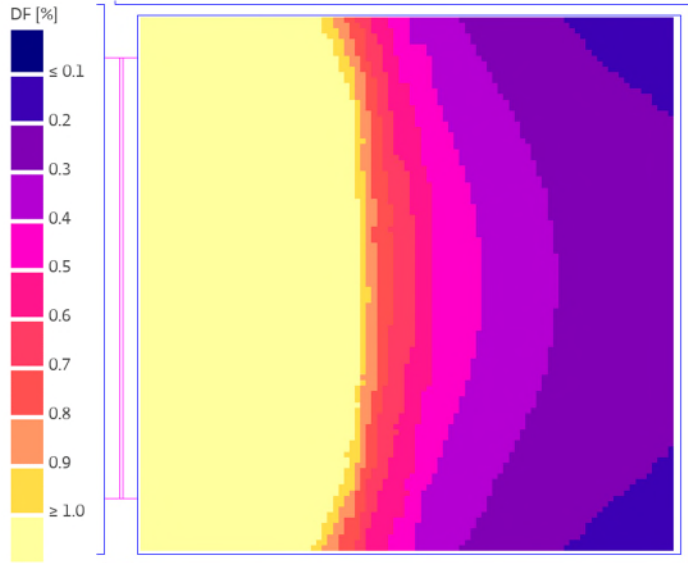
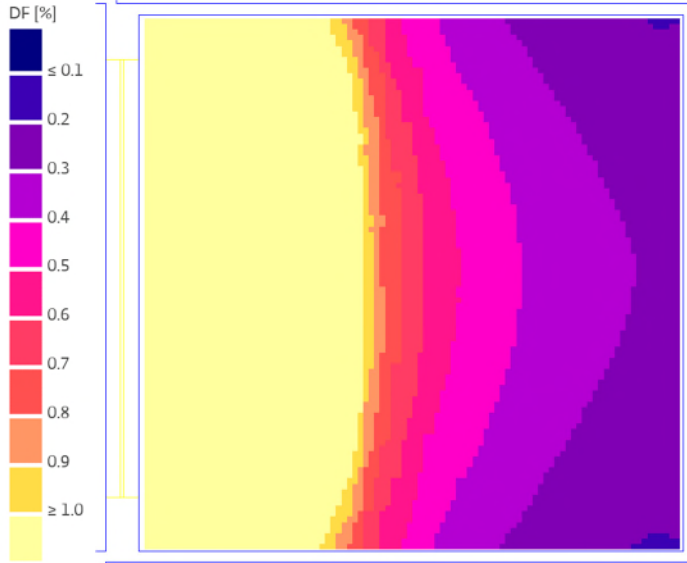


Abb. 44: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 1.0

Abb. 45: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

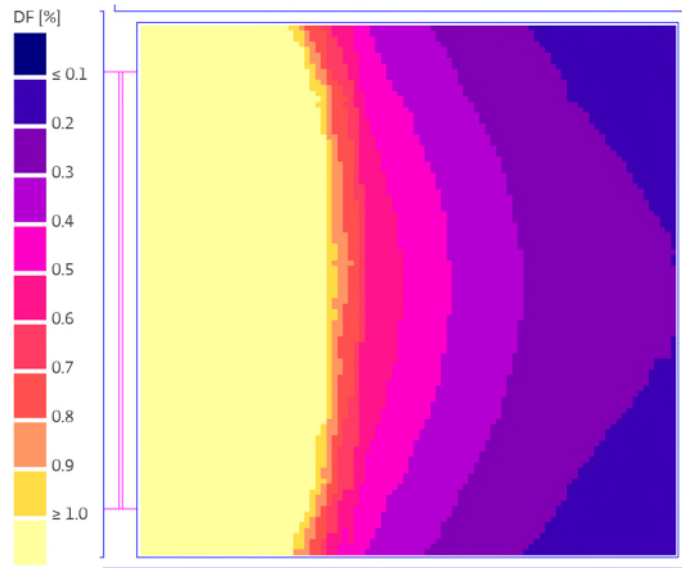


Abb. 47: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

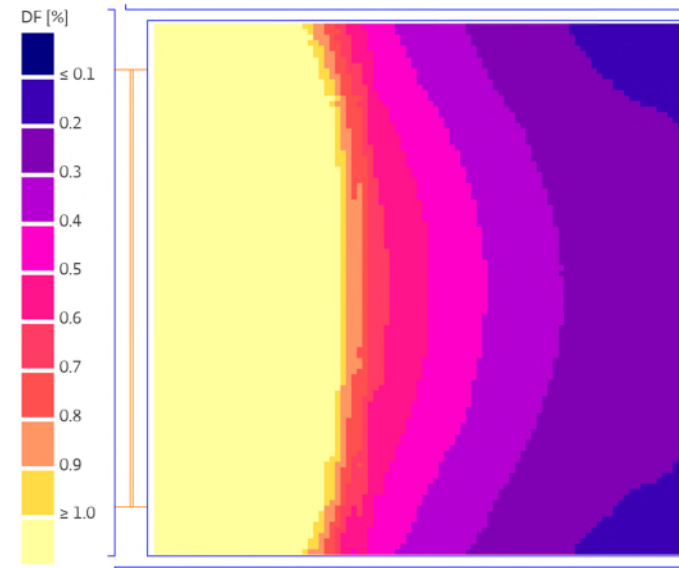


Abb. 46: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

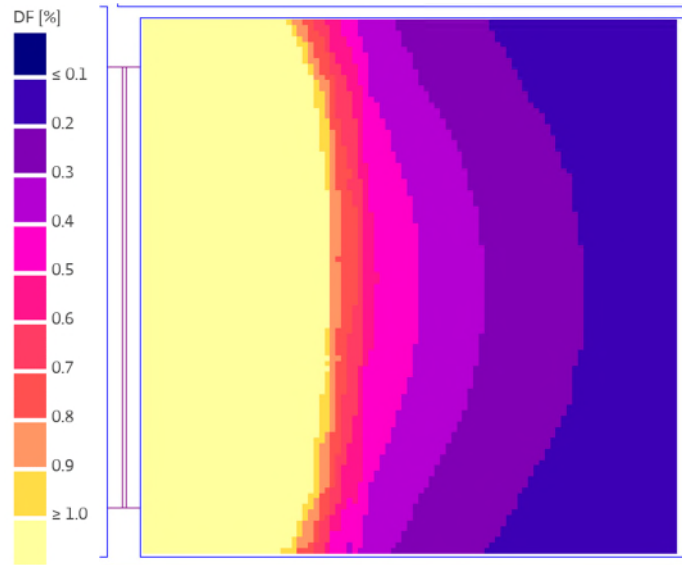
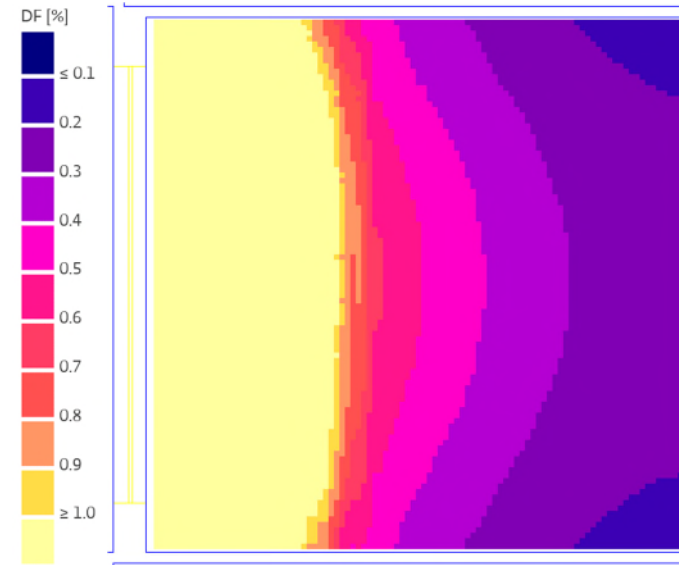


Abb. 48: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 1.1

Abb. 49: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

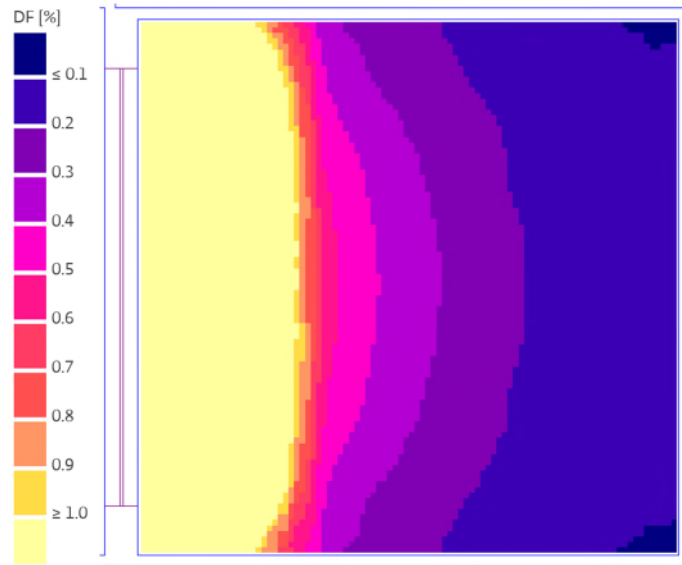


Abb. 51: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

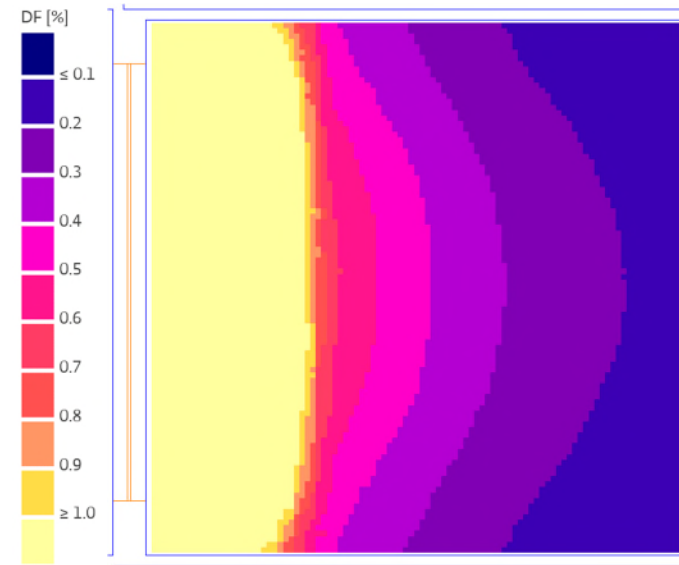


Abb. 50: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

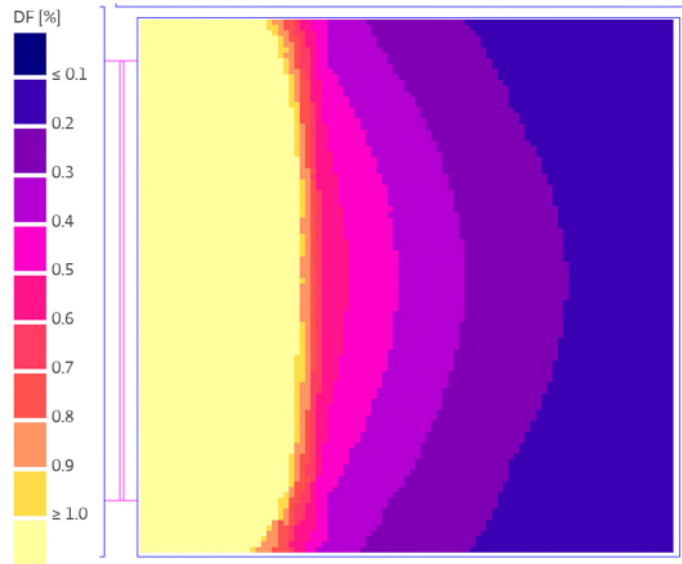
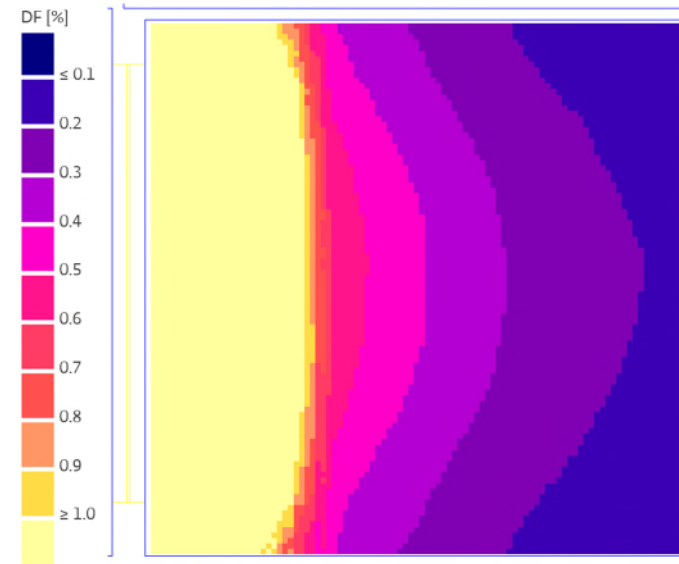


Abb. 52: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 1.2

Abb. 53: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

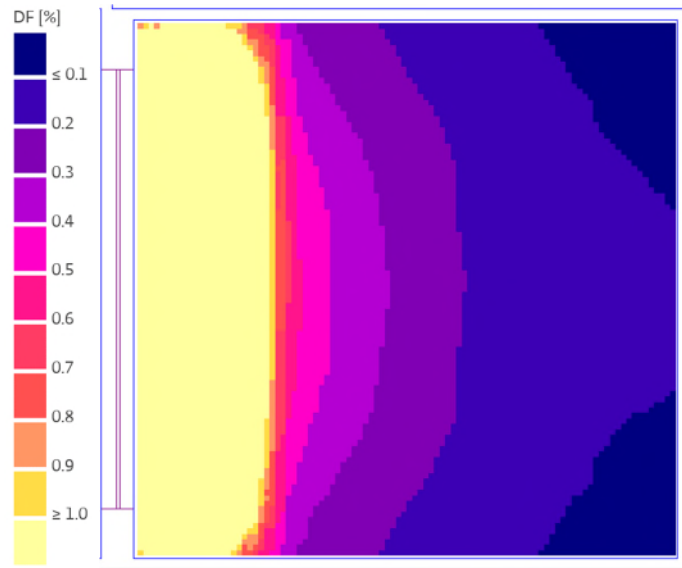


Abb. 55: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

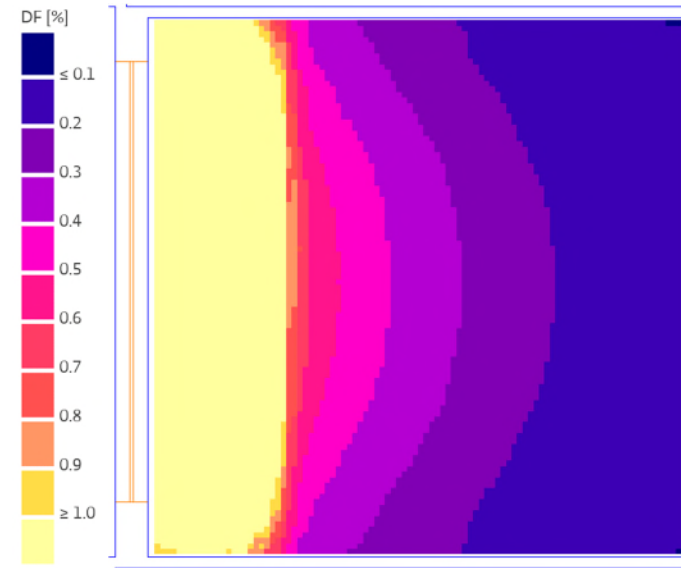


Abb. 54: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

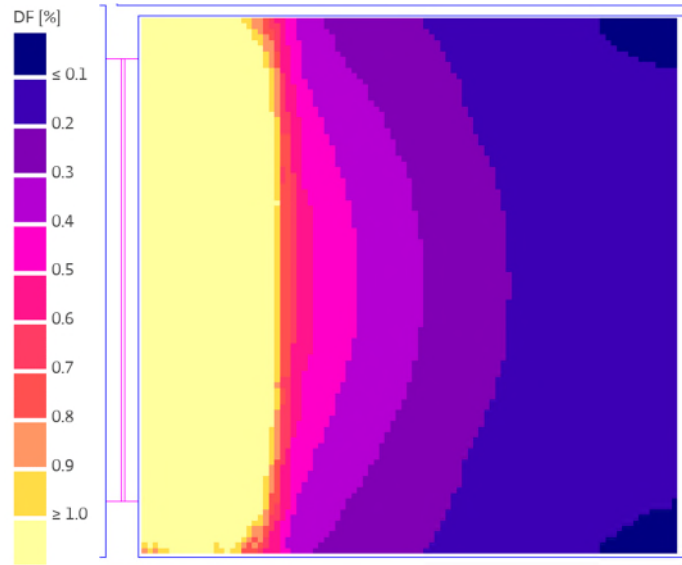
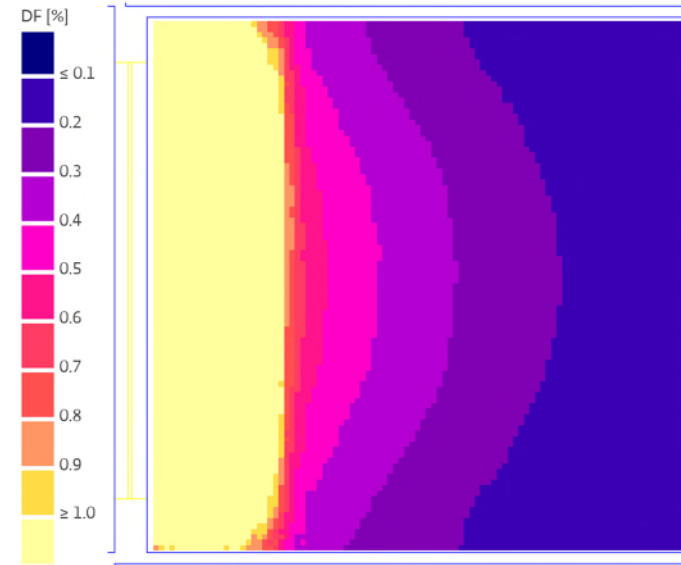


Abb. 56: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 5 m, AR = 1.3

Abb. 57: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

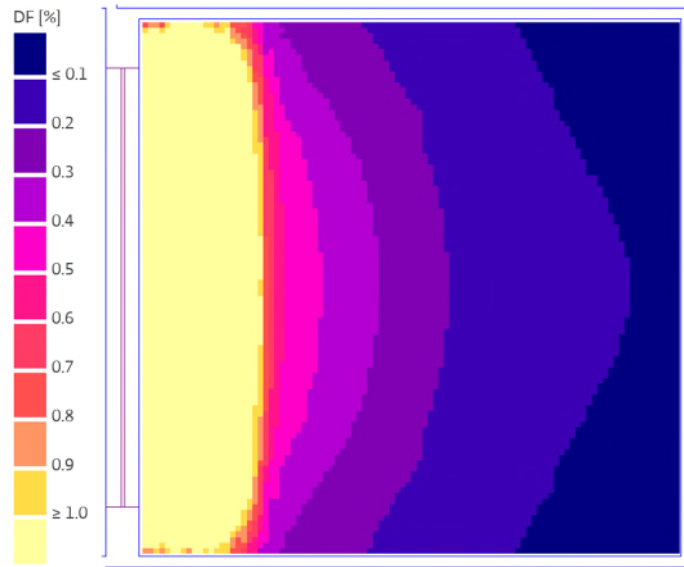


Abb. 59: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

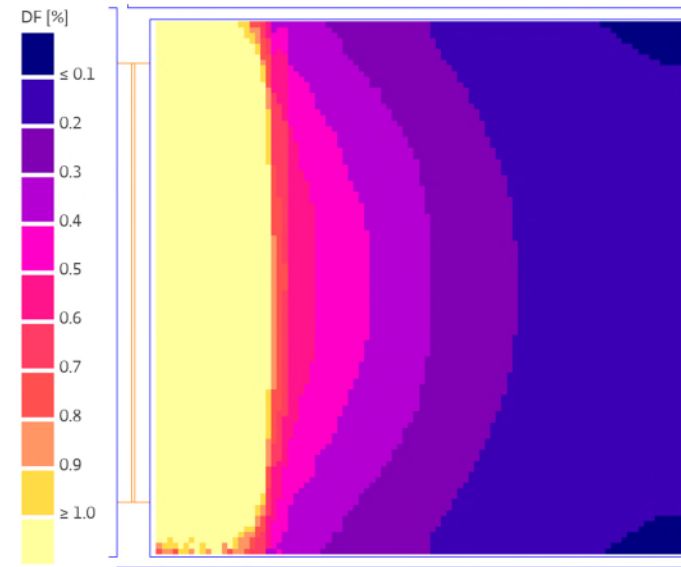


Abb. 58: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

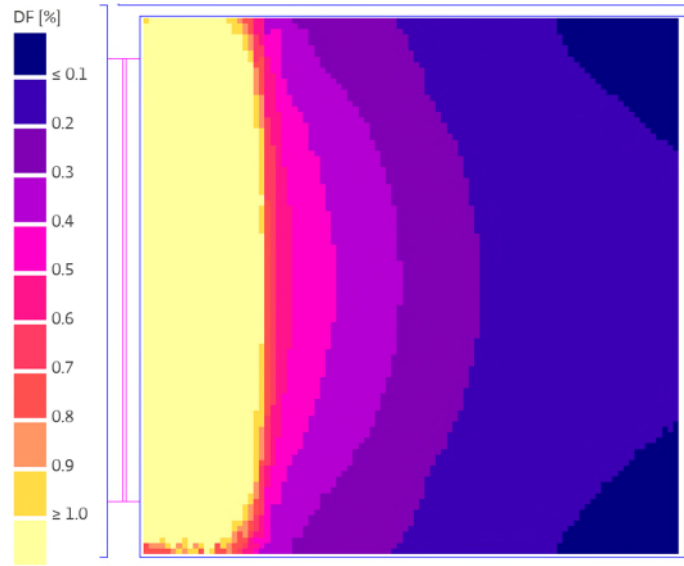
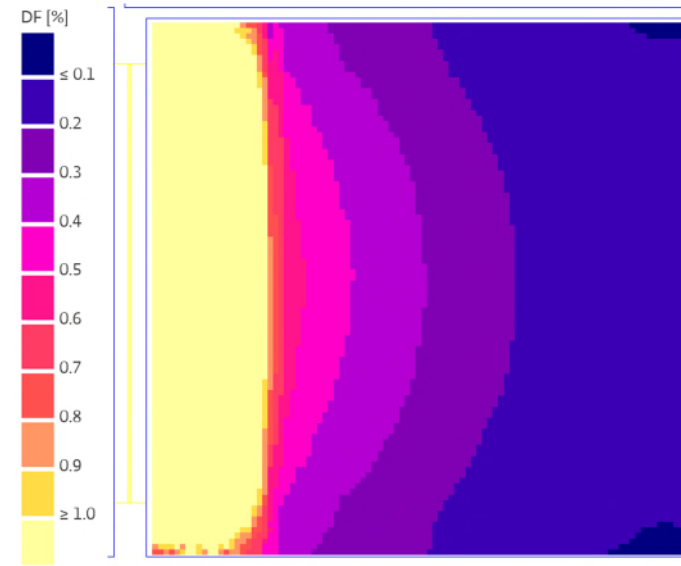


Abb. 60: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 0.75

Abb. 61: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

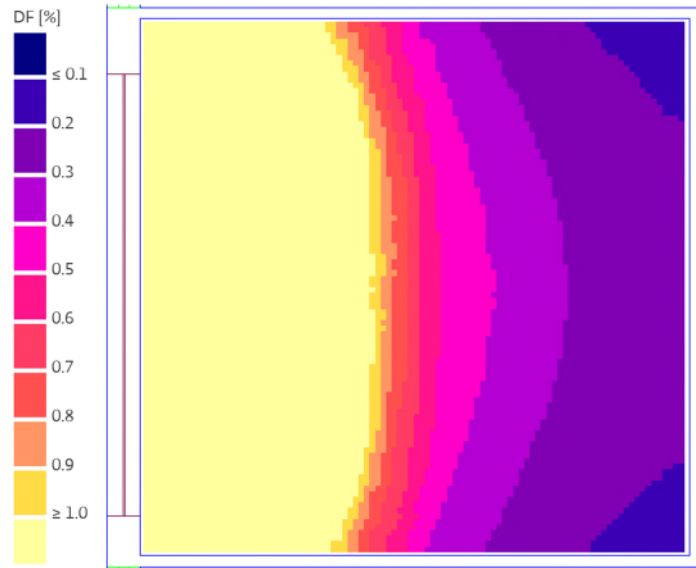


Abb. 63: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

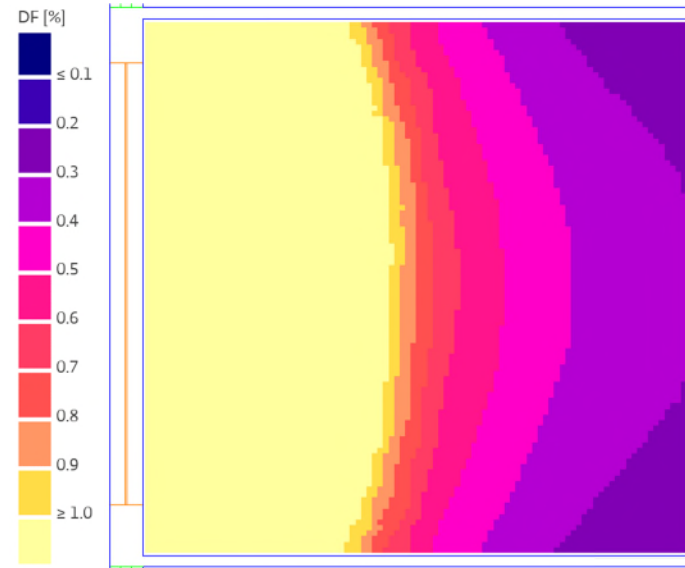


Abb. 62: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

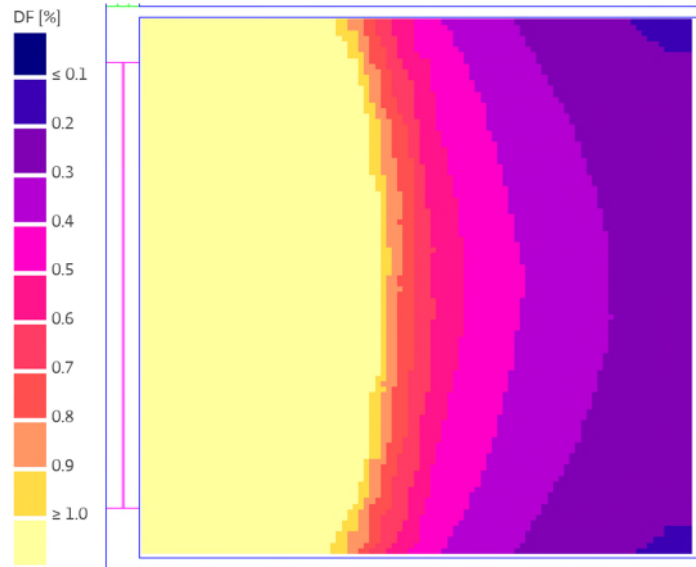
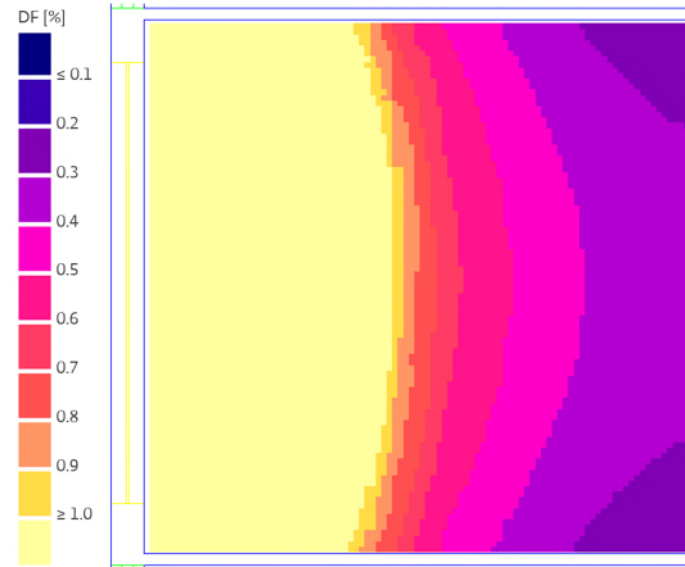


Abb. 64: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 0.9

Abb. 65: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

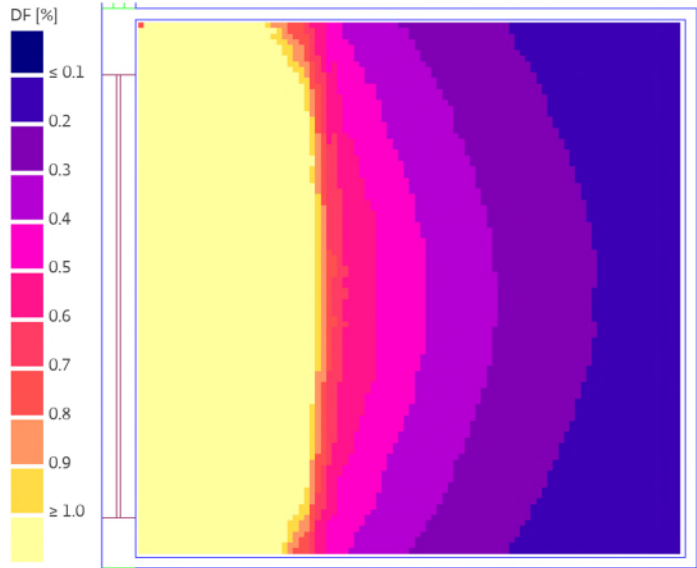


Abb. 67: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

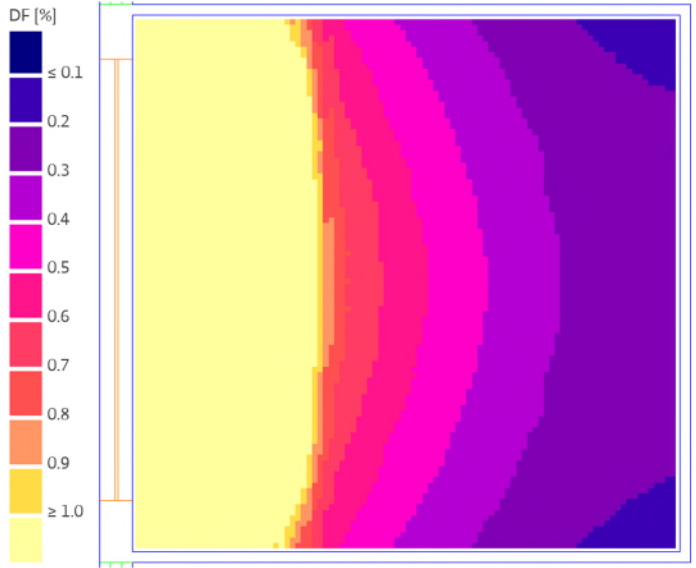


Abb. 66: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

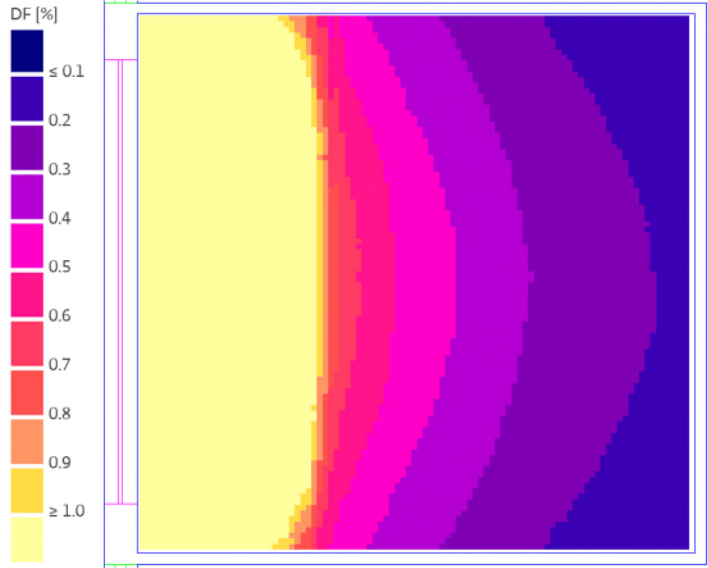
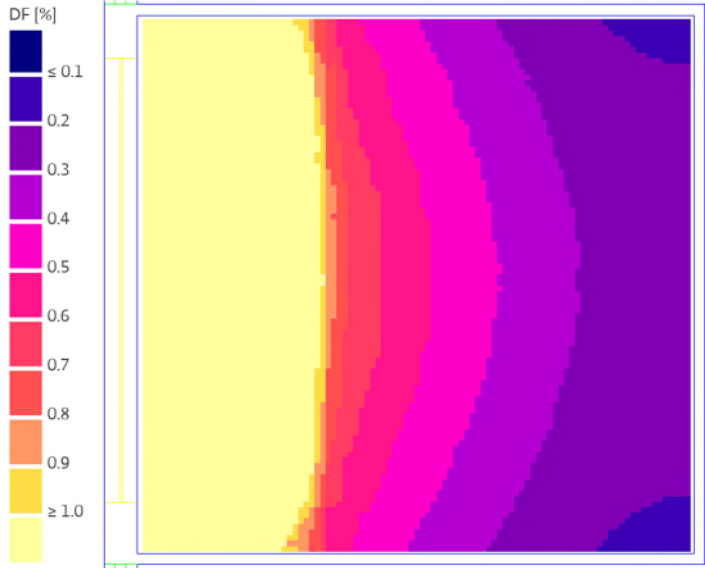


Abb. 68: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 1.0

Abb. 69: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

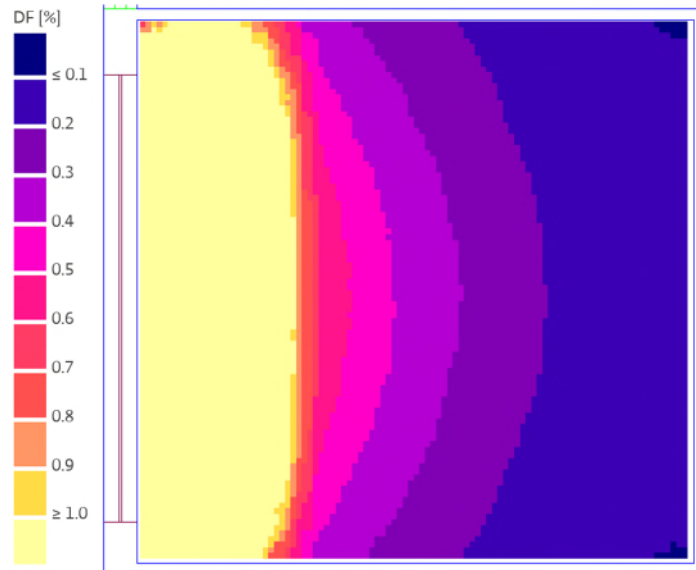


Abb. 71: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

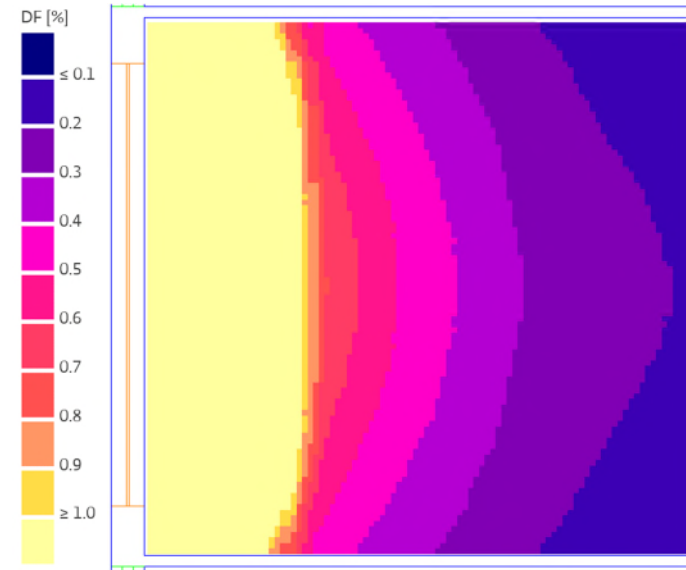


Abb. 70: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

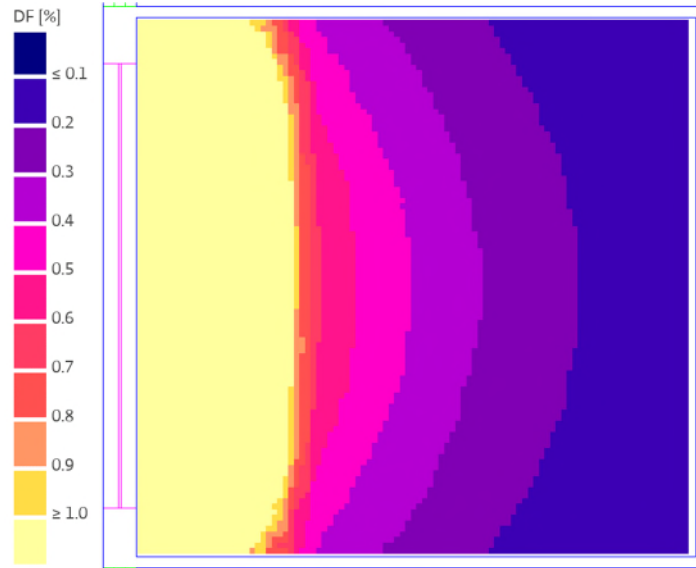
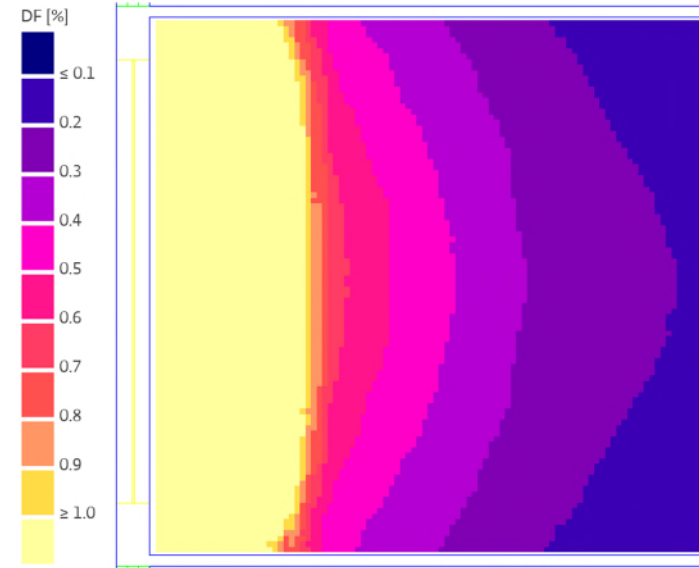


Abb. 72: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 1.1

Abb. 73: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

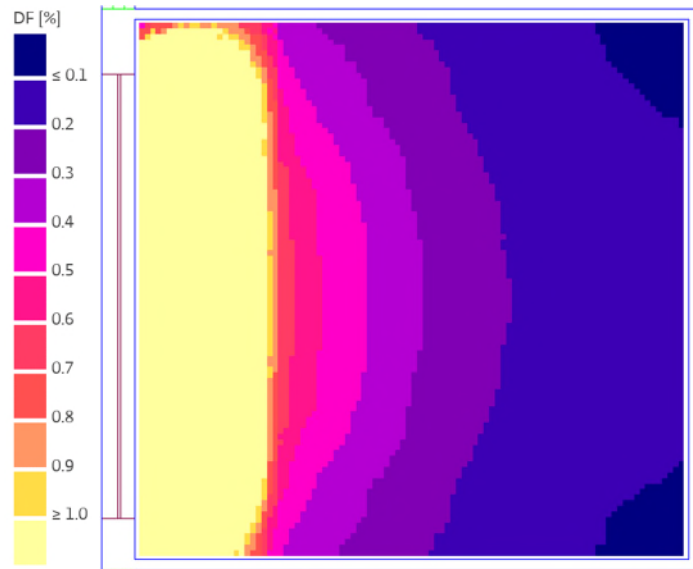


Abb. 75: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

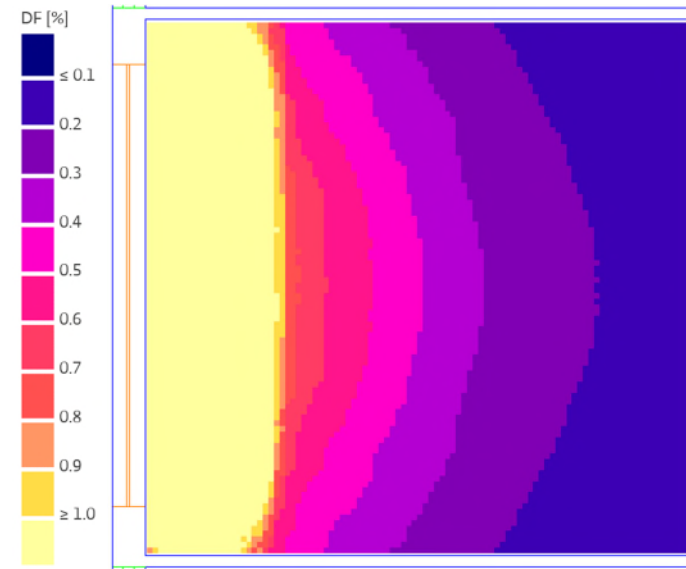


Abb. 74: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

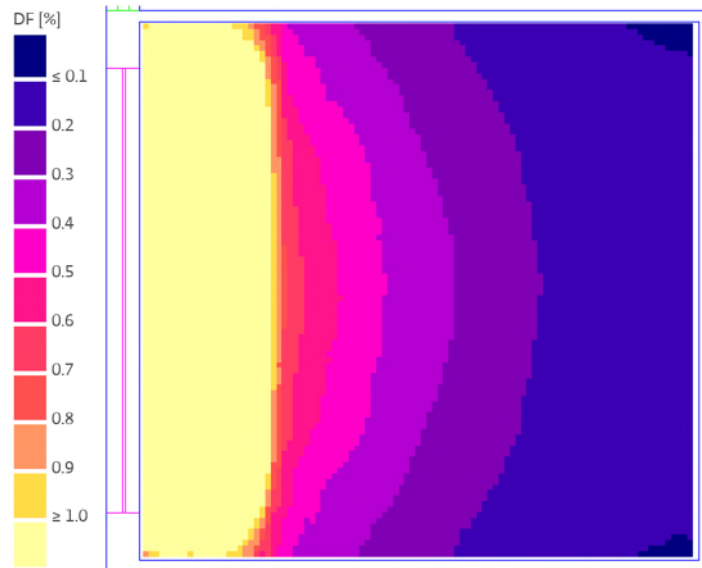
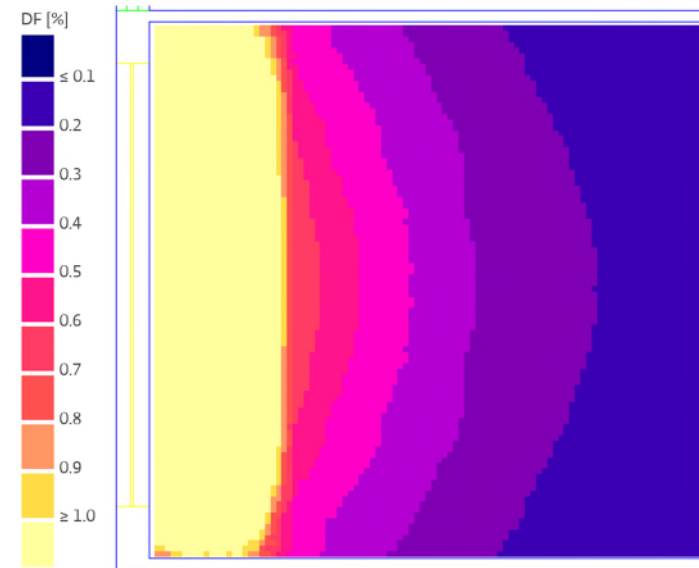


Abb. 76: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 1.2

Abb. 77: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

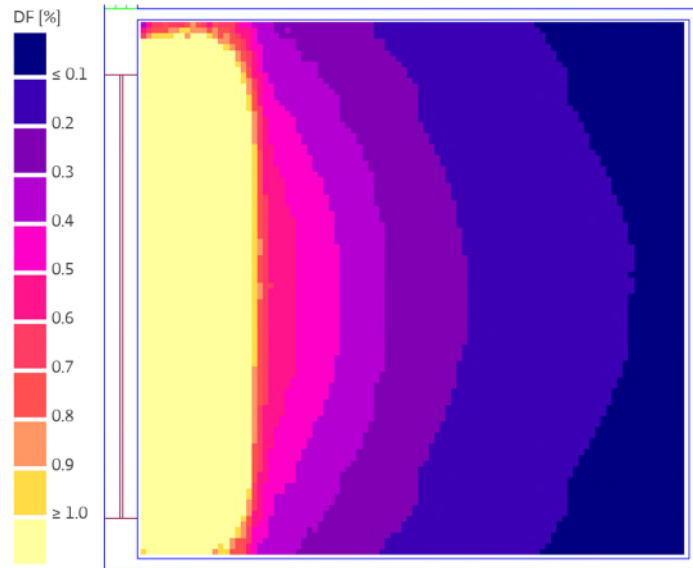


Abb. 79: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

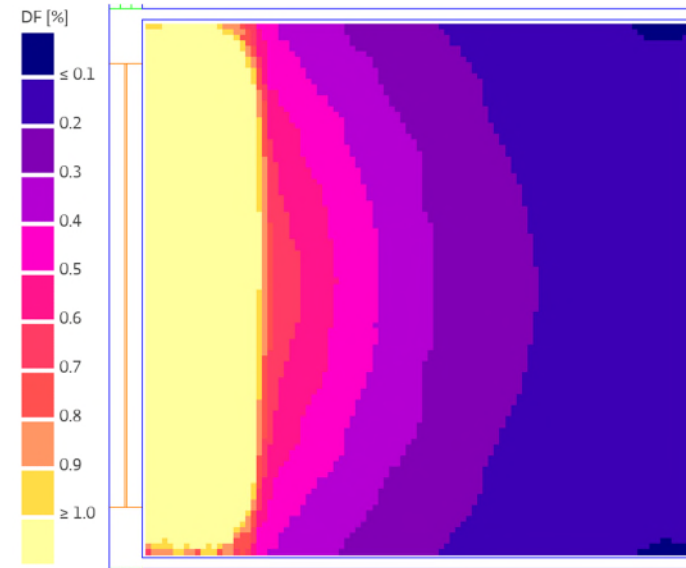


Abb. 78: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

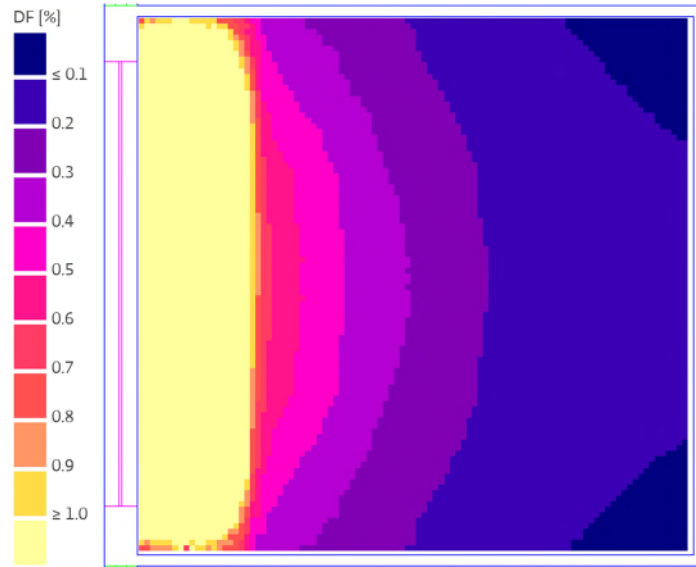
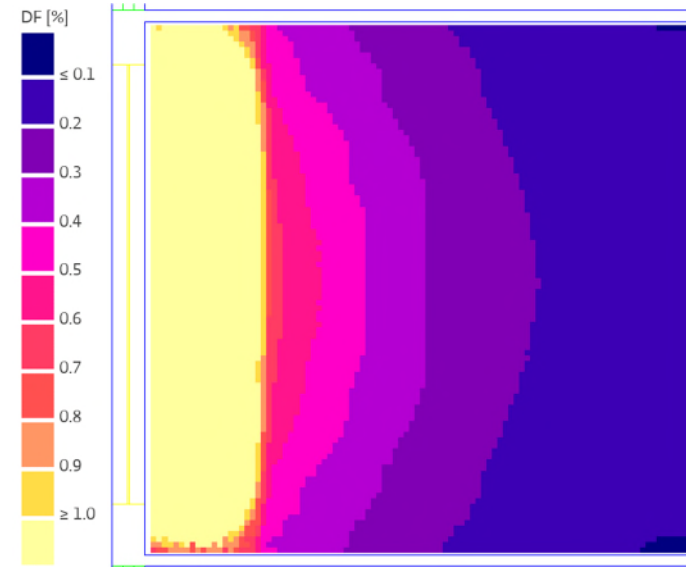


Abb. 80: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 7.5 m, AR = 1.3

Abb. 81: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

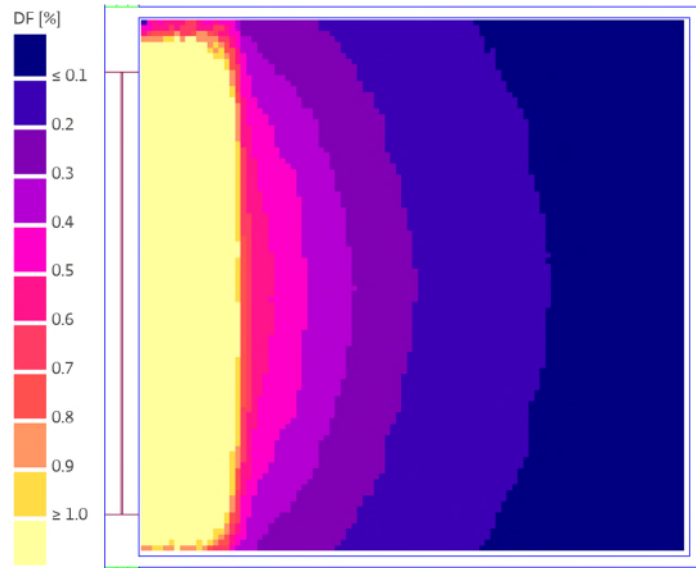


Abb. 83: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

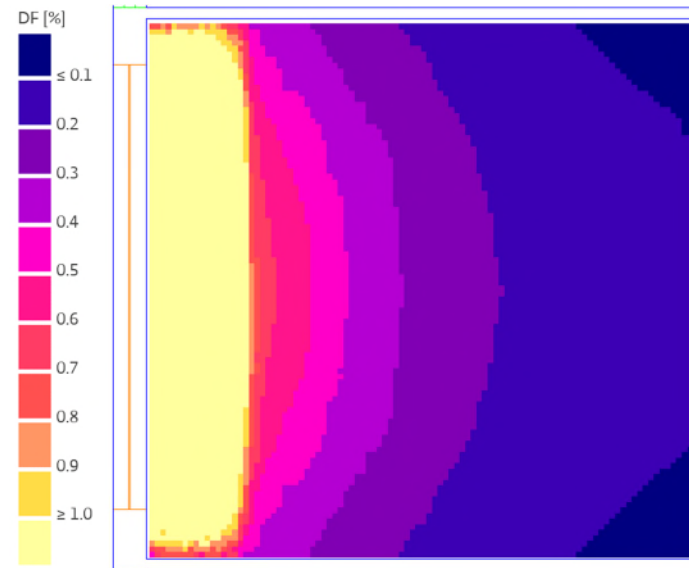


Abb. 82: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

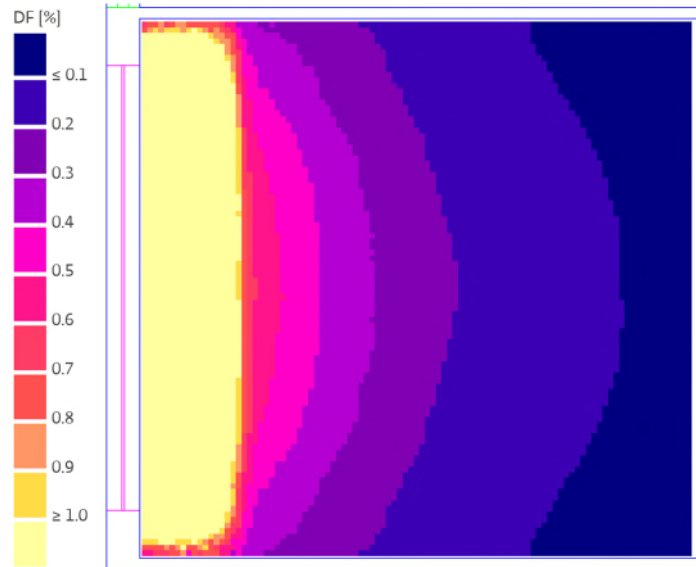
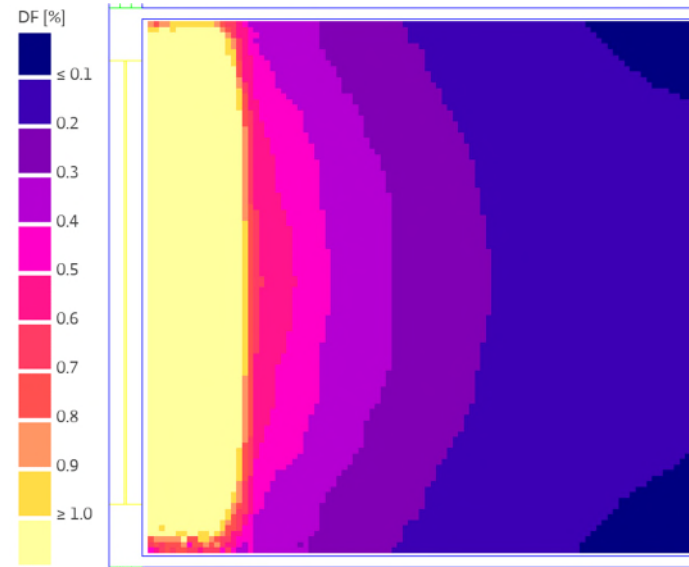


Abb. 84: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 0.56

Abb. 85: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

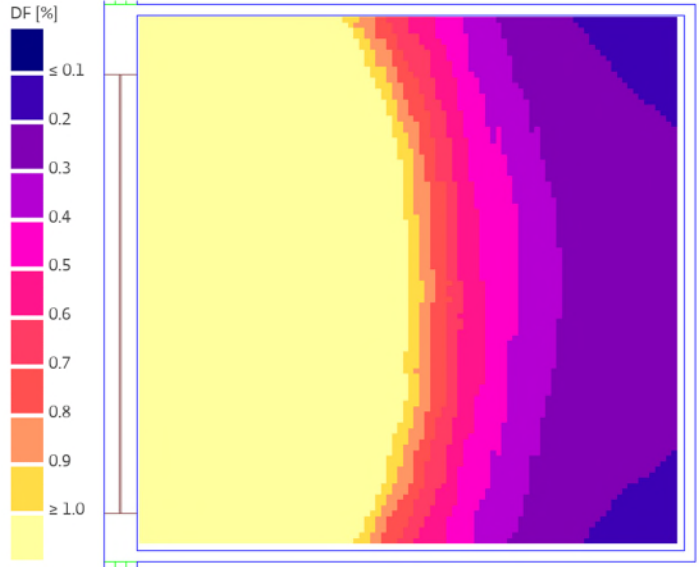


Abb. 87: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

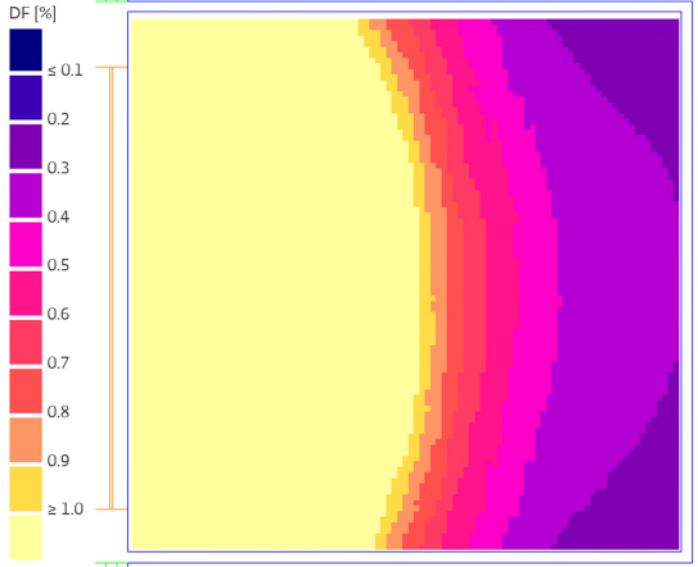


Abb. 86: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

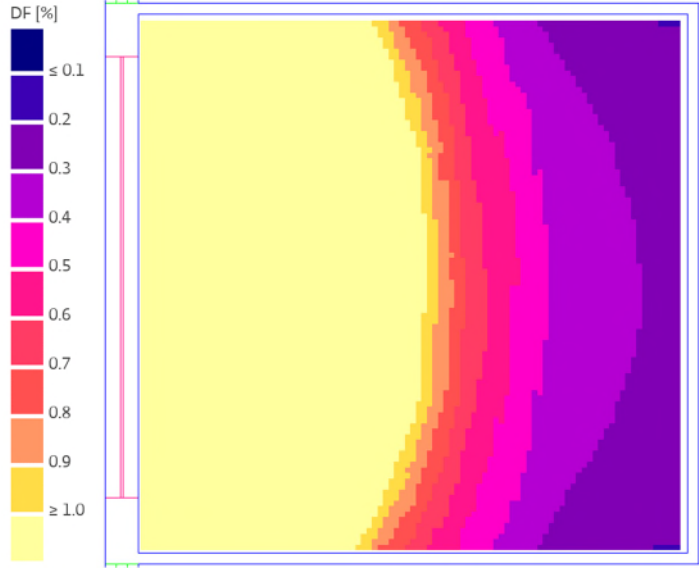
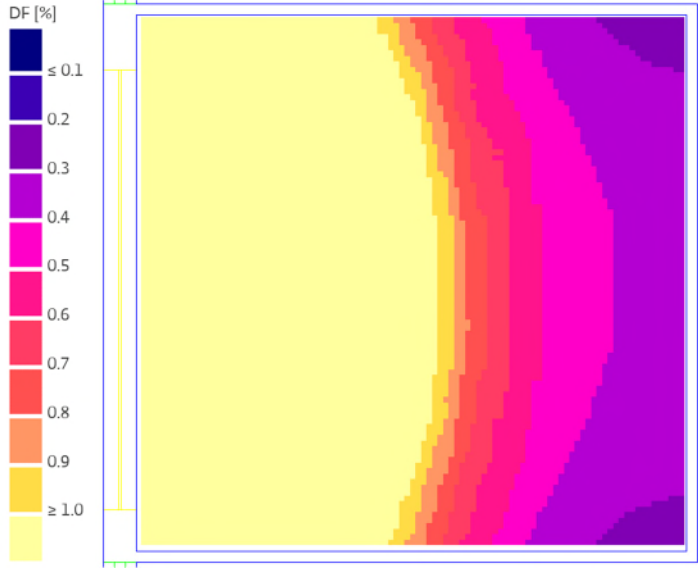


Abb. 88: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 0.9

Abb. 89: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

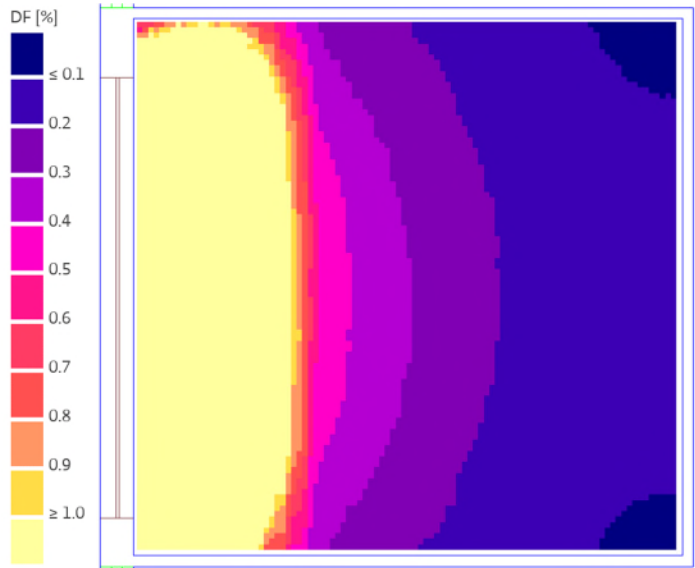


Abb. 91: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

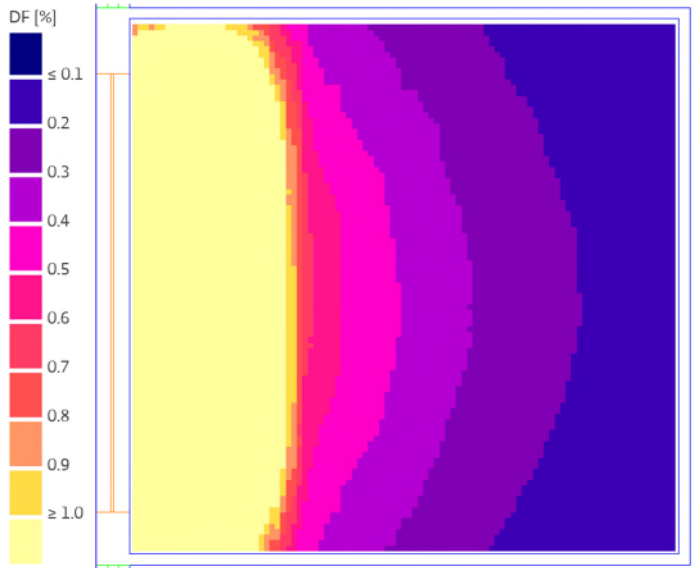


Abb. 90: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

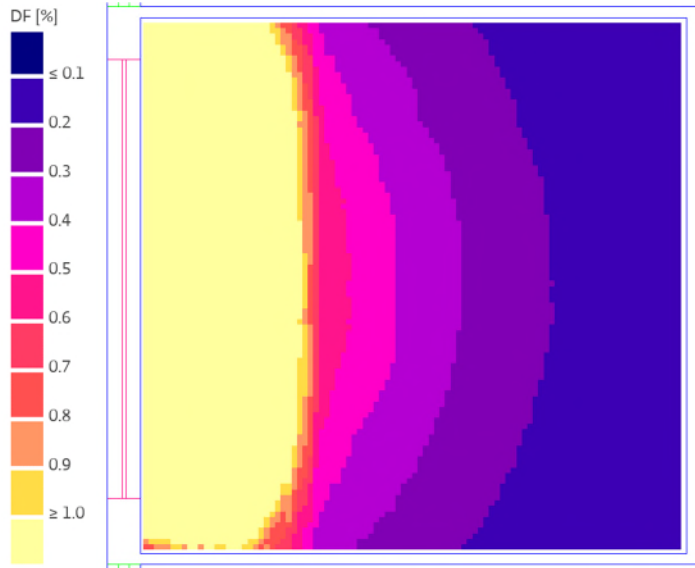
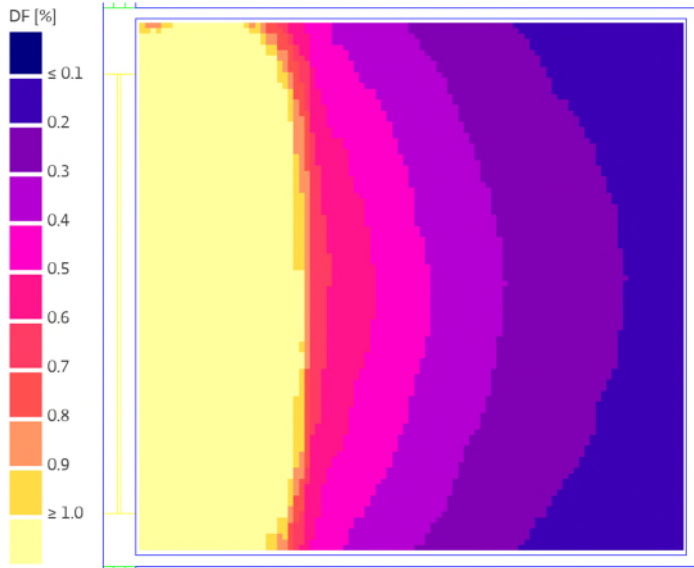


Abb. 92: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 1.0

Abb. 93: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

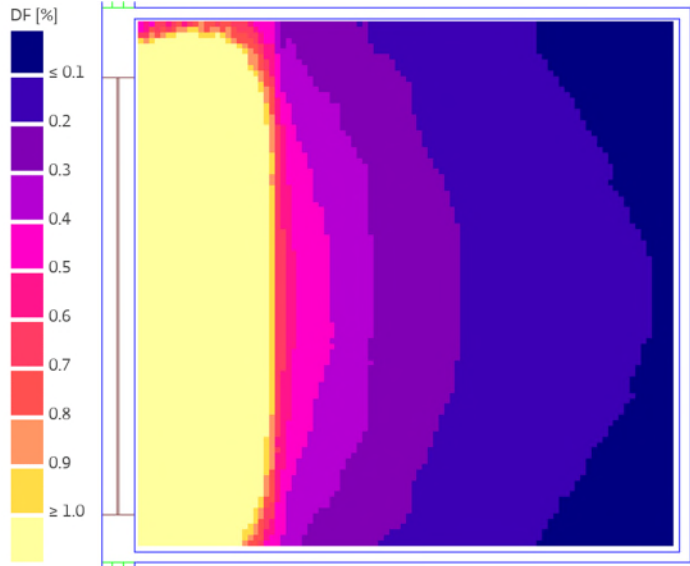


Abb. 95: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

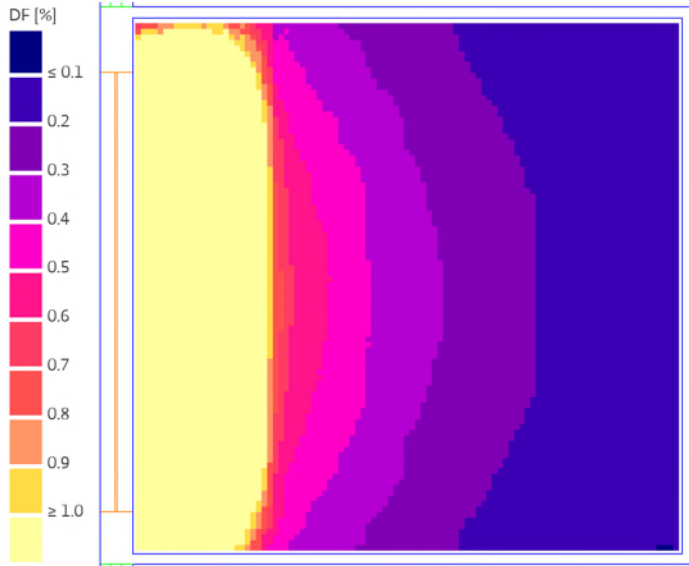


Abb. 94: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

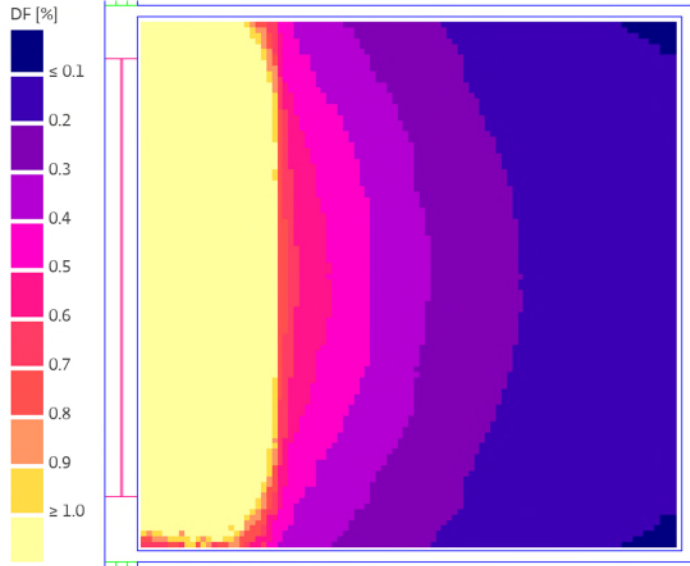
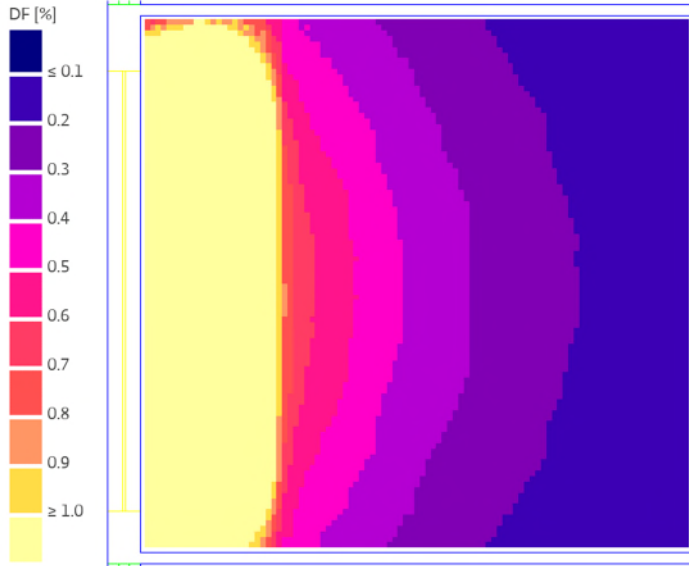


Abb. 96: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 1.1

Abb. 97: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

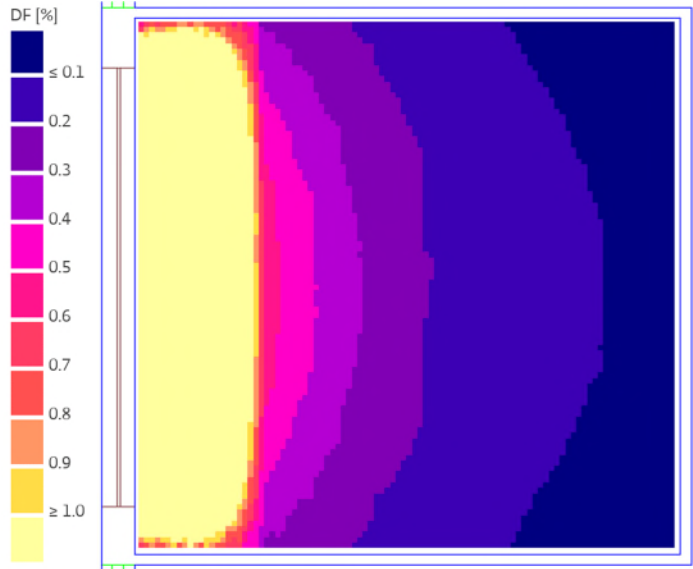


Abb. 99: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

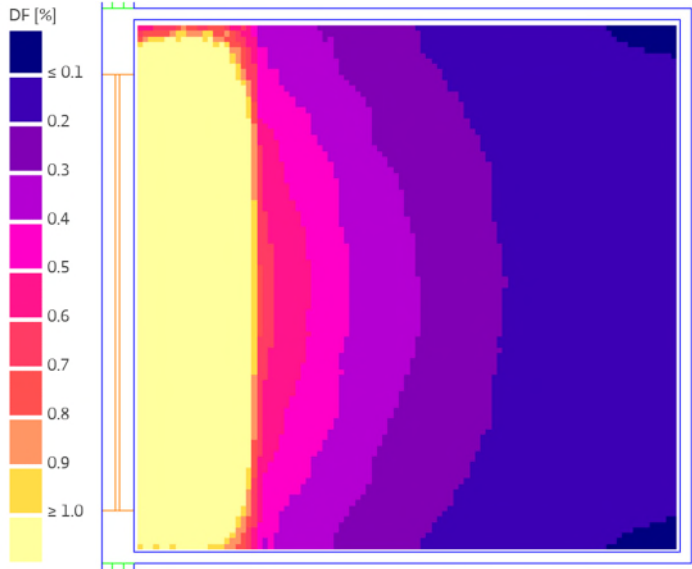


Abb. 98: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

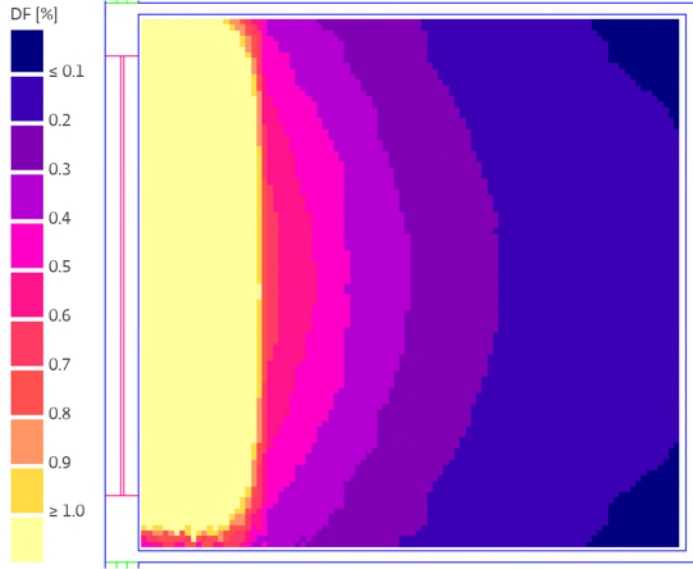
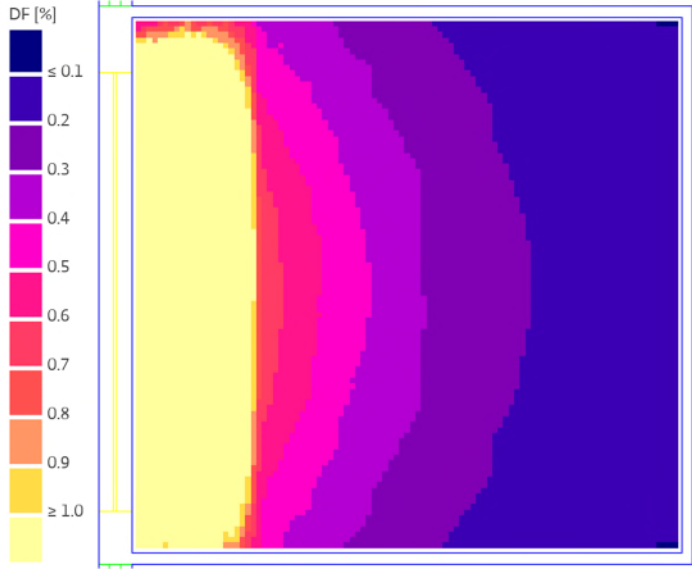


Abb. 100: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 1.2

Abb. 101: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

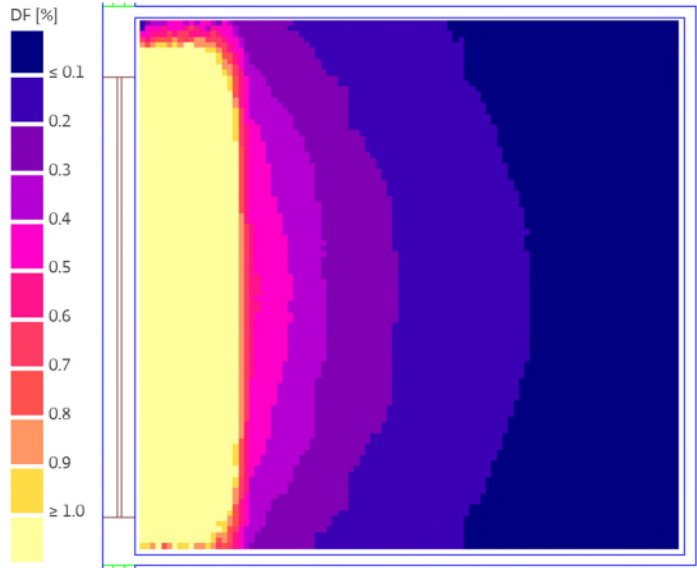


Abb. 103: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

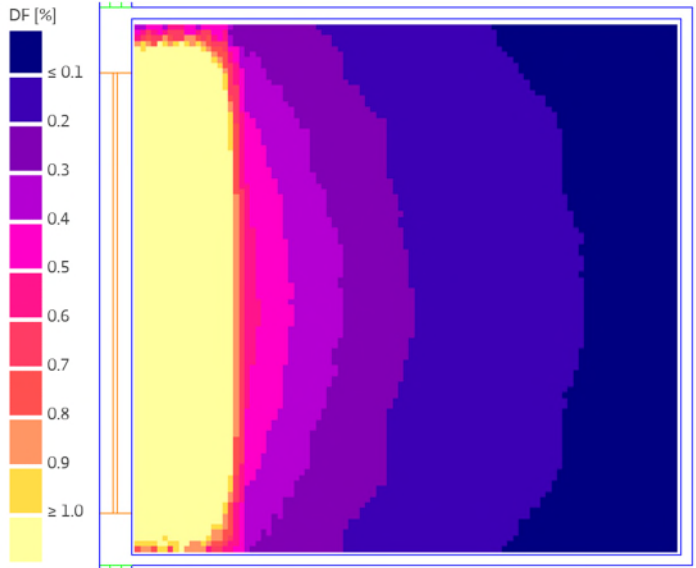


Abb. 102: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

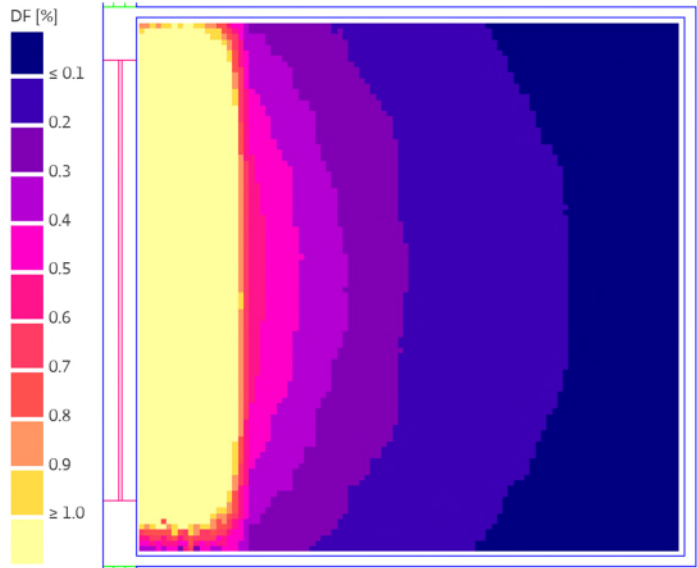
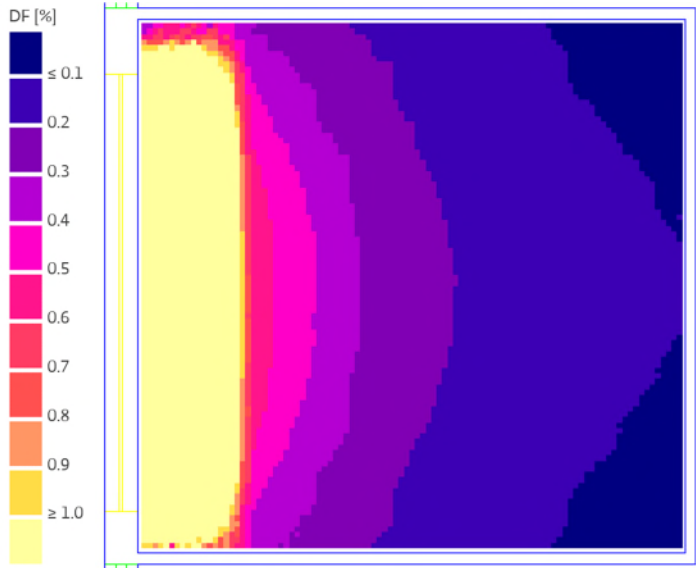


Abb. 104: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 10 m, AR = 1.3

Abb. 105: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

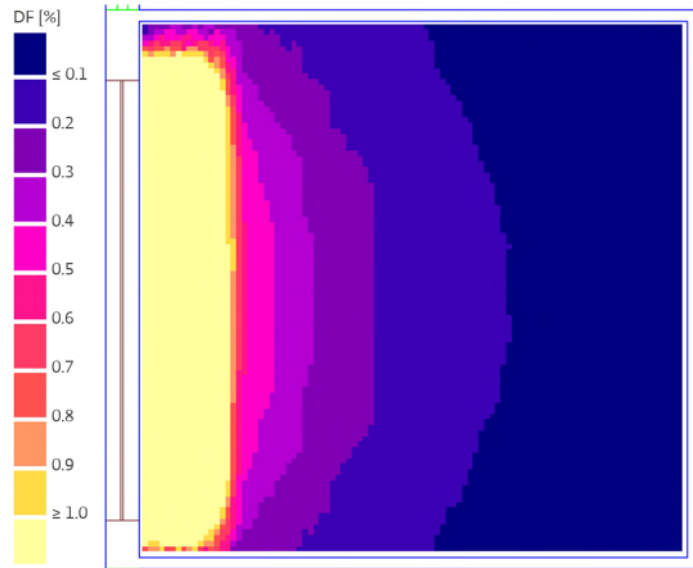


Abb. 107: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

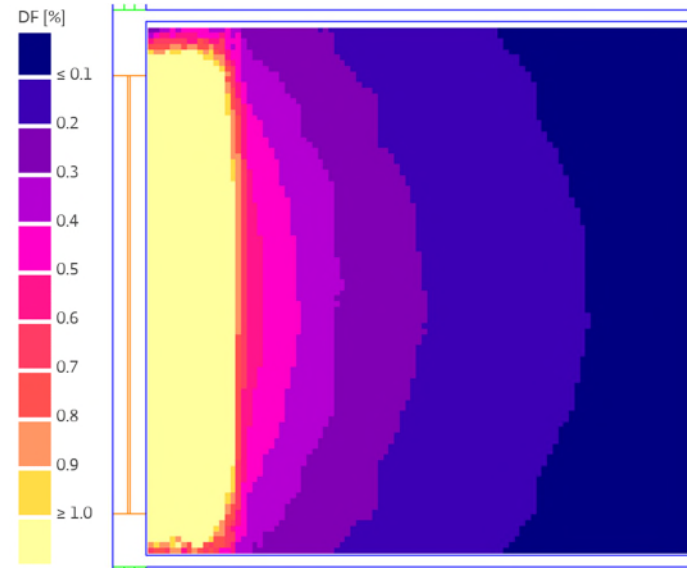


Abb. 106: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

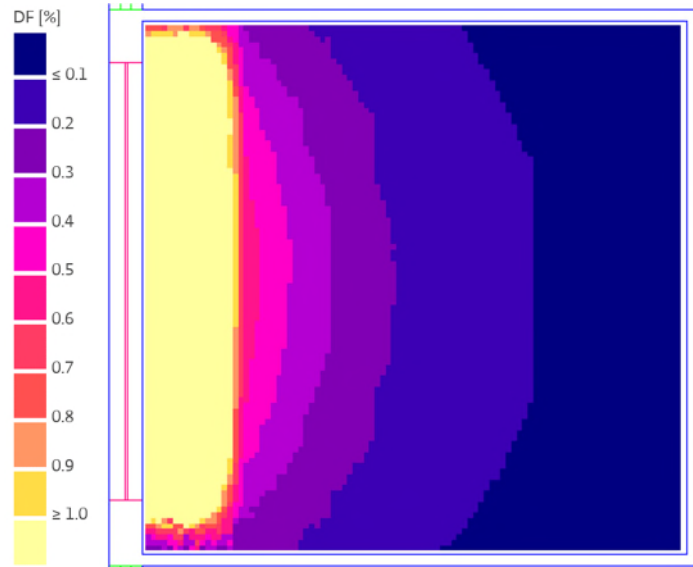
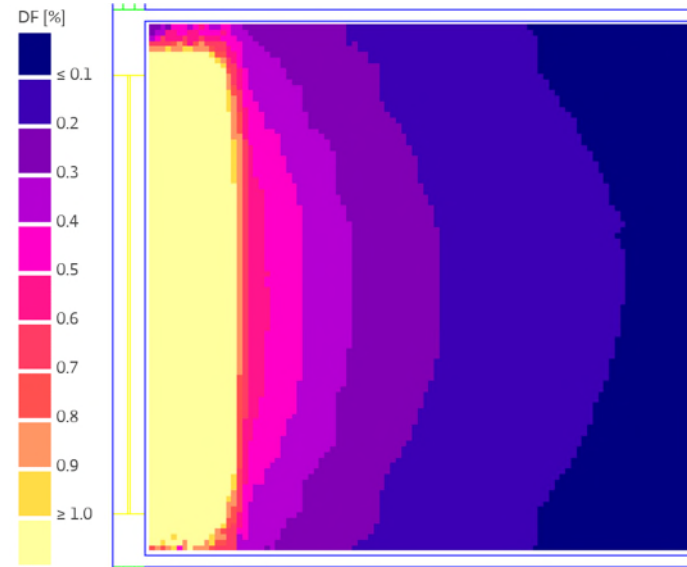


Abb. 108: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 0.56

Abb. 109: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

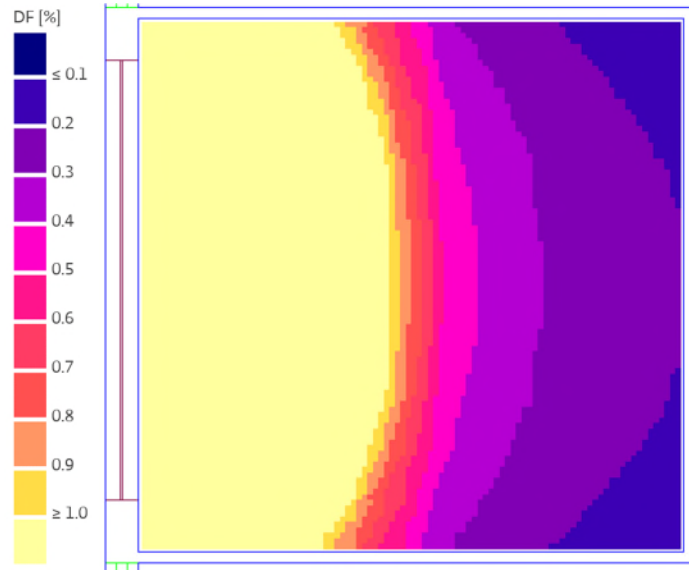


Abb. 111: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

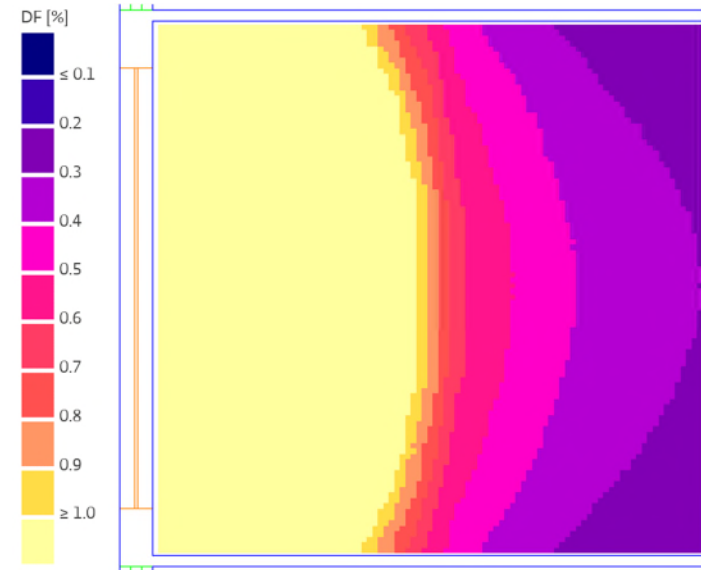


Abb. 110: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

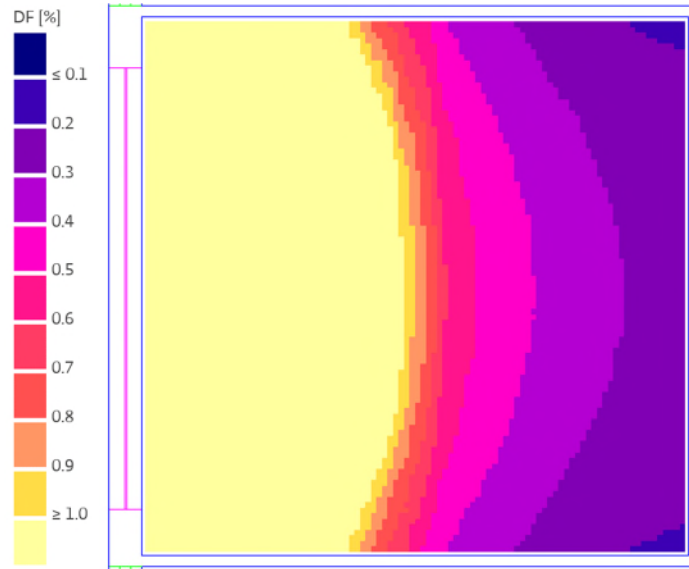
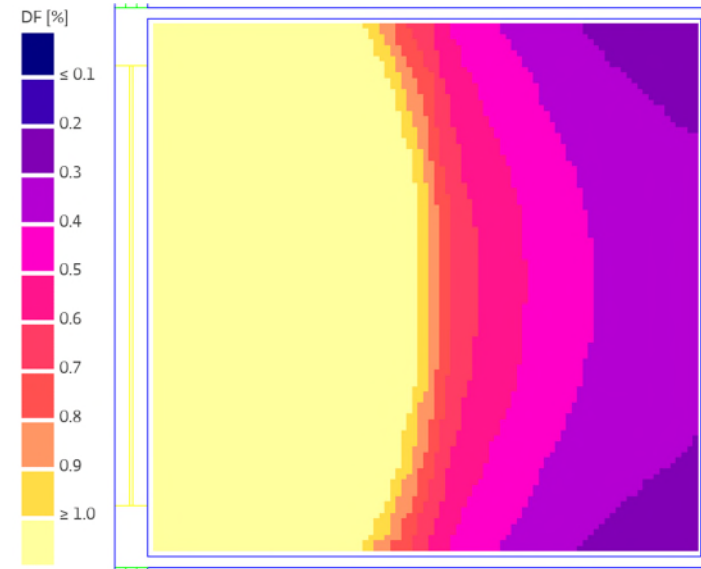


Abb. 112: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 0.9

Abb. 113: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

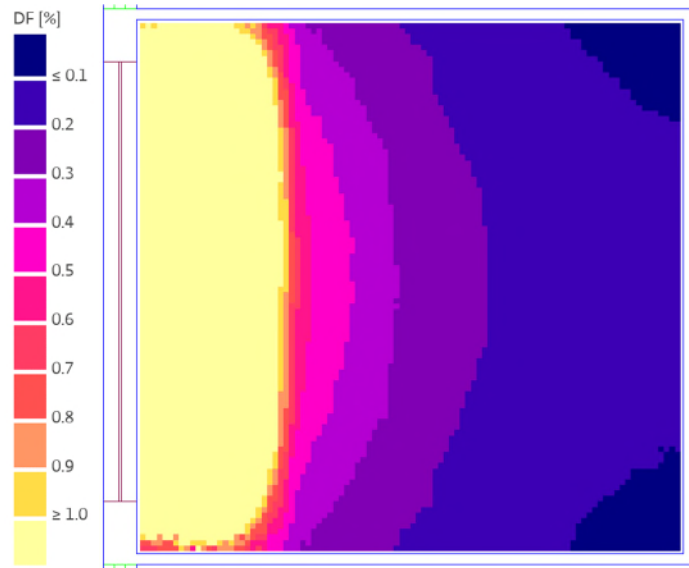


Abb. 115: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

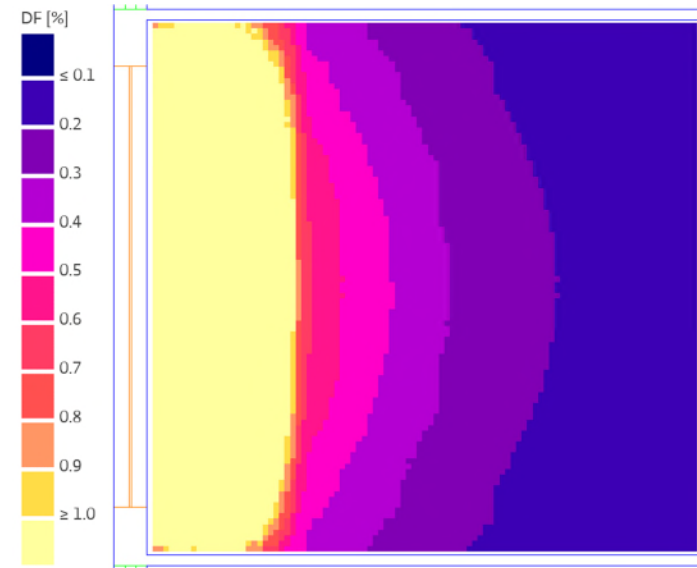


Abb. 114: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

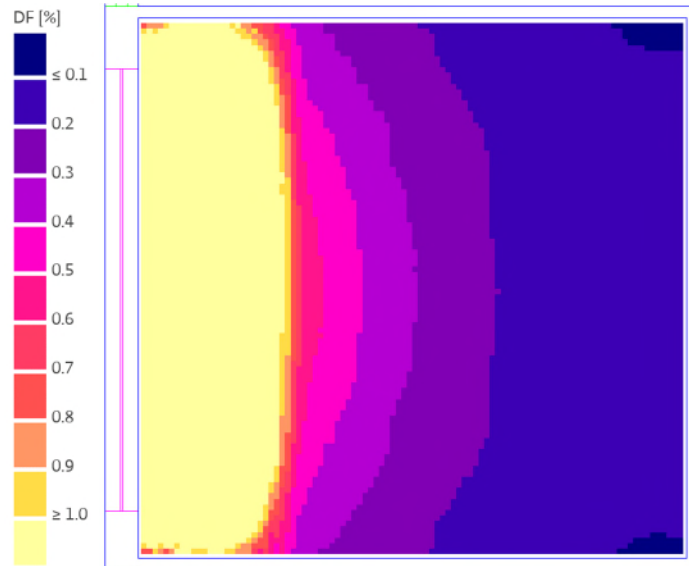
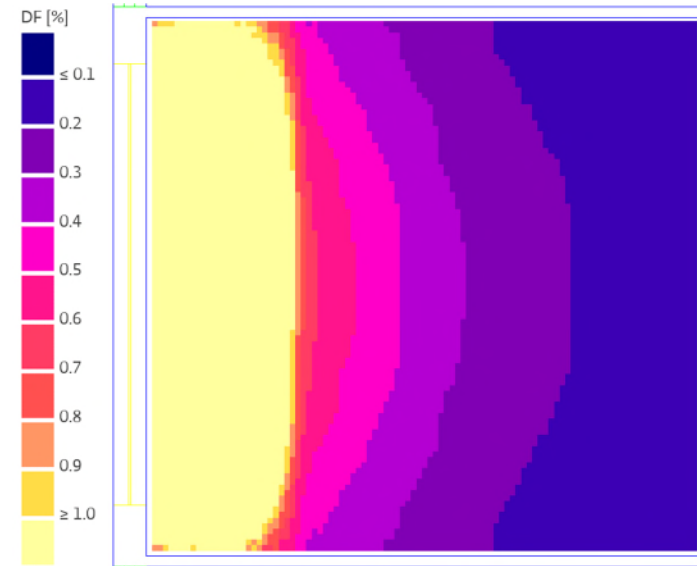


Abb. 116: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 1.0

Abb. 117: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

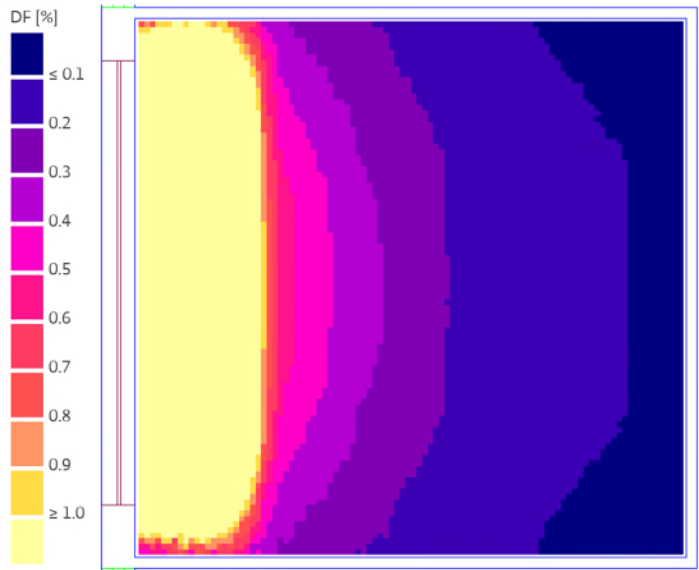


Abb. 119: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

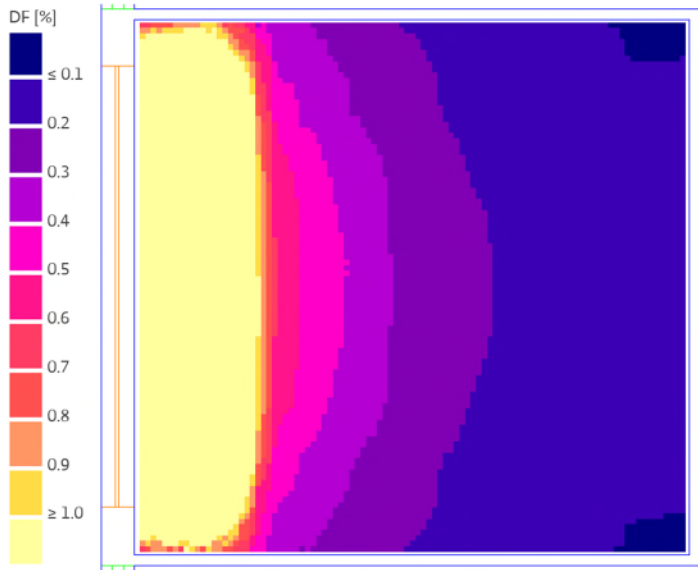


Abb. 118: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

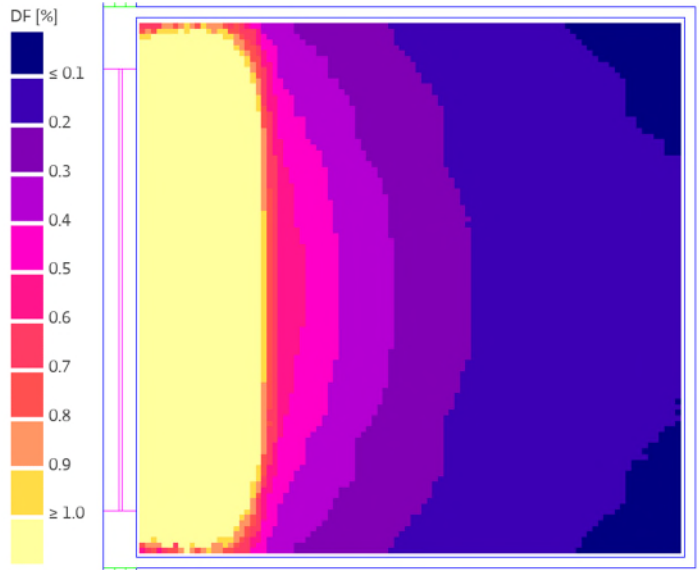
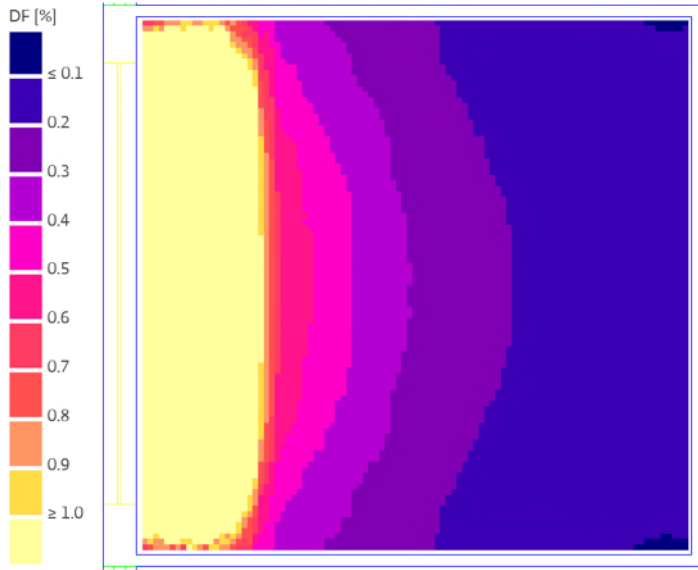


Abb. 120: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 1.1

Abb. 121: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

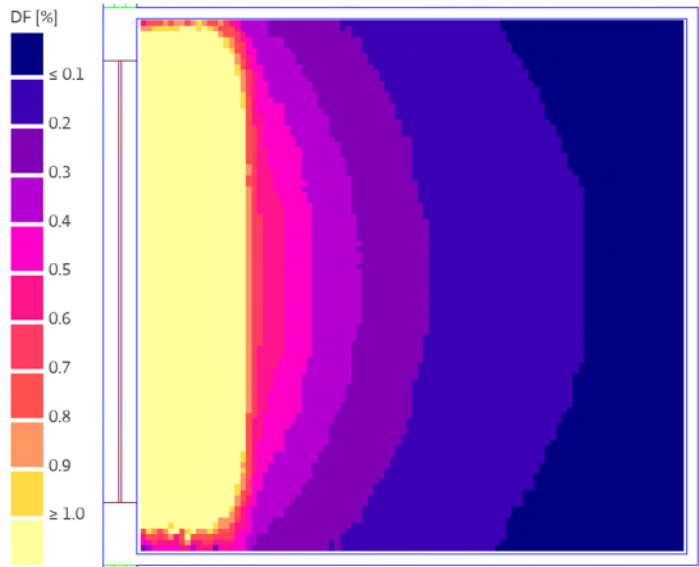


Abb. 123: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

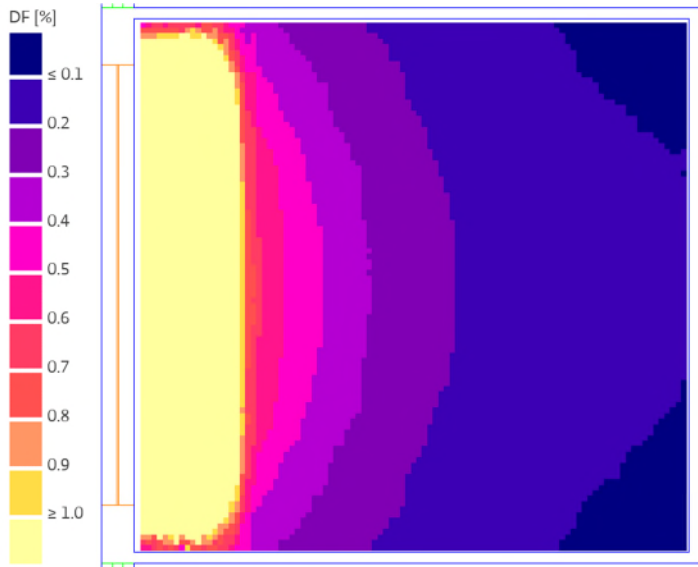


Abb. 122: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

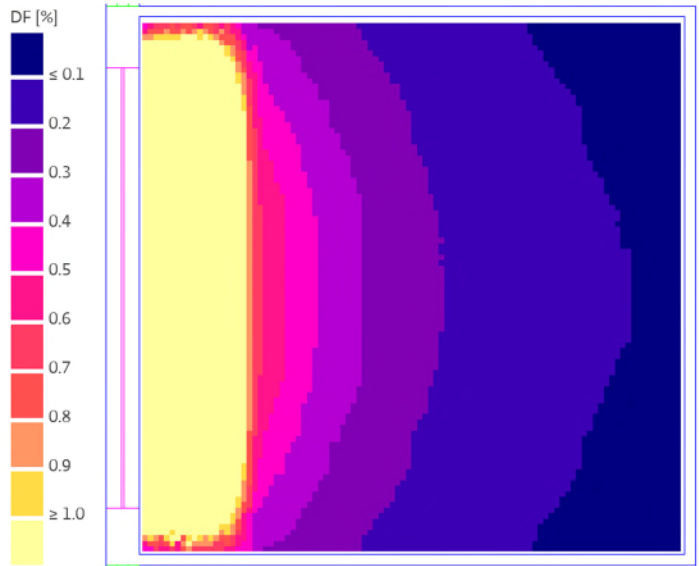
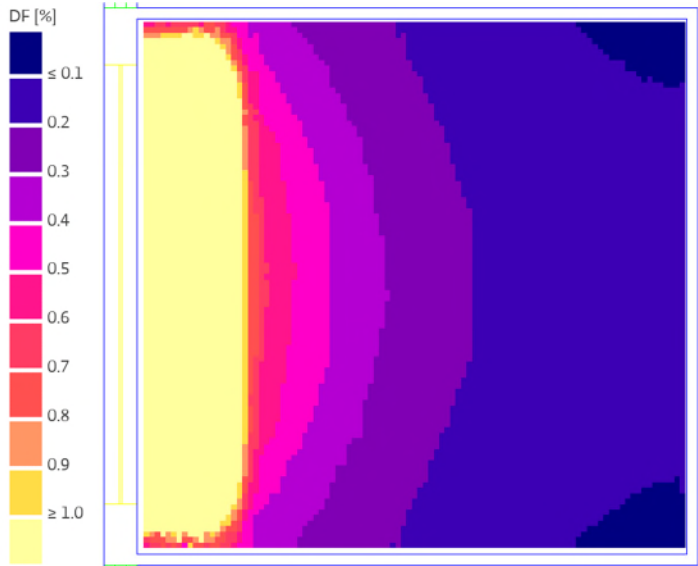


Abb. 124: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 1.2

Abb. 125: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

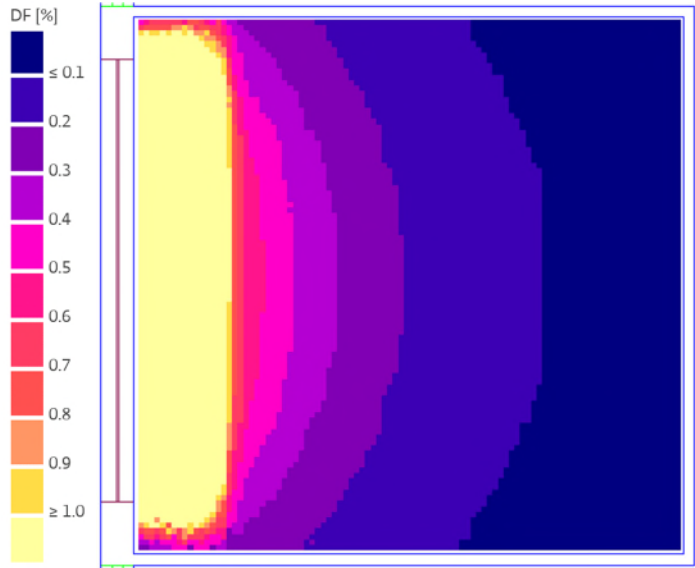


Abb. 127: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

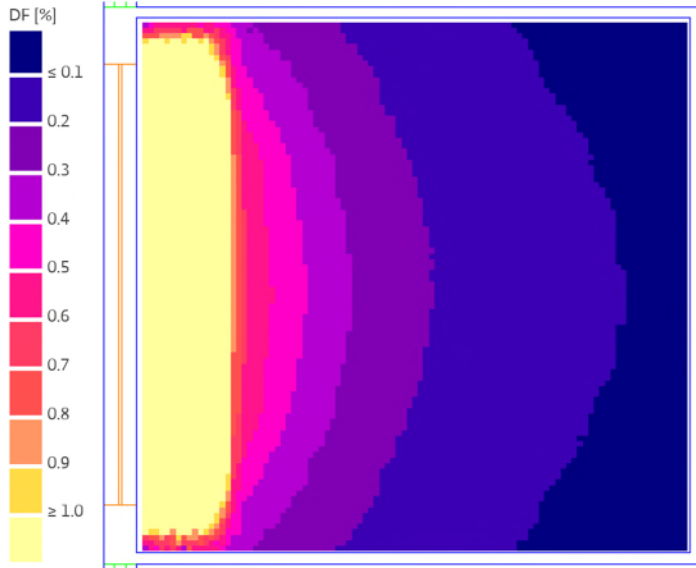


Abb. 126: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

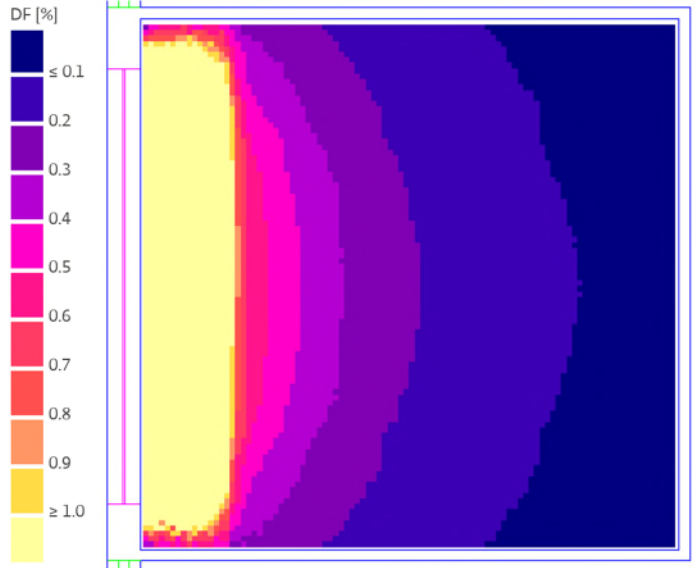
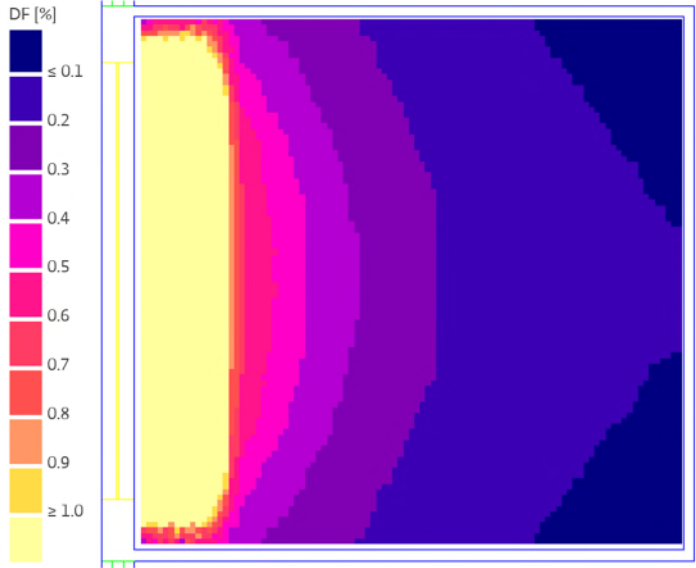


Abb. 128: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %



B = 15 m, AR = 1.3

Abb. 129: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 21 %

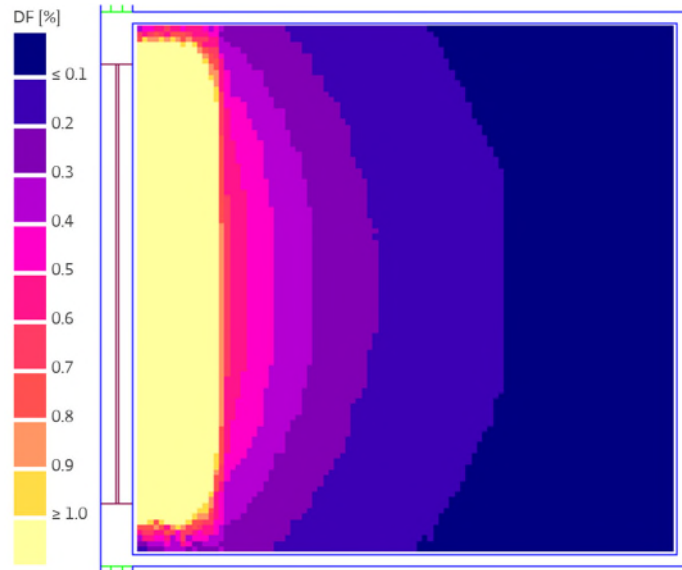


Abb. 131: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 29 %

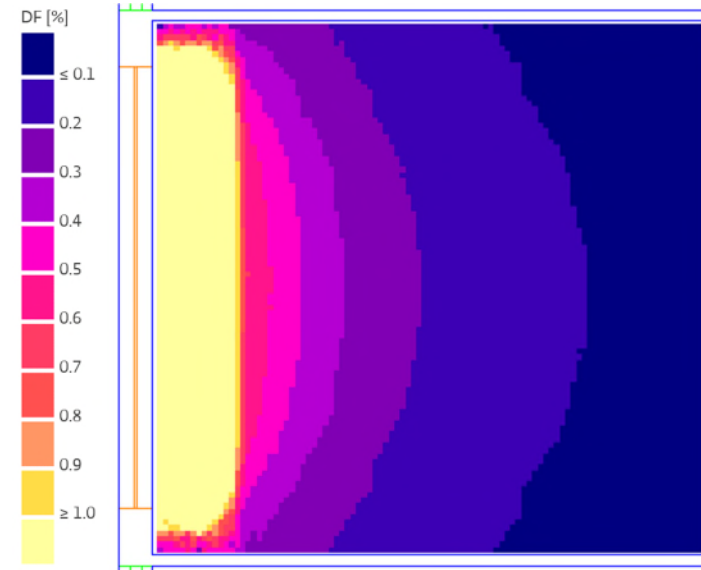


Abb. 130: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 25 %

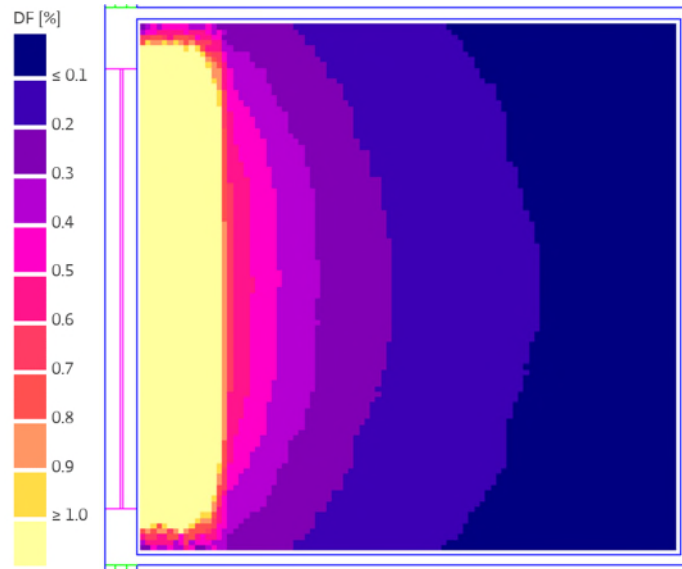


Abb. 132: Tageslichtquotient – Glas/Raum = 33 %

