Zehndorfer Engineering

Blendgutachten

Analyse der Blendwirkung
für die Photovoltaikanlage Todtenweis

Im Auftrag von

PV GBR am Flutgraben
z.H. Hr. Markus Brandmayr
St. Ulrichstr. 10
86447 Todtenweis

Gutachten ZE24211

Oktober 2024

Zehndorfer Engineering GmbH
Stift-Viktring-Straße 21/6
9073 Klagenfurt
Österreich

GF: Dipl.-Ing. Jakob Zehndorfer
Tel: +43 (680) 244 3310
office@zehndorfer.at
www.zehndorfer.at

Firmenbuchnummer: 515736k
LG Klagenfurt
UID Nummer: ATU74524829

Bank: Kärntner Sparkasse AG
IBAN: AT34 2070 6046 0001 4676
SWIFT/BIC: KSPKAT2KXXX

INHALT

1 Situationsbeschreibung 4
1.1 Problembeschreibung 4
1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage 4
1.3 Modellierung 4
1.4 Planungs-Änderungen 6
1.5 Modultype 6
1.6 Untersuchter Raum 6
1.7 Abschattungen & Verdeckungen 7
1.7.1 Geländeprofil 7
1.7.2 Horizont 7
1.7.3 Bewuchs 8
1.7.4 Künstliche Abschattungen 8
2 Blendberechnung 8
2.1 Bedingungen für die Berechnung 8
2.2 Reflexionsberechnung 8
2.3 Erklärung der Ergebnisse 10
2.4 Sichtbezug 11
2.5 Blendwirkung 11
2.5.1 Größenverhältnisse 12
2.5.2 Richtung der Blendung 12
2.5.3 Blendstärke 12
2.5.4 Blenddauer 13
2.5.5 Subjektive Faktoren 14
2.5.6 Verkehrskritische Punkte 14
2.5.7 Ursprung der Reflexionen 14
3 Beurteilung & Empfehlungen 15
ANHANG 1 Definitionen 16
ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze 17
ANHANG 3 Methodik der Berechnung 19
ANHANG 4 Vermessung der Umgebung 20
ANHANG 5 Detail-Ergebnisse der Berechnungen 21

Zusammenfassung

Im Bauverfahren einer Freiflächen-Photovoltaikanlage ist zu prüfen, ob eine Blendwirkung in Richtung des Straßenverkehrs besteht.

Durch die PV-Anlage wird keine gefährliche Blendwirkung in Richtung des Straßenverkehrs stattfinden.

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	22.10.2024	ursprüngliche Fassung

Haftungsausschluss
Die Simulationsmodelle werden mit aller notwendigen Sorgfalt erstellt. Auf Grund unvermeidbarer Abweichungen zwischen Modell und tatsächlicher Situierung der reflektierenden Oberflächen, kann es aber, insbesondere bei der Bestimmung der Zeitpunkte von Blendungen, aber auch bei der Bestimmung von Blenddauern und Winkeln der Lichtstrahlen zu geringen, messbaren Abweichungen kommen. Die simulierten, lichttechnischen Werte basieren auf durchschnittlichen Reflexionsfaktoren. Das Gutachten gilt ausschließlich für die untersuchten, reflektierenden Flächen und Immissionspunkte mit der entsprechend notierten Lage. Die Wirksamkeit von eventuellen Sichtschutzmaßnahmen hängt stark von den relativen Höhen von Sichtschutz, Reflektoren und Immissionspunkten ab, deren Genauigkeit in diesem Fall beim Bau zu prüfen ist.

Copyright
Dieses Gutachten ist das geistige Eigentum der Zehndorfer Engineering GmbH. Seine Verwendung ist nur dem Auftraggeber, seinen Beauftragten und den Behörden für die Zwecke gemäß Kapitel 1 gestattet. Jede andere Verwendung wird untersagt.

1 Situationsbeschreibung

1.1 Problembeschreibung

Menschen, die Fahrzeuge lenken, sind auf gute Sicht angewiesen. Blendung kann das „Fahren auf Sicht“ und das Erkennen von Signalen behindern, wodurch es zu Verkehrsbehinderungen und Unfällen kommen kann.

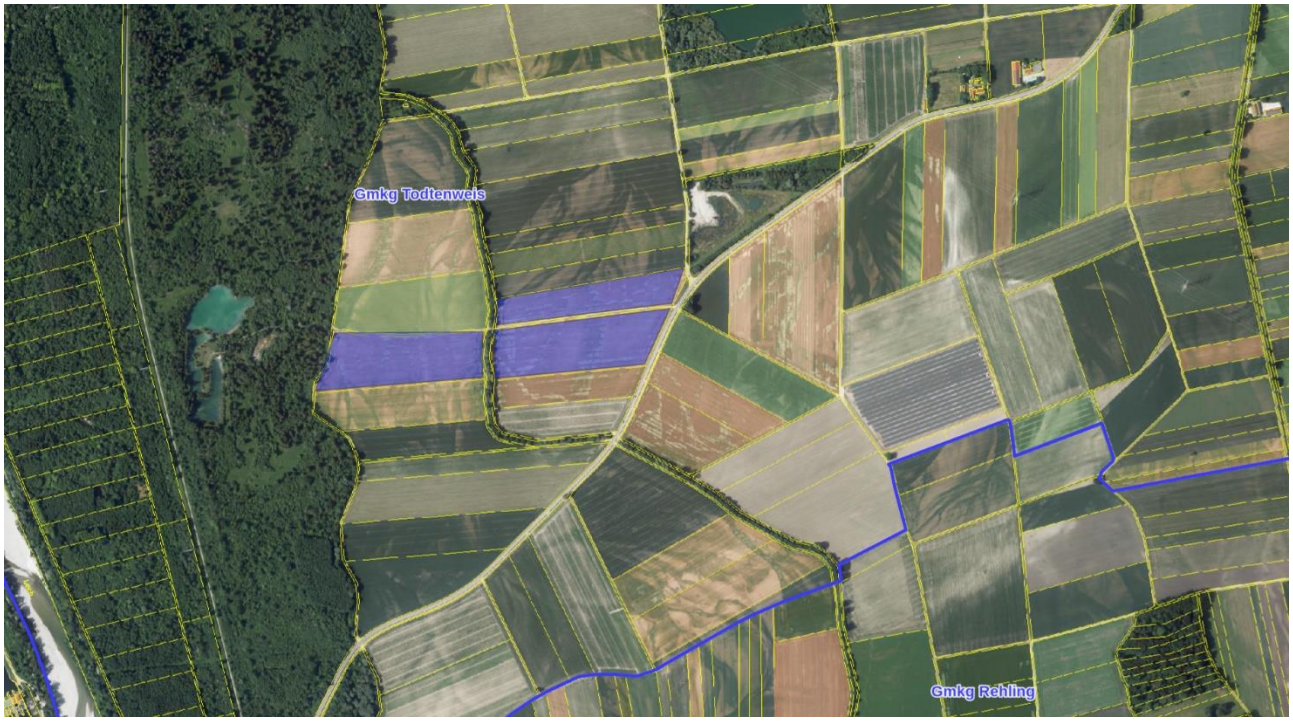
Blendung aus ungewohnten Richtungen können Menschen bei Arbeiten behindern, sowie den Erholungswert im Freien, auf Balkonen oder sogar in den Wohnräumlichkeiten derart verringern, dass von Unzumutbarkeit gesprochen werden kann. Speziell dort wo der Sichtbezug zu einem bestimmten Objekt wesentlich für die Ausführung der Tätigkeiten ist, können Blendungen Störungen darstellen, die Fehleinschätzungen herbeiführen.

Ziel dieses Gutachtens ist die Prüfung, ob der Straßenverkehr von den Reflexionen der PV-Module geblendet werden könnten.

1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-Photovoltaik-Anlage befindet sich in der Gemeinde 56447 Aindling, Landkreis Aichbach-Friedberg (Gemarkung Todtenweis, Flurstücke 1898, 1900 und 1912).

Abbildung 1 Situation



1.3 Modellierung

Für die Simulation werden die reflektierenden Flächen modelliert (d.h. mathematisch beschrieben). Je nach Nähe und Sichtbeziehung der Immissionspunkte, kommen dabei ebene Vierecke, oder Prismen (mit Höhe),

in unterschiedlicher Lage im Raum, zum Einsatz. Falls es für den Gutachter relevant erscheint, werden auch Abschattungen (z.B. Geländekanten oder Häuser) und Fernverschattungen (z.B. durch nahe Berge) modelliert.

Die Modelle dienen ausschließlich dem Zweck der Blendberechnung und stellen die Geometrien der Flächen nur in jenem Umfang dar, in dem es für die Blendberechnung relevant ist. Dabei werden signifikante Vereinfachungen getroffen (die jedoch keine bedeutsame Auswirkung auf die Blendberechnung haben). Die Modelle weichen daher immer von der Realität ab. Sie ersetzen weder eine detaillierte Planung, noch die notwendige Ingenieursarbeit zur baulichen Realisierung der Anlagen.

Abbildung 2 Modellierung der reflektierenden Flächen

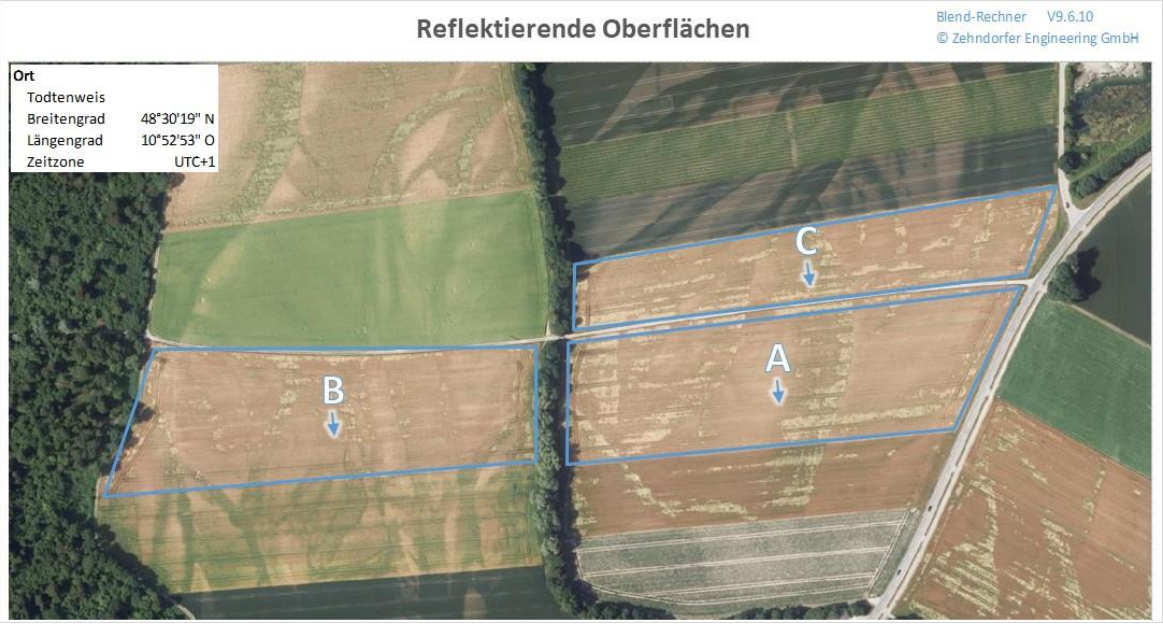
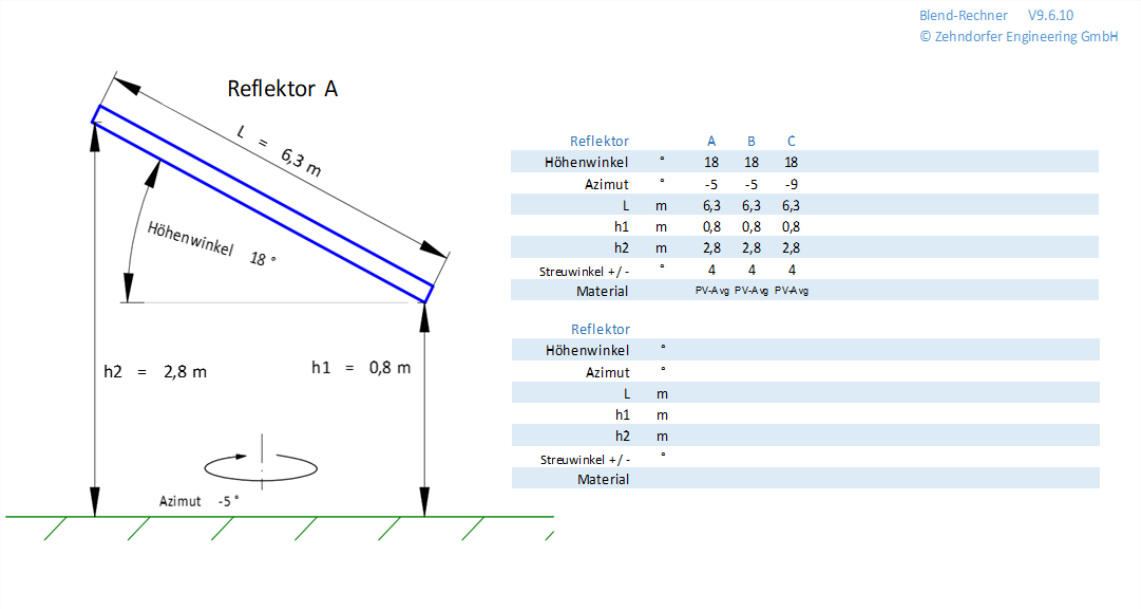


Abbildung 3 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)



Reflektor		A	B	C
Höhenwinkel	°	18	18	18
Azimut	°	-5	-5	-9
L	m	6,3	6,3	6,3
h1	m	0,8	0,8	0,8
h2	m	2,8	2,8	2,8
Streuwinkel +/-	°	4	4	4
Material		PV-Avg	PV-Avg	PV-Avg

Reflektor	
Höhenwinkel	°
Azimut	°
L	m
h1	m
h2	m
Streuwinkel +/-	°
Material	

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum[1]. Die Module sind in Richtung - Süden mit 18° geneigt aufgeständert. Sie sind auf mehrreihigen Modultischen, mit der Oberkante bei 2,8 m angeordnet.

Die tatsächliche Neigung der PV-Module resultiert aus den Winkeln der Modultische und des Untergrunds. Sie wurde mit entsprechenden Drehmatrizen berechnet und ist in Anhang 4 zu sehen. Für die Ausrichtung der PV-Modul-Unterkonstruktion ist Tabelle 2 (Anhang 4) heranzuziehen.

1.4 Planungs-Änderungen

Im Zuge der späteren Ausführungsplanung des Projektes, kann es für den Planer erforderlich werden, die Parameter der Anlage zu ändern, sodass diese von der Modellierung abweichen. Wenn diese Änderungen gering sind, werden keine wesentlichen Auswirkungen auf die Blendwirkung zu erwarten sein und das Blendgutachten behält weiterhin Gültigkeit. Bei größeren Änderungen ist eine Aktualisierung der Blendberechnung zu empfehlen.

Beispiele für kleine Änderungen:

- geringe Änderungen des Modulhöhen- oder Seitenwinkels (bis 3°)
- Beliebige Änderungen des Modullayouts innerhalb des modellierten Umfangs
- geringe seitliche Abweichungen des Umfangs der Modulbelegung (bis 1m)
- Änderung der Modultype (es sei denn, in Kapitel 3 wird explizit eine bestimmte Modultype gefordert)
- Für Freiflächenanlagen: Änderungen in Modultisch-Oberkante oder -Unterkante (bis zu 50cm)
- Für Freiflächenanlagen: Beliebige Änderung des Modultisch-Reihenabstandes

1.5 Modultype

Für die Blendberechnung wird a priori von durchschnittlichen PV-Modulen ausgegangen, sodass die tatsächliche Wahl der PV-Module durch das Gutachten nicht wesentlich eingeschränkt wird. Für die Streuung an den PV-Modulen wurde ein üblicher Streuwinkel von +/- 4° angenommen.

1.6 Untersuchter Raum

Die Immissionspunkte (IP) sind jene Punkte, für die die Blendberechnung durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Punkte liegen auf der AIC8 Langweider Straße in beiden Richtungen (2,5m über der Fahrbahn, siehe Anhang 4).

[1] Der Seitenwinkel (Azimut) wird dabei mit Süd = 0, Ost negativ und West positiv angegeben. Der Höhenwinkel (Elevation) wird als Differenz der Reflexionsebene und der Horizontalen angegeben.

Abbildung 4 Immissionpunkte

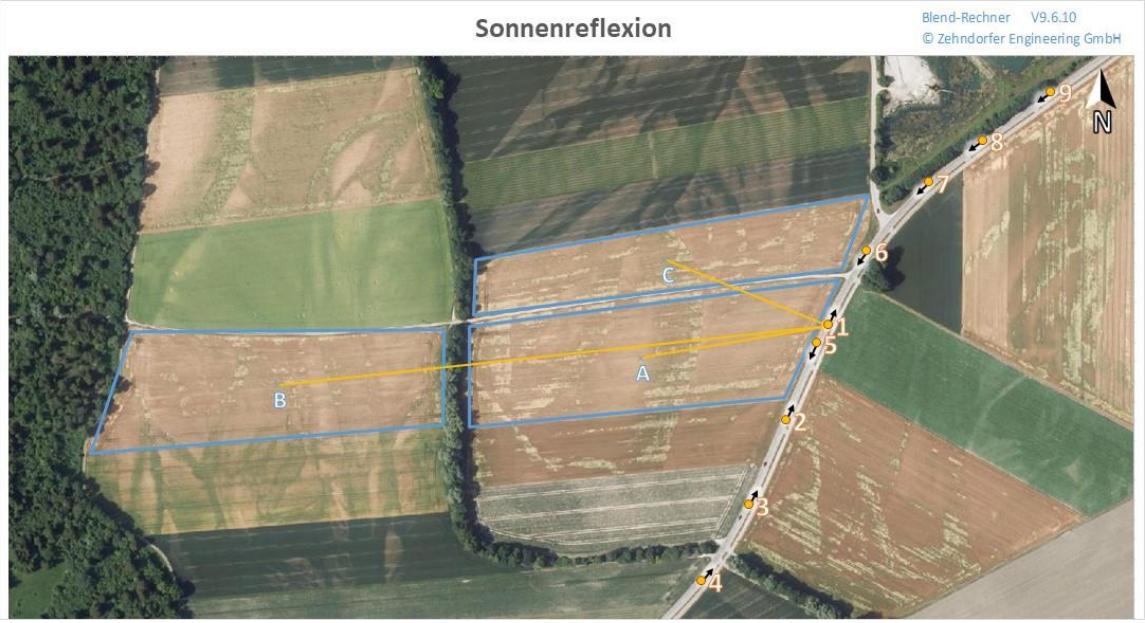


Abbildung 4 zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und des PV-Feldes. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss.

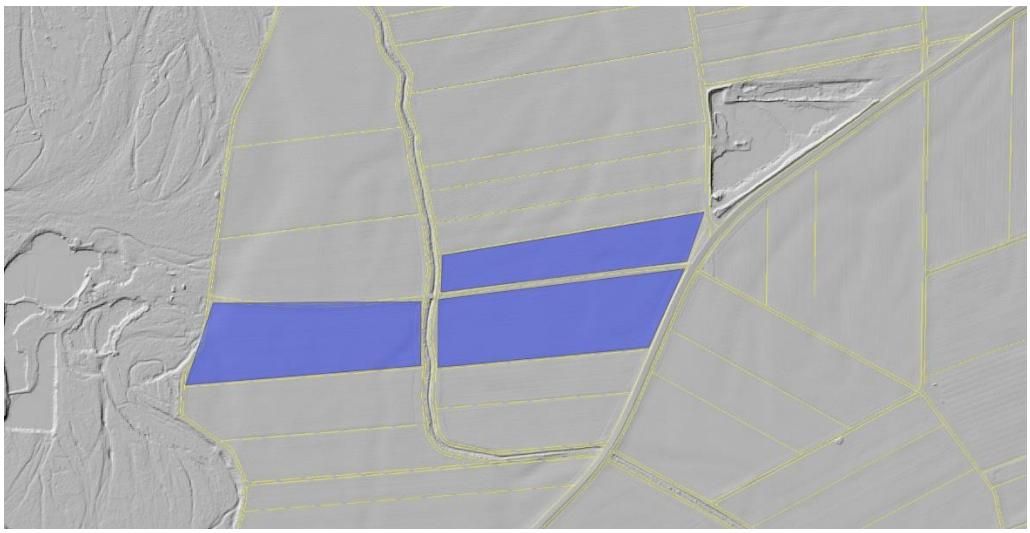
Die detaillierte Vermessung der relevanten Umgebung ist in Anhang 4 zu finden.

1.7 Abschattungen & Verdeckungen

1.7.1 Geländeprofil

Das umliegende Geländeprofil ist relativ flach. Es gibt keine Geländekanten, die den Blick auf die PV-Anlage verhindern würden.

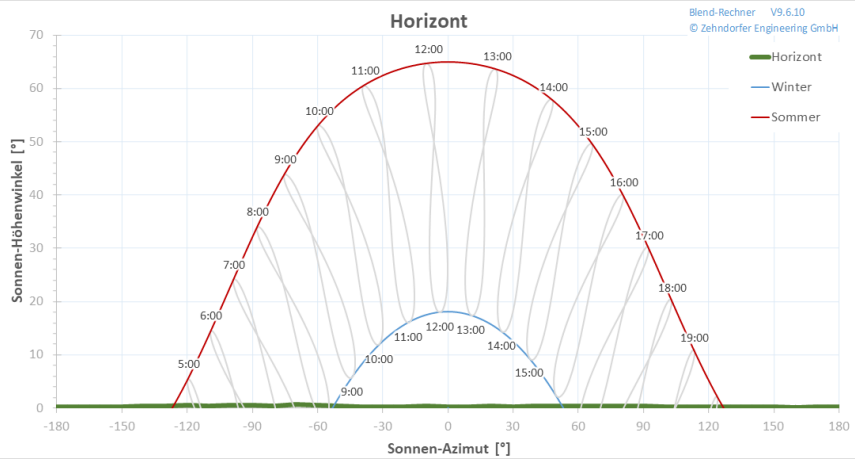
Abbildung 5 Gelände-schummerung



1.7.2 Horizont

Die Umgebung der PV-Anlage ist beinahe eben, die Sonnenstunden werden nicht reduziert.

Abbildung 6 Horizont



1.7.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP besteht keine nennenswerte Vegetation. Die Blendberechnung wurde ohne die Wirkung von eventuellem Bewuchs durchgeführt.

1.7.4 Künstliche Abschattungen

Zwischen den IP und der Solaranlage gibt es keine Gebäude, die die Sichtbeziehung zur PV-Anlage unterbrechen würden.

2 Blendberechnung

2.1 Bedingungen für die Berechnung

Als Eingabe für die Blendberechnung wurden die Rahmenbedingungen der LAI-2012 Richtlinie (siehe Anhang 2) herangezogen. Diese sind insbesondere:

- Die Sonne ist als punktförmiger Strahler anzunehmen
- Das Modul ist ideal verspiegelt (keine Streublendung)
- Die Sonne scheint von Aufgang bis Untergang (keine Ausnahme von Schlechtwetter)
- Blickwinkel zwischen Sonne und Modul mindestens 10°
- Erhebliche Blendung ab 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr

Streulicht wird, gemäß Richtlinie, in der Bewertung der Blendwirkung in Richtung der Nachbarschaft nicht berücksichtigt, damit die errechneten Werte der Blenddauern mit den Grenzwerten der Richtlinie vergleichbar sind. Es wird also nur die Dauer der direkt spiegelnden Kernblendung für den Vergleich mit den Grenzwerten herangezogen.

2.2 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung basiert auf der Methode Raytracing (siehe Anhang 3). Die Reflexionen werden für jeden Immissionspunkt einzeln berechnet. Beispielhaft werden hier die Ergebnisse der Berechnungen für den IP2 betrachtet.

Abbildung 7 Reflexion der Solar Anlage

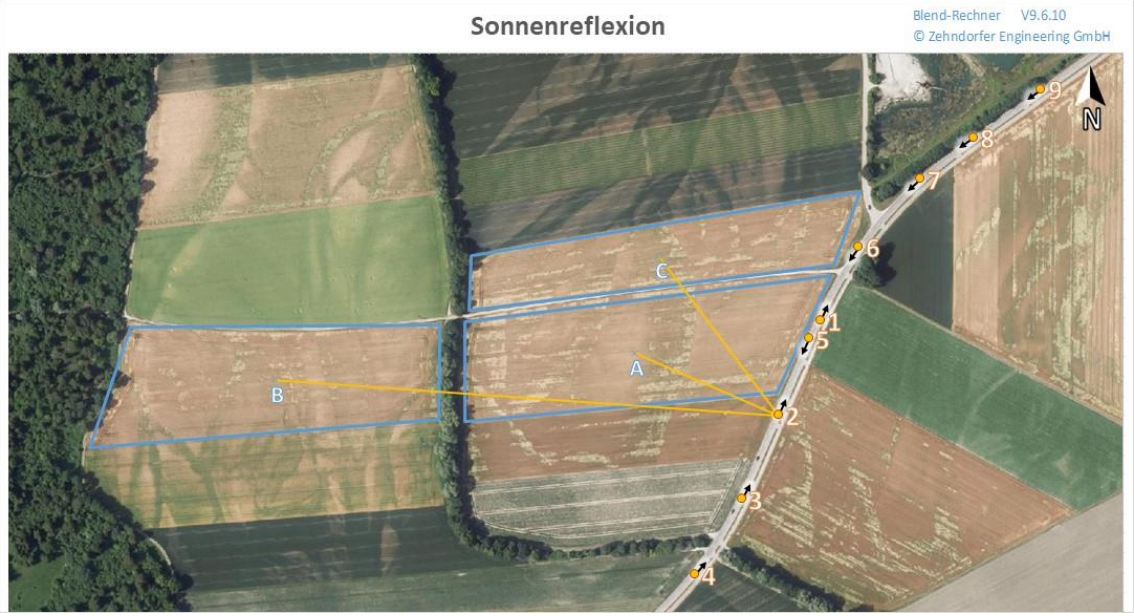
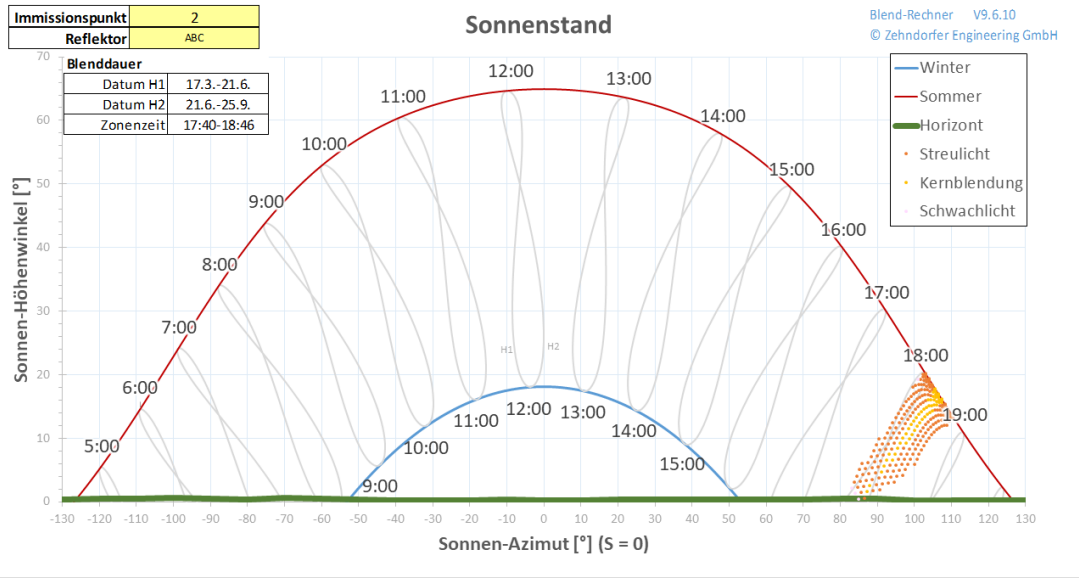


Abbildung 7 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 8 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. An den Achsen sind jene Sonnenhöhenwinkel und Sonnenseitenwinkel ablesbar, bei welchen Reflexionen am Immissionspunkt auftreten.

Abbildung 8 Sonnenwinkel bei Blendung



Es ist also abends von März bis September mit Reflexionen zu rechnen. Die Resultate der Berechnung sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Alle weiteren Ergebnisse sind in Anhang 5 zu finden.

Reflektor		ABC
Immissionspunkt		2
Distanz	m	24
Höhenwinkel	°	0
Raumwinkel	msr	115
Datum H1		17.3.-21.6.
Datum H2		21.6.-25.9.
Zeit		17:40-18:46
Kernblendung	min / Tag	0
Kernblendung	h / Jahr	0
Streulicht	min / Tag	0
Streulicht	h / Jahr	0
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	28
Blendung - Blickwinkel (min)	°	91
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]	6 095
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]	47
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	11 721

2.3 Erklärung der Ergebnisse

Distanz Die Distanz zwischen Mittelpunkt des Reflektors und Immissionspunkt in Meter

Höhenwinkel Der Höhenwinkel des Reflektors über dem Immissionspunkt. 0° bedeutet, dass sich der Reflektor auf gleicher Höhe wie der Immissionspunkt befindet.

Raumwinkel Der Raumwinkel (gemessen in Millisteradiant) ist ein Maß für die sichtbare Größe eines Objektes. Er wird berechnet, indem man die sichtbare Fläche eines Objektes durch das Quadrat dessen Abstandes dividiert.

Datum H1/H2 Gibt genau jene Zeitspanne an, an welcher Blendung über den Reflektor erfolgt

Zeit Die maximale Zeitspanne, bei welcher Blendung über den Reflektor erfolgt

Kernblendung Die Dauer der Blendung durch direkte Spiegelung der Sonne am Reflektor, in Minuten pro Tag bzw. Stunden pro Jahr

Streulicht Die Dauer der Blendung durch gestreutes Licht der Sonne, an der unebenen Oberfläche des Reflektors in Minuten pro Tag bzw. Stunden pro Jahr.

Sonne-Reflektor-Winkel Der (zum Blendzeitpunkt), vom Immissionspunkt aus, sichtbare Winkel zwischen Reflektor und Sonnenstand. Ist dieser Winkel klein (also z.B. < 10°), so spielt die Blendung, neben der, in gleicher Richtung stehenden und typischer Weise viel stärkeren Sonne, eine untergeordnete Rolle.

Blendung-Blickwinkel Der minimale Winkel zwischen der Blickrichtung (also z.B. Fahrtrichtung) und jener Stelle des Reflektors, von welcher aus Reflexionen stattfinden können. Ist der Winkel groß (also außerhalb des eines Kegels von 30°), so spielt die Blendung für den Verkehr eine untergeordnete Rolle.

Leuchtdichte Das Maximum der errechneten Leuchtdichte der Reflexion in 1.000 cd/m²

Retinale Einstrahlung Die maximale Leistungsdichte der reflektierten Strahlen auf der Netzhaut in W/cm²

Beleuchtungsstärke Die maximale, zusätzliche Beleuchtungsstärke der reflektierenden Strahlen, am Immissionspunkt in lux.

2.4 Sichtbezug

Um den Sichtbezug zu den reflektierenden Flächen und deren Reflexionen deutlich zu machen, wurde die Darstellung dieser Punkte mit Blick in Fahrtrichtung (bzw. von Nachbargebäuden in Richtung der reflektierenden Flächen) gewählt. Die Winkel der Darstellung sind realistisch, d.h. ein durchschnittlicher Beobachter wird das hier berechnete Gesichtsfeld vor Augen haben.

Abbildung 9 Blickfeld

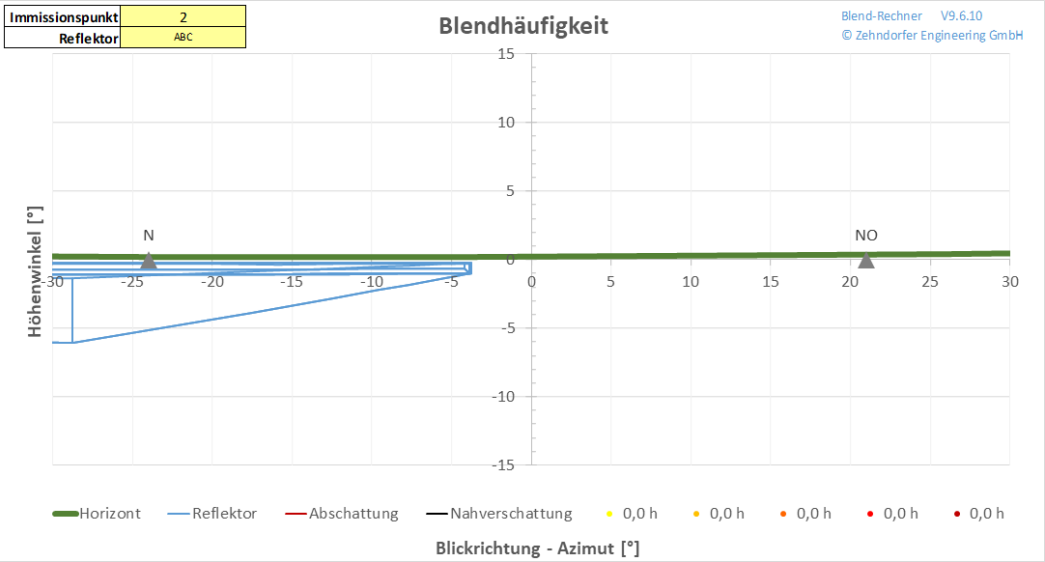


Abbildung 9 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr (inklusive Streublendung) farblich dargestellt. In diesem konkreten Fall liegen die Reflexionen außerhalb des Gesichtsfeldes. Alle weiteren Ansichten sind in Anhang 5 zu sehen.

2.5 Blendwirkung

Die Auswirkung der Blendung auf den Menschen ist von mehreren Parametern abhängig. Folgende Parameter haben einen Einfluss auf die Blendwirkung beim Menschen:

- Größe der projizierenden Reflexions-Fläche
- Reflexionsfaktor der verwendeten Materialien
- Entfernung zwischen IP und Reflektor
- Winkel zwischen Sonne und Reflexionsfläche
- Häufigkeit und Dauer der Reflexion
- Jahreszeit und Uhrzeit der Reflexion
- Tätigkeit des Menschen bei der die Reflexion wahrgenommen wird
- Möglichkeiten sich vor Blendung zu schützen

2.5.1 Größenverhältnisse

Die hier dargestellten Größenverhältnisse sollen bei der subjektiven Einordnung der Reflexionsfläche helfen. Da das Auge keine Größen, sondern nur optische Winkel wahrnimmt (also das Verhältnis von Größe zur Entfernung[2]) sind hier alle Größen im Maß des Raumwinkels (Millisteradiant) umgerechnet.

Sichtbeziehung	Raumwinkel
Gesichtsfeld	2.200 msr
Sonnenscheibe am Himmel	0,068 msr
Ausgestreckter Daumen	1,55 msr

Die maximal sichtbare Größe der Solar-Anlage, vom Immissionspunkt gesehen (115 msr), ist als sehr groß zu bezeichnen.

2.5.2 Richtung der Blendung

Die Richtung, von der Blendung ausgeht, kann eine entscheidende Rolle für die Blendwirkung spielen. Während Blendungen von oben (z.B. Sonne) als normal anzusehen sind und Menschen diesbezüglich nicht sehr empfindlich sind, können waagrecht einfallende Lichtstrahlen Menschen stören. Auch solche Blendungen, die von weiter links oder rechts der Sehachse kommen, werden weniger störend empfunden als jene, die im Zentrum des Gesichtsfeldes auftreten.

Die Richtlinie für die "Beleuchtung von Arbeitsstätten“ DIN EN 12464, zum Beispiel, reduziert seitlich auftretende Blendungen mit dem Guth-Positionsindex[3].

Daher werden in diesem Gutachten nur solche Blendungen als relevant für den Verkehr betrachtet, die innerhalb eines Winkels von +/- 15° zur Sehachse (= Fahrtrichtung) liegen.

2.5.3 Blendstärke

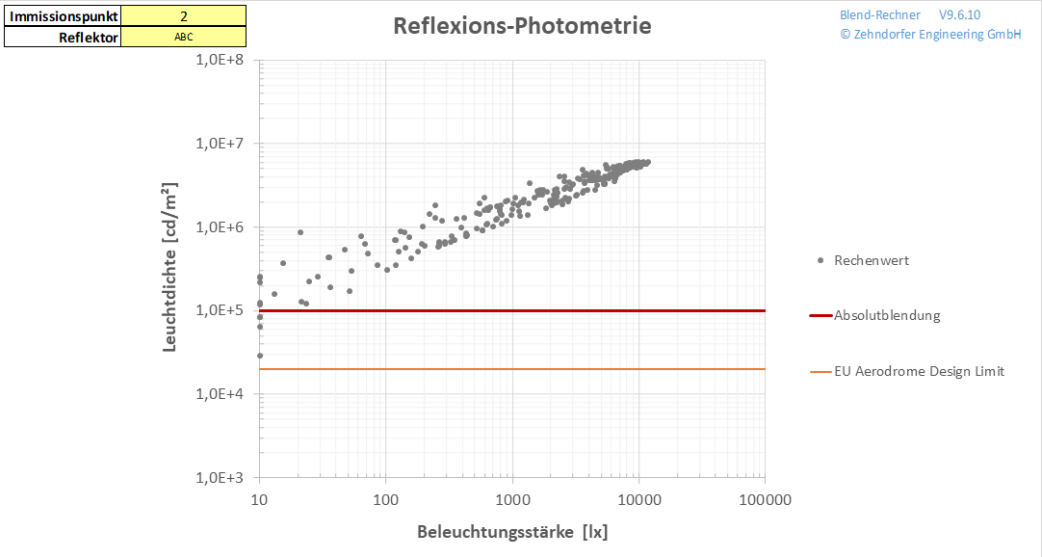
Die Solar-Module haben bei rechtwinkelig auf die Oberfläche eintreffendem Licht relativ kleine Reflexionsfaktoren, weshalb dabei nur ein Teil des Sonnenlichts reflektiert wird. Bei flacher einfallenden Lichtstrahlen steigt der Anteil des reflektierten Lichtes (der Reflexionsfaktor wird höher). Auch die Stärke des Sonnenlichtes ist vom Sonnenstand abhängig (die Sonne erreicht Leuchtdichten bis zu $1{,}6 \times 10^9$ cd/m² und hat bei niedrig stehender Sonne noch eine Leuchtdichte von 6×10^6 cd/m². Im Rechenmodell wurden diese Faktoren berücksichtigt. In den meisten Fällen wird bei Reflexionen Absolutblendung erreicht (eine reflektierte Leuchtdichte von über 100.000 cd/m²). In der Richtlinie LAI-2012 wird davon ausgegangen, dass Leuchtdichten in dieser Größenordnung bei Sonnenreflexionen immer erreicht werden. Die Stärke der Reflexionen ist demnach kein Kriterium in der Richtlinie. Gemäß der Richtlinie ist nur bei einer Dauer von über 30 Minuten pro Tag, bzw. 30 Stunden pro Jahr die Grenze der Zumutbarkeit überschritten.

---

[2] Der Mond oder die Sonne sind also z.B. mit dem ausgestreckten Daumen vollständig verdeckbar.

[3] In diesem Zusammenhang wird auch auf eine Studie von Natasja van der Leden, Johan Alferdinck, Alexander Toet mit dem Titel „Verhinderung von Sonnenreflexionen in Lärmschutzwällen – ein Laborexperiment“ verwiesen, die zu dem Schluss kommt, dass: „die Fahrleistung bei kleinen Blendungswinkeln von 5 Grad besonders abnimmt.“

Abbildung 10 Stärke der Reflexionen



Die Berechnung der Leuchtdichte in Abbildung 10 zeigt, dass bei einigen Sonnenständen Absolutblendung erreicht wird.

2.5.4 Blenddauer

Abbildung 11 Blenddauer

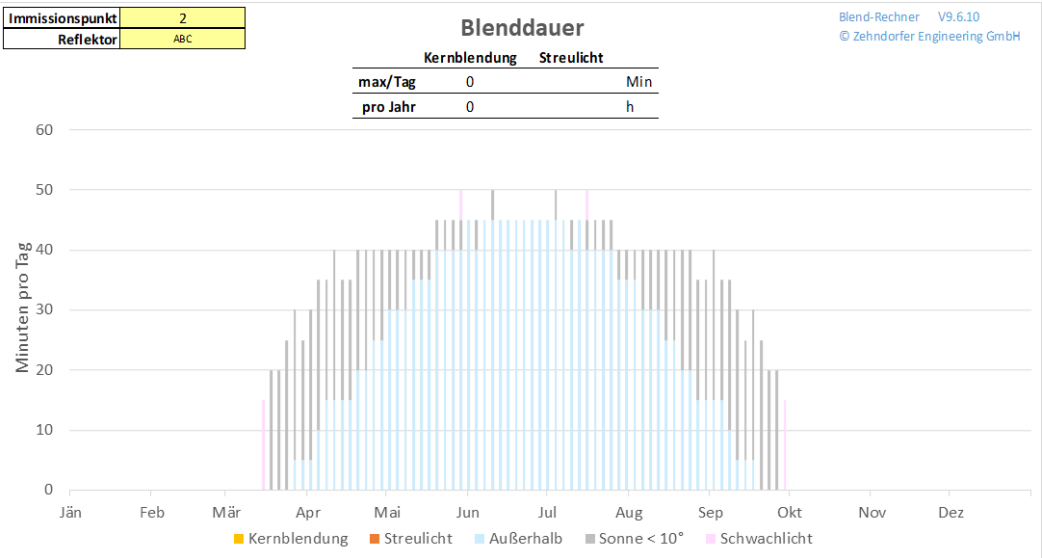


Abbildung 11 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

Die Farbkennzeichnung der unterschiedlichen Reflexionen haben die folgende Bedeutung:

- gelb: Direkt spiegelnde Kernblendung
- orange: Streulicht
- blau: Reflexionen außerhalb des Gesichtsfeldes (beim Verkehr +/-15° von der Fahrtrichtung)
- grau: Reflexionen bei denen die Sonne in einem geringen Winkel (<10°) zur Reflexion steht und diese daher überstrahlt.
- pink: Reflexionen mit geringer Leuchtdichte (unter 100.000 cd/m²)

Bei der Berechnung der Zeiten für Kernblendung (Reflexion ohne Streuung) wurden weder die verlängernde Wirkung der Streuung des Lichtes an den Modulen, noch die reduzierende Wirkung von Schlechtwetter (Regen, Schnee, Nebel, Hochnebel, Bewölkung) berücksichtigt.

2.5.5 Subjektive Faktoren

Es gibt Tätigkeiten, bei denen die ungestörte Sicht in Richtung der PV-Anlage notwendig ist.

Bei Fahrzeuglenkern kann der Blick in Richtung der Reflexionen notwendig sein, falls diese in Fahrtrichtung liegen.

2.5.6 Verkehrskritische Punkte

Für den Verkehr sind folgende Punkte als kritisch zu betrachten:

- Straßen- und Eisenbahnkreuzungen
- Straßenstellen mit Querungsachsen für Fußgänger und Radfahrer
- Unfallhäufungsstellen
- Straßenstellen mit Verflechtungs- und Manöverstrecken
- Stellen mit Geschwindigkeitsinhomogenität

Abbildung 12 Unfälle 2021-23

Auf dem relevanten Straßenabschnitt wurden in den letzten Jahren einige Unfälle gemeldet. Es liegen jedoch keine Unfallhäufungen vor.

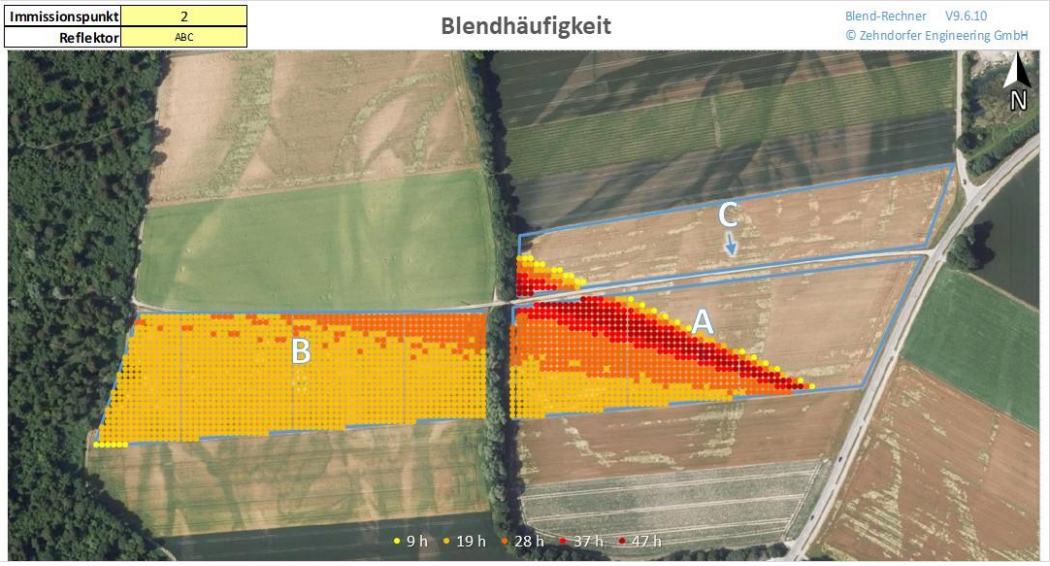
2.5.7 Ursprung der Reflexionen

Um die Wirksamkeit möglicher blendreduzierender Maßnahmen abschätzen zu können, ist es hilfreich den Ursprung der Reflexionen zu kennen[4]. Abbildung 13 zeigt (in den Farben gelb, orange, rot) die ungefähre Dauer der Reflexionen[5] von bestimmten reflektierenden Flächen, während eines ganzen Jahres.

[4] Auf Grund unterschiedlicher Blickwinkel reflektieren nicht alle Flächen gleich.

[5] In dieser Darstellung wurde Streulicht berücksichtigt. Die dargestellten Dauern sind daher nur als Indikation zu verstehen und nicht für den Vergleich mit den Grenzwerten der Richtlinie geeignet.

Abbildung 13 Reflektierende Flächen



3 Beurteilung & Empfehlungen

IP1 bis 9 (Straße)

Es werden Reflexionen in Richtung der Straße auftreten, welche jedoch immer vollständig außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Fahrzeuglenker liegen und daher keine Gefahr für den Straßenverkehr darstellen.

Durch die PV-Anlage wird also keine gefährliche Blendwirkung in Richtung des Straßenverkehrs stattfinden.

Datum: 22.10.2024

Gutachter:

Zehndorfer Engineering
+43 (680) 244 3310
office@zehndorfer.at
www.zehndorfer.at
FN 515736k
UID ATU74524829
Zehndorfer Engineering GmbH
Stift-Viktring-Straße 21/6
9073 Klagenfurt
Austria

Jakob Zehndorfer
Zehndorfer Engineering GmbH

ANHANG 1 DEFINITIONEN

Blendung (allgemein)	Eine Störung der visuellen *Wahrnehmung*, verursacht durch eine helle Lichtquelle im Gesichtsfeld
Psychologische Blendung	Eine Form von Blendung, welche als *unangenehm oder ablenkend* empfunden wird. Sie stört häufig nur unbewusst die Aufnahme von visueller Information, ohne die Wahrnehmung von Details wirklich zu verhindern.
Physiologische Blendung	Eine Form von Blendung, welche die Wahrnehmung von visueller Information *technisch messbar* reduziert. Sie wird durch Streulicht innerhalb des Auges verursacht, welches die wahrnehmbaren Kontraste durch seine Schleierleuchtdichte reduziert.
Blendwirkung	Die Auswirkung der Blendung auf ein Individuum
tolerierbare Grenze	In den genannten Vorschriften und Gesetzestexten wird die „tolerierbare Grenze“ für die Blendung nicht näher definiert.
Reflexion (Physik)	Das Zurückwerfen von Wellen an einer Grenzfläche
Gerichtete Reflexion	Führ (nahezu) glatte Oberflächen gilt das *Reflexionsgesetz*
Immissionspunkt	Punkt, auf welchen Strahlung einwirkt
Emissionsfläche	Fläche, von welcher Strahlung ausgesendet wird
Leuchtdichte	Ein Maß für den *Helligkeitseindruck*. Gibt die Lichtstärke pro Fläche, in Candela pro Quadratmeter an [cd/m²] bzw. den Lichtstrom pro sichtbarer Flächeneinheit des Reflektors und Raumwinkel (des entfernt stehenden Auges) [lm/m²sr] an.
Lichtstärke	Der Lichtstrom pro Raumwinkel [lm/sr]
IP	Die Immissionspunkte sind jene Punkte, für welche die Blendberechnung durchgeführt wird
PV	Photovoltaik
Azimut	Seitenwinkel (horizontal) zwischen Objekt und Südrichtung
Elevation	auch *Höhenwinkel*, gemessen von der Horizontalen zur Objektoberfläche
Koordinatensystem	Das verwendete Koordinatensystem verläuft in x/y-Ebene parallel zur Erdoberfläche, der z-Vektor zeigt senkrecht in die Höhe. In der Berechnung finden verschiedene andere Koordinatensysteme Anwendung, was für das Endergebnis jedoch irrelevant ist.
Prismierung	PV-Glas hat, neben seiner besonderen chemischen Zusammensetzung und einer eventuellen anti-reflex Beschichtung, in vielen Fällen auch noch die Eigenschaft einer „rauen“ Oberfläche – kleine Prismen, die die Reflexion verringern und die Transmission des Lichts in das Glas verstärken sollen. An diesen kleinen, unterschiedlich geneigten Flächen entsteht Streulicht.

ANHANG 2 RICHTLINIEN, VORSCHRIFTEN UND GESETZE

Bundes-Immissionsschutzgesetz (2016)

§ 5 (1) Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt 1. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können; …

§ 22 (1) Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass 1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, …

Bürgerliches Gesetzbuch 2015, § 906

(1) Der Eigentümer eines Grundstücks kann die Zuführung von Gasen, Dämpfen, Gerüchen, Rauch, Ruß, Wärme, Geräusch, Erschütterungen und ähnliche von einem anderen Grundstück ausgehende Einwirkungen insoweit nicht verbieten, als die Einwirkung die Benutzung seines Grundstücks nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt. Eine unwesentliche Beeinträchtigung liegt in der Regel vor, wenn die in Gesetzen oder Rechtsverordnungen festgelegten Grenz- oder Richtwerte von den nach diesen Vorschriften ermittelten und bewerteten Einwirkungen nicht überschritten werden. Gleiches gilt für Werte in allgemeinen Verwaltungsvorschriften, die nach § 48 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erlassen worden sind und den Stand der Technik wiedergeben.

(2) Das Gleiche gilt insoweit, als eine wesentliche Beeinträchtigung durch eine ortsübliche Benutzung des anderen Grundstücks herbeigeführt wird und nicht durch Maßnahmen verhindert werden kann, die Benutzern dieser Art wirtschaftlich zumutbar sind. Hat der Eigentümer hiernach eine Einwirkung zu dulden, so kann er von dem Benutzer des anderen Grundstücks einen angemessenen Ausgleich in Geld verlangen, wenn die Einwirkung eine ortsübliche Benutzung seines Grundstücks oder dessen Ertrag über das zumutbare Maß hinaus beeinträchtigt.

Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-2012), 13.09.2012

3. Maßgebliche Immissionsorte und –Situationen

Maßgebliche Immissionsorte sind a) schutzwürdige Räume, die als Wohnräume, Schlafräume, einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien, Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen, Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume genutzt werden. An Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone) sind schutzwürdigen Räumen tagsüber zwischen 6:00 – 22:00 Uhr gleichgestellt. b) unbebaute Flächen in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind.

Zur Ermittlung der Immissionen (Blendzeiträume) wird von idealisierten Annahmen ausgegangen

- Die Sonne ist punktförmig
- Das Modul ist ideal verspiegelt, d.h. es kann das Reflexionsgesetz „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel angewendet werden.
- Die Sonne scheint von Aufgang bis Untergang d.h. die Berechnung liefert die astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume.

In den Immissionszeiten sollten nur solche Konstellationen berücksichtigt werden, in denen sich die Blickrichtungen zur Sonne und auf das Modul um mindestens 10° unterscheiden.

Eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen kann vorliegen, wenn diese mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr beträgt.

Bundesfernstraßengesetz (2007)

§ 9 Bauliche Anlagen an Bundesfernstraßen - (2) Im Übrigen bedürfen Baugenehmigungen oder nach anderen Vorschriften notwendige Genehmigungen der Zustimmung der obersten Landesstraßenbaubehörde, wenn 1. bauliche Anlagen längs der Bundesautobahnen in einer Entfernung bis zu 100 Meter und längs der Bundesstraßen außerhalb der zur Erschließung der anliegenden Grundstücke bestimmten Teile der Ortsdurchfahrten bis zu 40 Meter, gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, errichtet, erheblich geändert oder anders genutzt werden sollen, ...

(3) Die Zustimmung nach Absatz 2 darf nur versagt oder mit Bedingungen und Auflagen erteilt werden, soweit dies wegen der Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs, der Ausbauabsichten oder der Straßenbaugestaltung nötig ist.

ANHANG 3 METHODIK DER BERECHNUNG

Die Berechnung wird mittels *Raytracing* durchgeführt. Dabei wird der errechnete Sonnenstand für ein ganzes Jahr in der Auflösung von 1 bis 5 Minuten, in einen Einfallswinkel auf der Reflexionsfläche umgerechnet und mathematisch gespiegelt. Streublendungen werden als Strahlaufweitung an der Reflexionsoberfläche modelliert. Alle Zeitpunkte, bei denen Reflexionen in Richtung der Immissionsunkte auftreten, werden notiert und grafisch im Blendverlauf dargestellt. Die Blenddauer wird als tägliche und jährliche Akkumulation der Blendzeitpunkte errechnet. Alle Berechnungen werden unter Zuhilfenahme von vorteilhaften Koordinatensystemen, mittels entsprechender Drehmatrizen durchgeführt.

Für eine eventuelle Berechnung der photometrischen Daten (Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke) wird die, vom Sonnenstand abhängige, Einstrahlung mit dem winkelabhängigen Reflexionsfaktor multipliziert. Auch die Strahlaufweitung an der reflektierenden Oberfläche wird berücksichtigt. Die Beleuchtungsstärke wird mit der, zu jedem Zeitpunkt reflektierenden, Oberfläche berechnet.

In den Berechnungen und grafischen Darstellungen wurden die folgenden Datenquellen eingesetzt:

Copyright

Daten	Quelle	©	Link	Höhe
Orthofoto	Bayernatlas	CC BY 4.0	geodaten.bayern.de	
Geländemodell	Bayernatlas	CC BY 4.0	geodaten.bayern.de	DHHN2016
Oberflächenmodell	N/A			
Verwaltungsgrenzen	Bayernatlas	CC BY 4.0	geodaten.bayern.de	

ANHANG 4 VERMESSUNG DER UMGEBUNG

Tabelle 1 Koordinaten der reflektierenden Flächen

EPSG	Koordinatensystem	False Northing	False Easting	Höhe
25832	UTM 32N	5 000 000	0	DHHN2016

Reflektor	A				B				C			
Eckpunkt	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	638 964	639 284	639 338	638 964	638 581	638 938	638 938	638 623	638 968	639 342	639 368	638 970
y	374 062	374 092	374 211	374 164	374 035	374 064	374 161	374 159	374 176	374 222	374 297	374 231
z	439	440	439	440	439	439	439	438	440	439	439	440
h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabelle 2 Winkel der reflektierenden Flächen

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	**18**	**-5**	**0**	**-22**	**18**	**-5**
B	18	-5	1	162	18	-5
C	**18**	**-9**	**0**	**-116**	**18**	**-9**

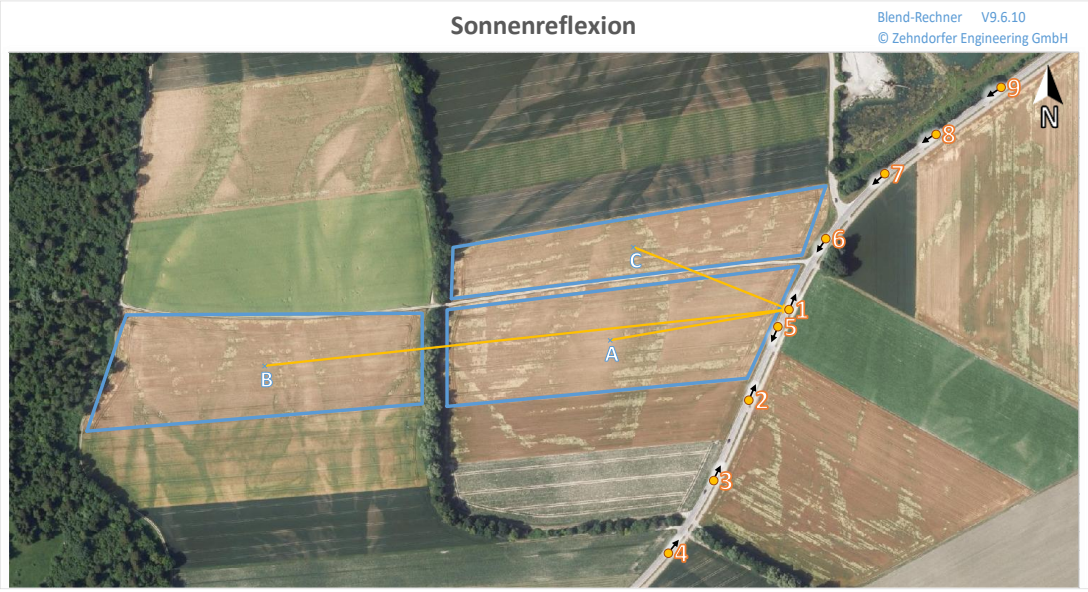
Tabelle 3 Immissionspunkte

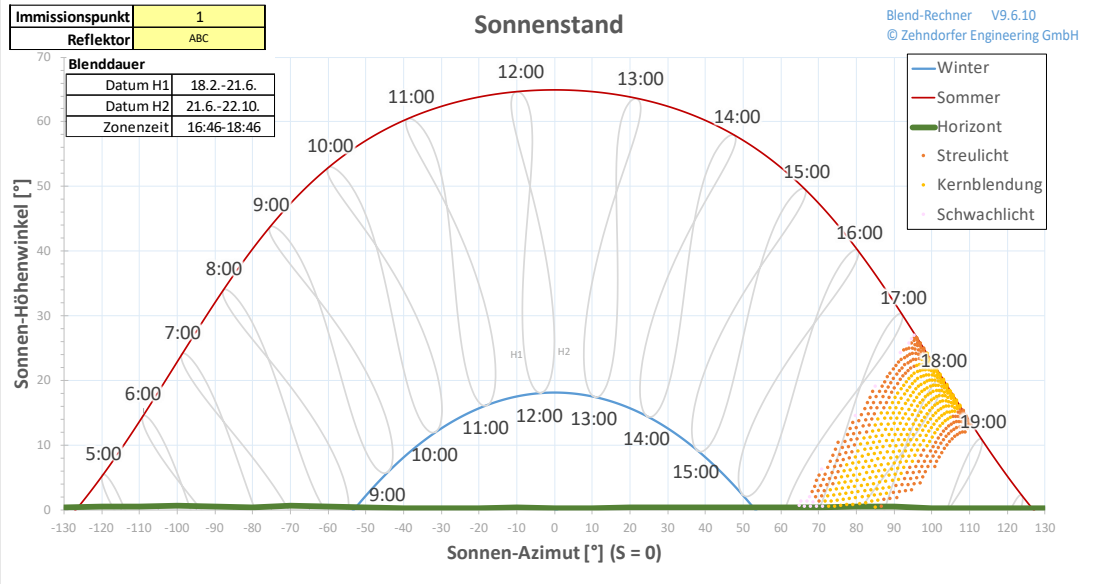
Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bezeichnung	IP-S1	IP-S2	IP-S3	IP-S4	IP-S5	IP-S6	IP-S7	IP-S8	IP-S9
x	639 328	639 285	639 248	639 200	639 316	639 367	639 430	639 485	639 554
y	374 165	374 069	373 983	373 906	374 147	374 240	374 309	374 352	374 401
z	440	440	441	441	440	440	440	440	440
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Blickrichtung - Az	-155	-156	-154	-141	23	34	48	56	56

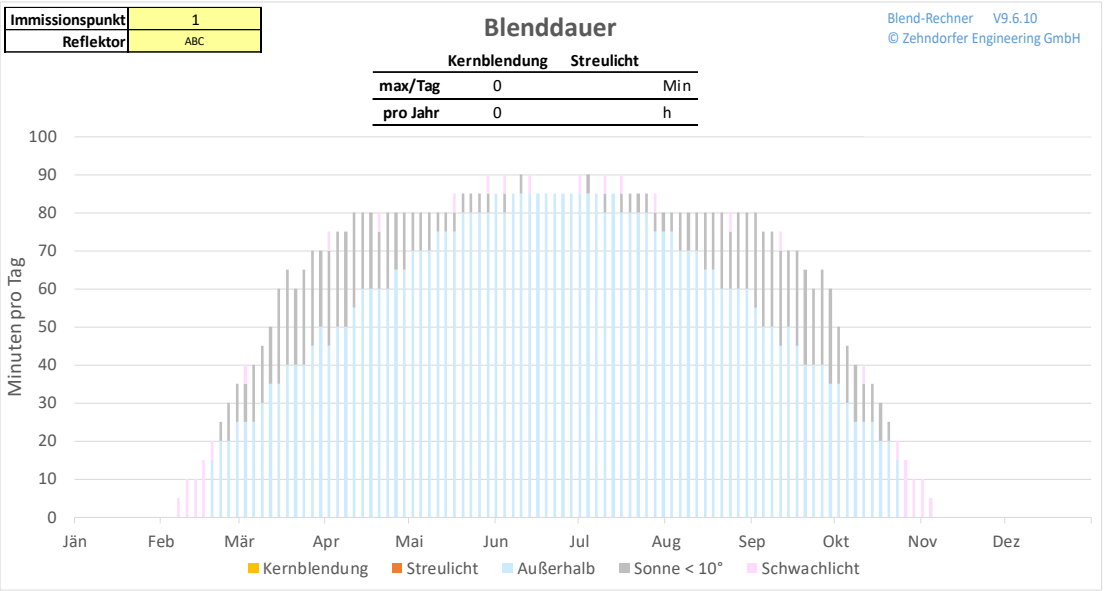
ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

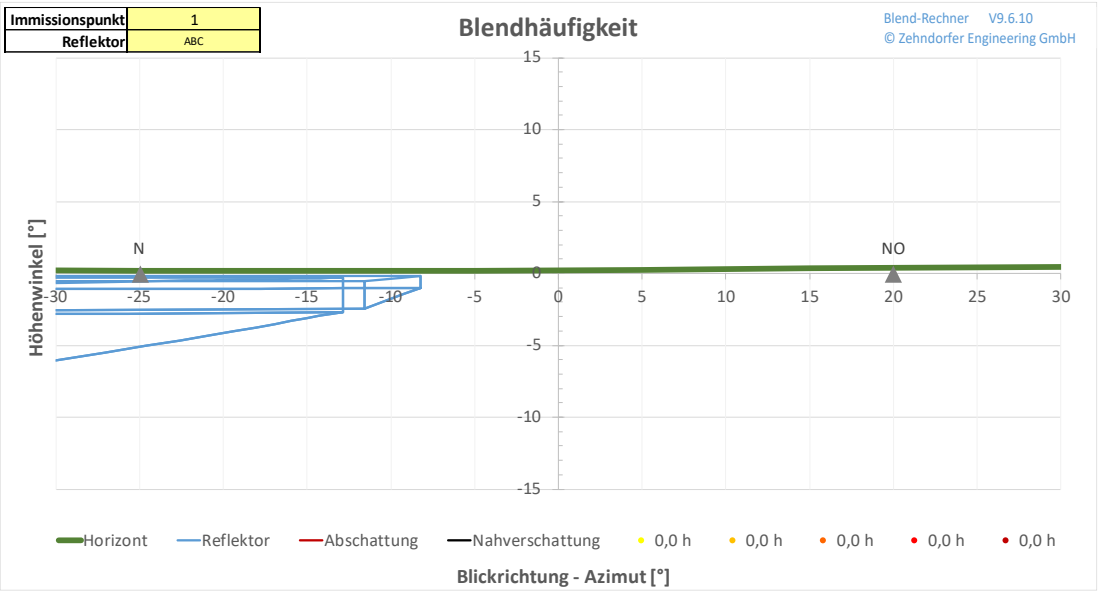
Reflektor		ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distanz	m	10	24	105	177	7	18	64	129	213
Höhenwinkel	°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Raumwinkel	msr	368	115	23	11	606	189	16	5	2
Datum H1		18.2.-21.6.	17.3.-21.6.	29.3.-21.6.	16.4.-21.6.	3.2.-21.6.	18.2.-21.6.	27.2.-14.3.	-	-
Datum H2		21.6.-22.10.	21.6.-25.9.	21.6.-13.9.	21.6.-26.8.	21.6.-6.11.	21.6.-22.10.	28.9.-13.10.	-	-
Zeit		16:46-18:46	17:40-18:46	17:53-18:46	17:57-18:46	16:25-18:46	16:51-18:36	17:12-18:00	-	-
Kernblendung	min / Tag	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Kernblendung	h / Jahr	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Streulicht	min / Tag	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Streulicht	h / Jahr	0	0	0	0	0	0	0	-	-
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	44	28	24	24	56	38	9	-	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	92	91	93	105	46	39	29	-	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]	6 050	6 095	6 068	6 068	6 043	5 892	299	-	-
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]	47	47	47	2	47	46	2	-	-
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	25 251	11 721	2 354	953	25 346	23 626	204	-	-

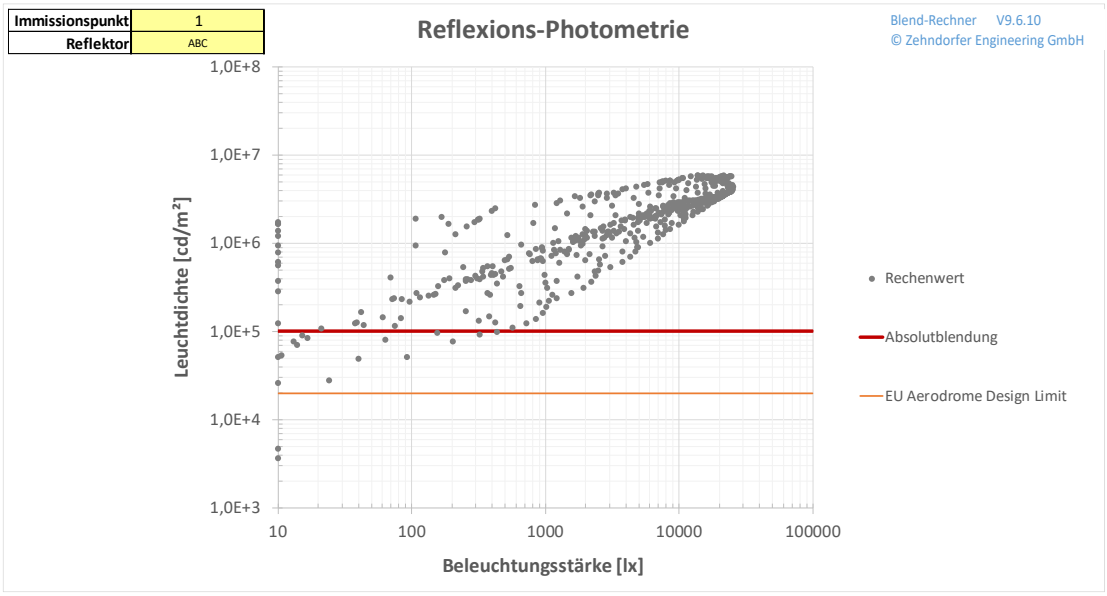
Im Folgenden werden jene Ergebnisse grafisch dargestellt, für welche Reflexionen auftreten können.

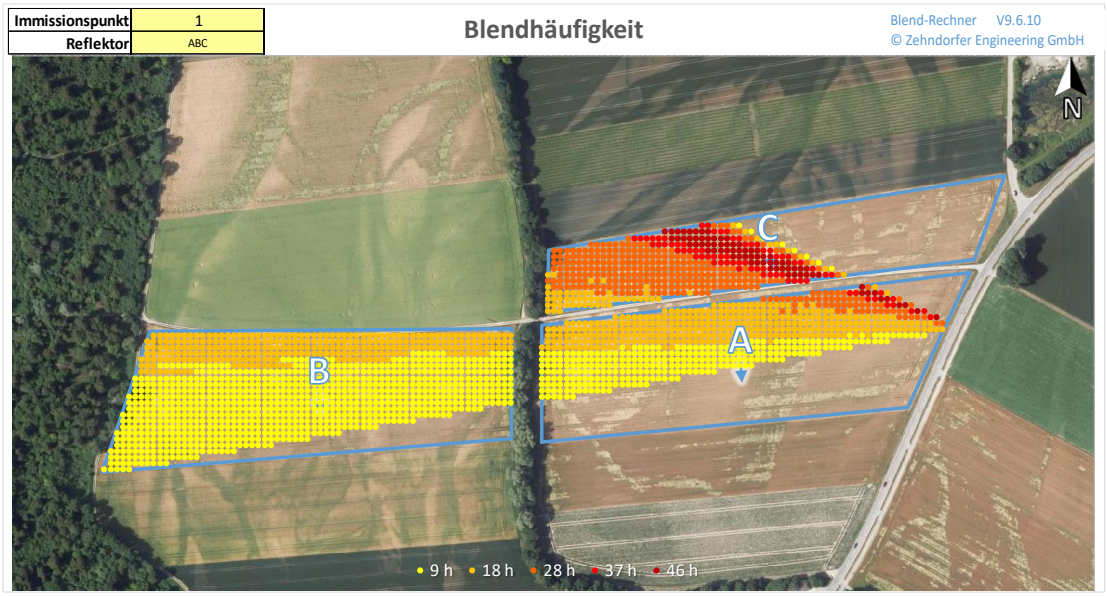


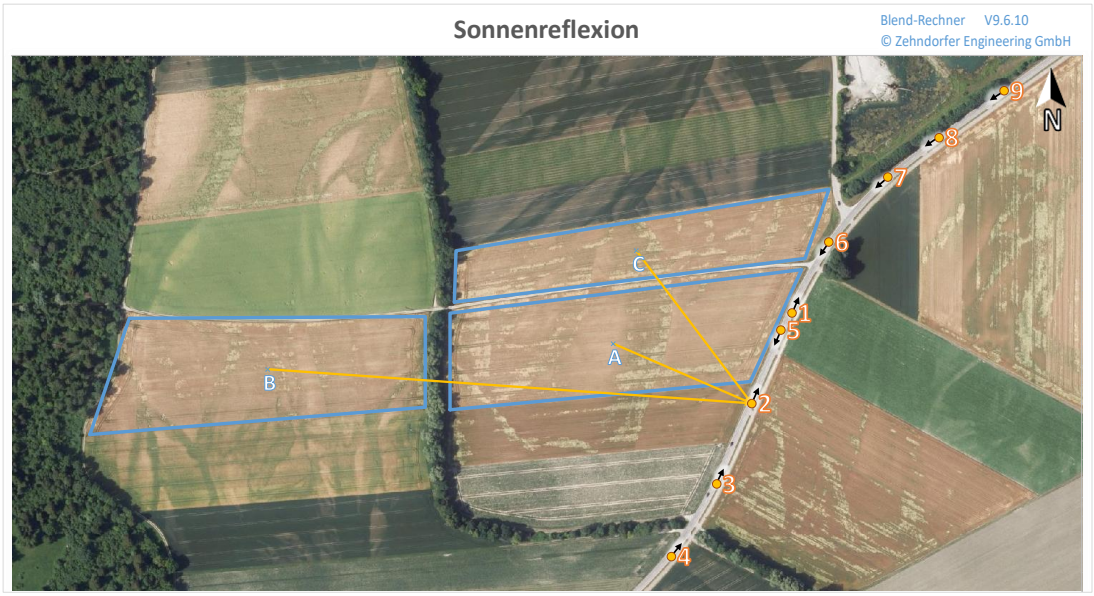

Immissionspunkt 1
Reflektor ABC
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Blenddauer
Datum H1 18.2.-21.6.
Datum H2 21.6.-22.10.
Zonenzeit 16:46-18:46
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

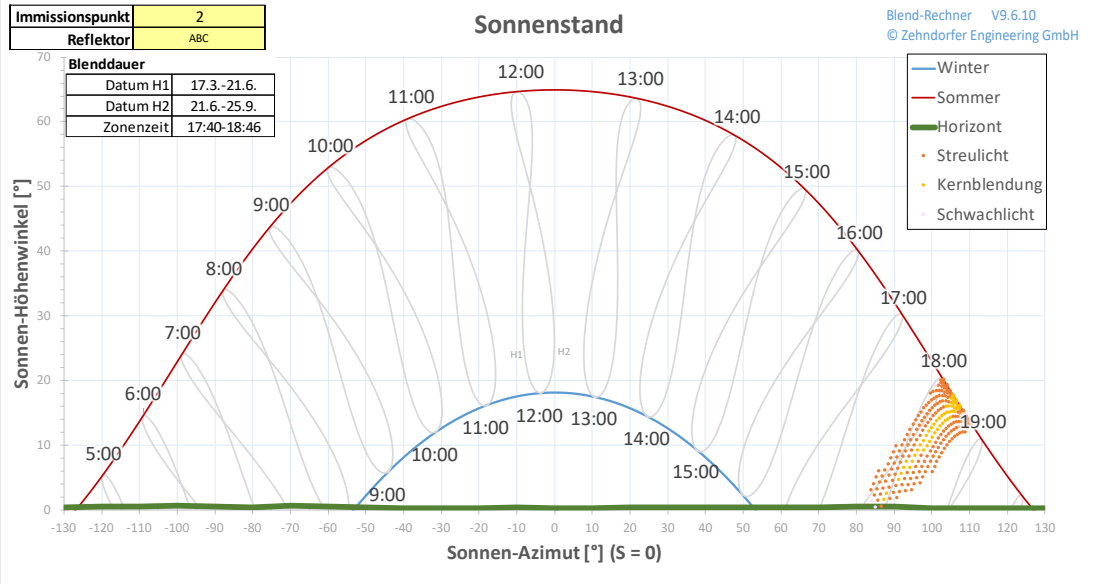

Immissionspunkt 1
Reflektor ABC
Blenddauer
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht

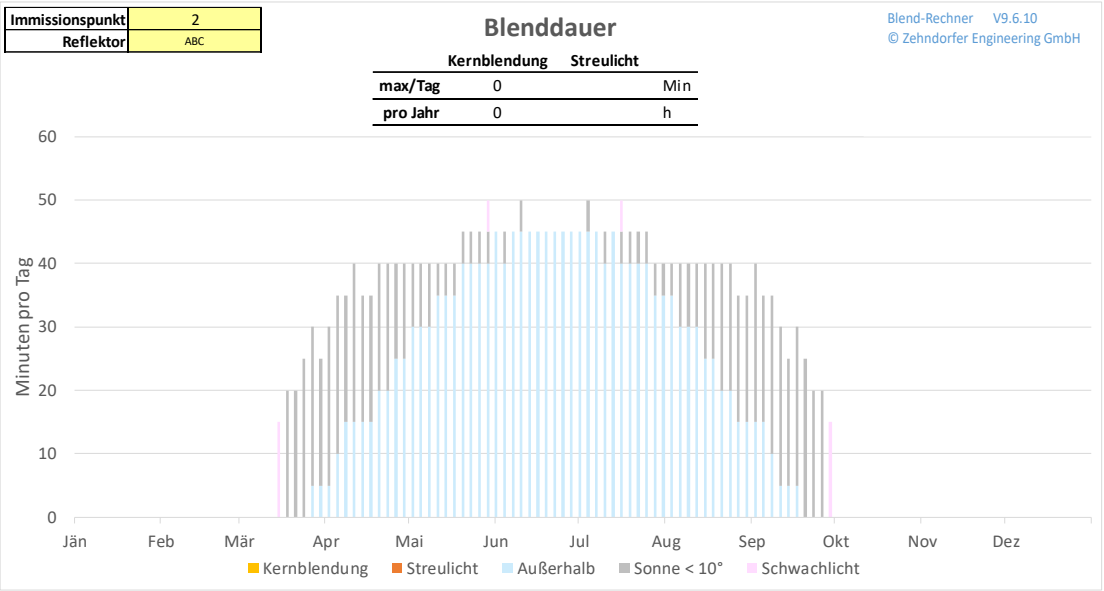

Immissionspunkt 1
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
N
NO
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

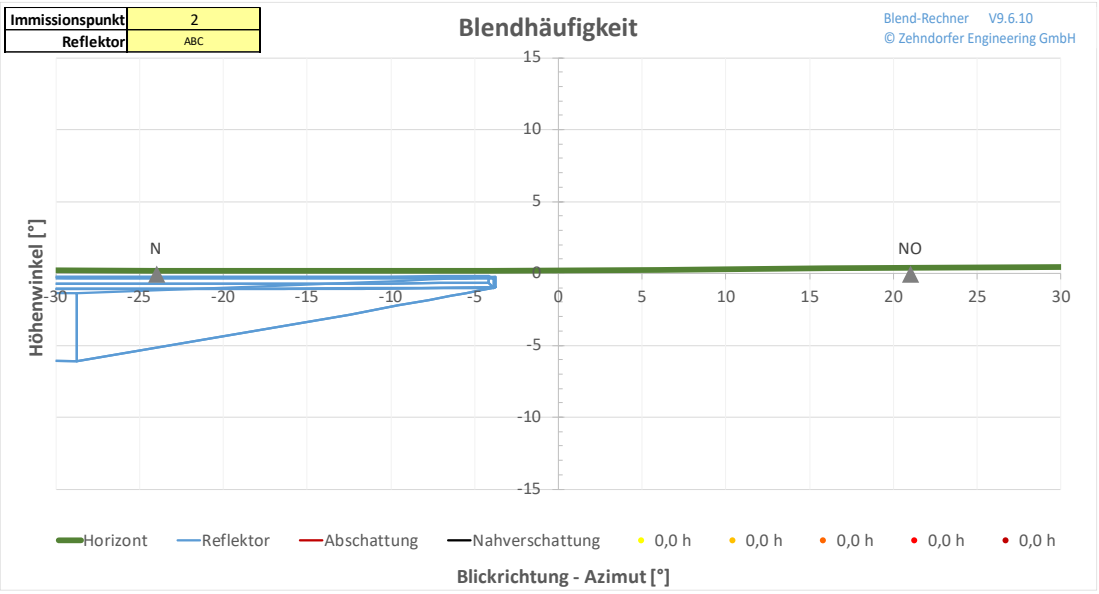

Immissionspunkt 1
Reflektor ABC
Reflexions-Photometrie
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
1,0E+8
1,0E+7
1,0E+6
1,0E+5
1,0E+4
1,0E+3
Leuchtdichte [cd/m²]
10
100
1000
10000
100000
Beleuchtungsstärke [lx]
Rechenwert
Absolutblendung
EU Aerodrome Design Limit


Immissionspunkt 1
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
N
A
B
C
9 h
18 h
28 h
37 h
46 h

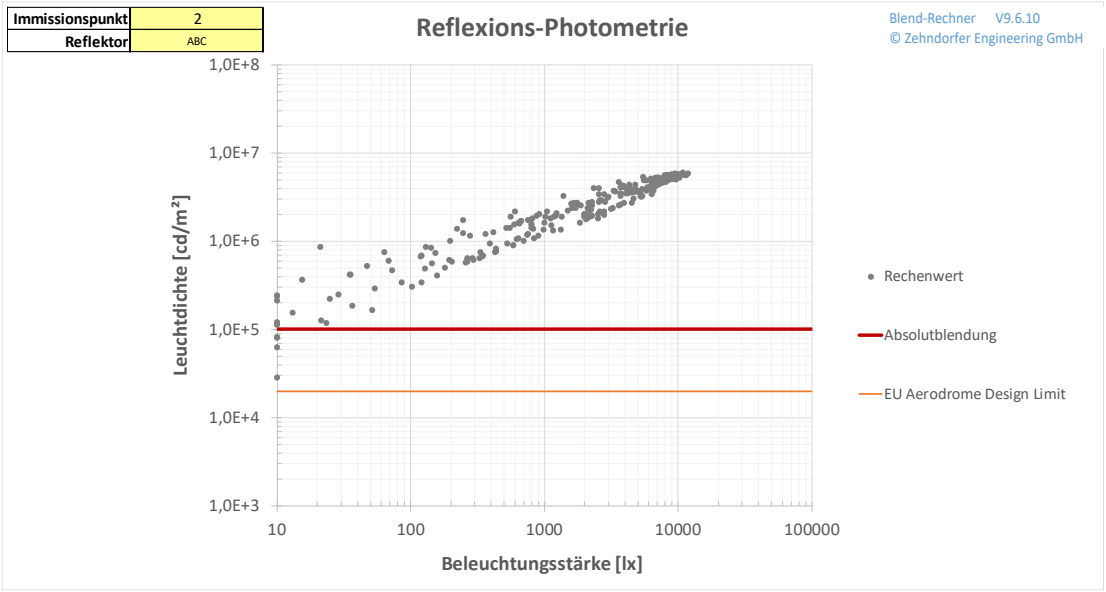

Sonnenreflexion
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
N
A
B
C
1
2
3
4
5
6
7
8
9


Immissionspunkt 2
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 17.3.-21.6.
Datum H2 21.6.-25.9.
Zonenzeit 17:40-18:46
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

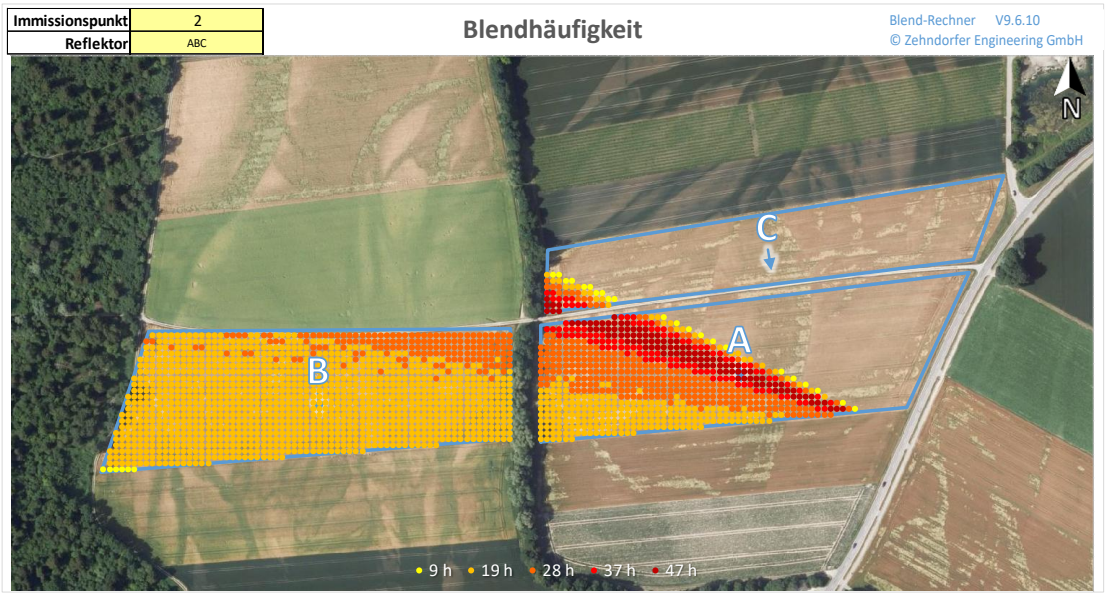

Immissionspunkt 2
Reflektor ABC
Blenddauer
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht

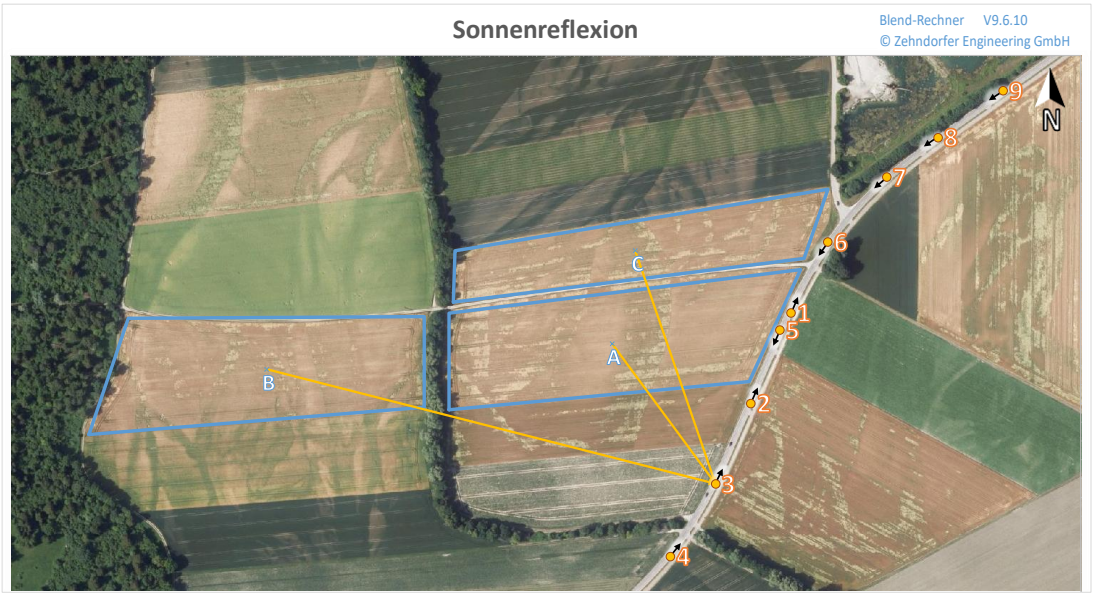

Immissionspunkt 2
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
N
NO
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

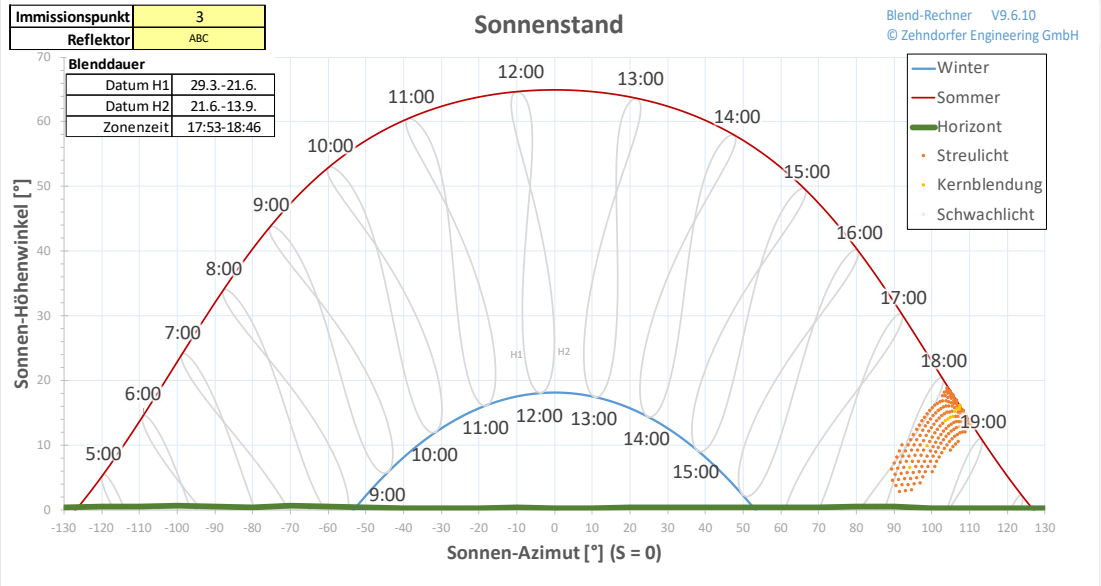
Immissionspunkt	2
Reflektor	ABC

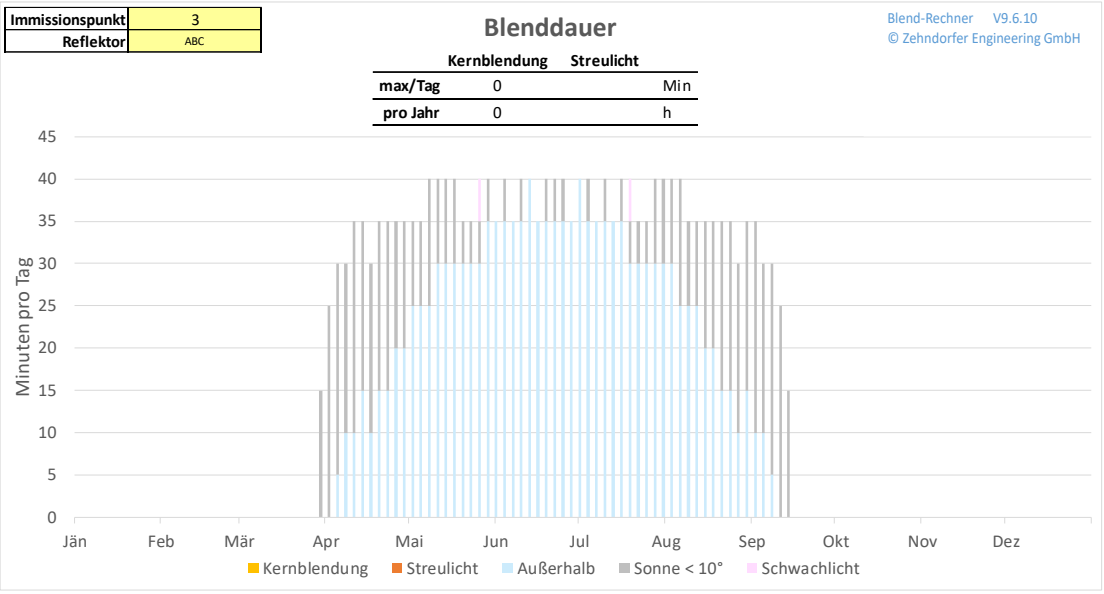


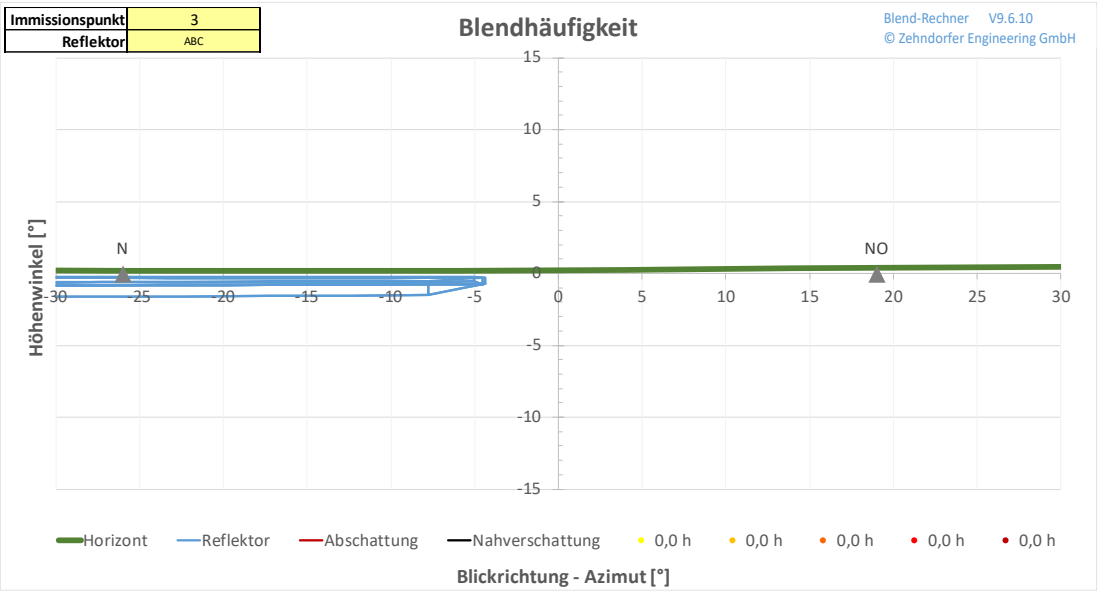
Immissionspunkt	2
Reflektor	ABC






Immissionspunkt 3
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 29.3.-21.6.
Datum H2 21.6.-13.9.
Zonenzeit 17:53-18:46
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

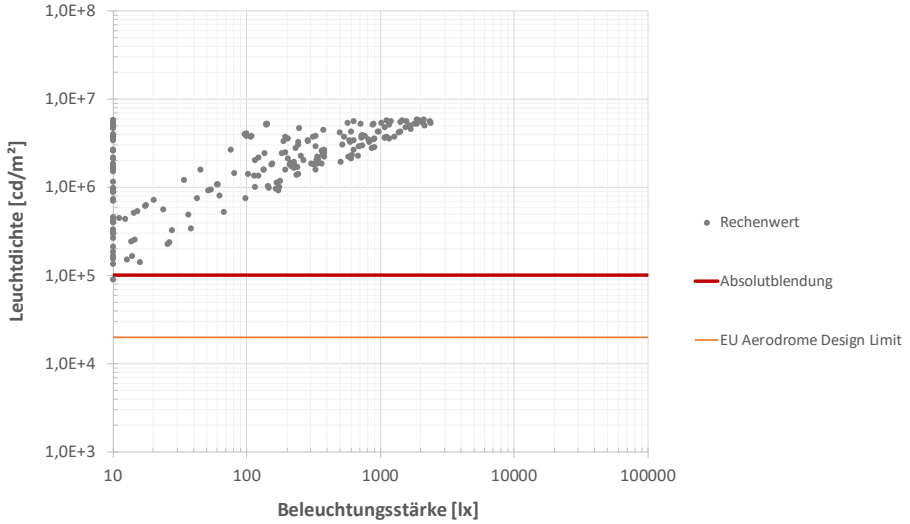

Immissionspunkt 3
Reflektor ABC
Blenddauer
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht


Immissionspunkt 3
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
N
NO
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

Immissionspunkt	3
Reflektor	ABC

Reflexions-Photometrie

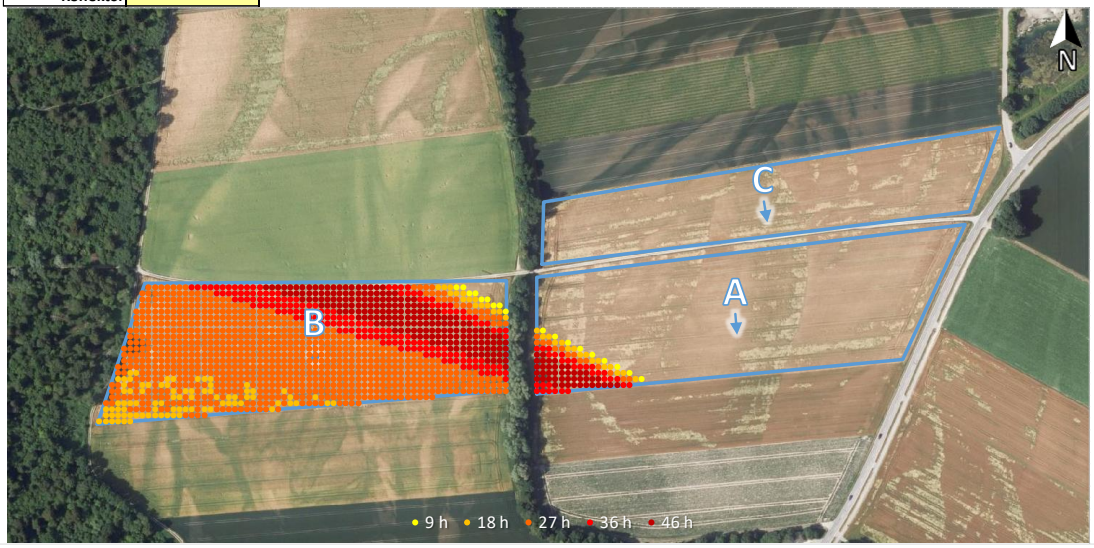
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	3
Reflektor	ABC

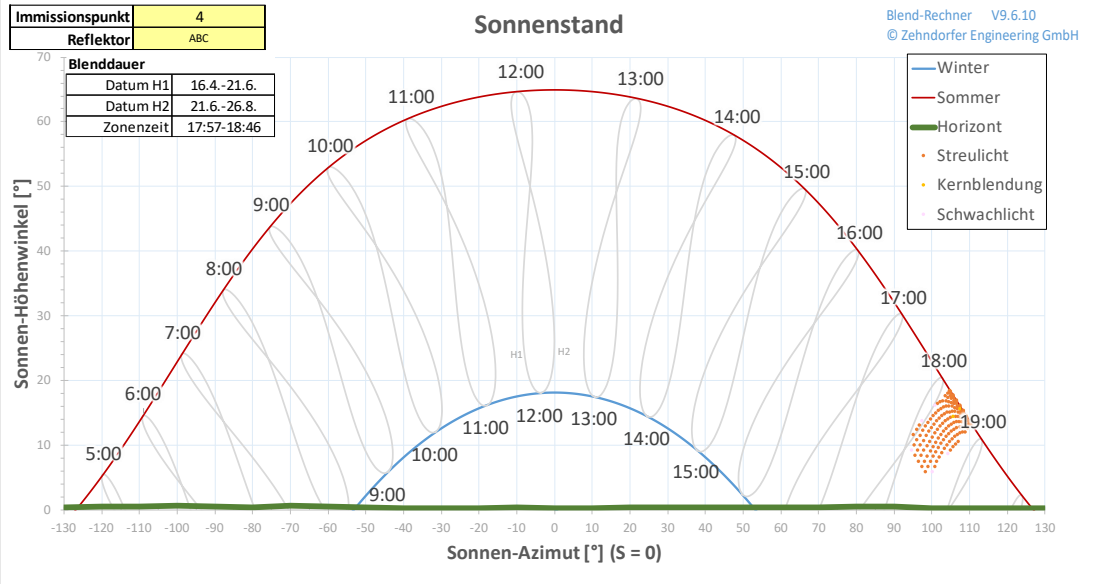
Blendhäufigkeit

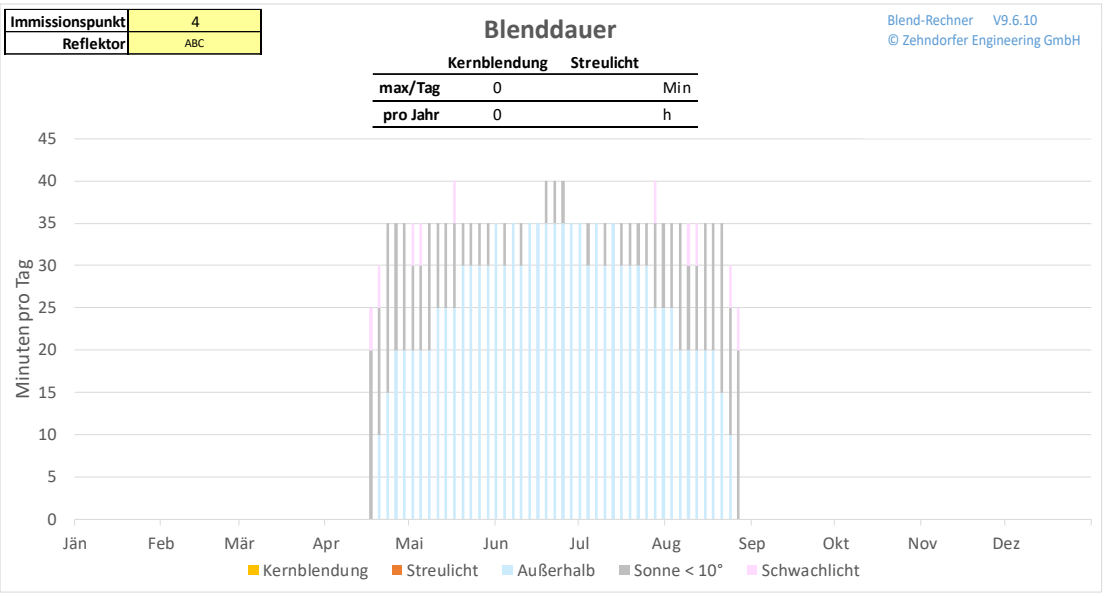
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH

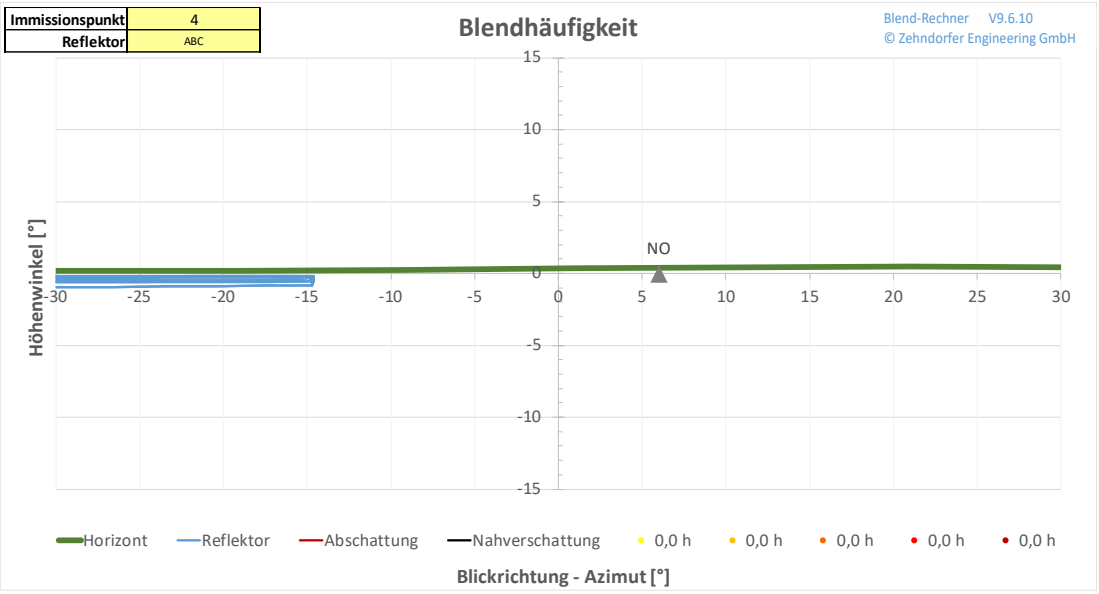


Sonnenreflexion

Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH


Immissionspunkt 4
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 16.4.-21.6.
Datum H2 21.6.-26.8.
Zonenzeit 17:57-18:46
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

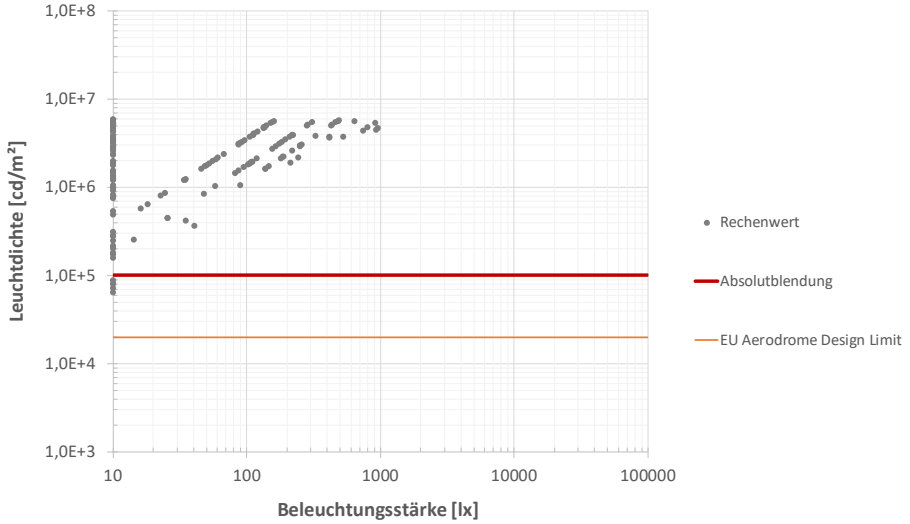

Immissionspunkt 4
Reflektor ABC
Blenddauer
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht


Immissionspunkt 4
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
NO
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

Immissionspunkt	4
Reflektor	ABC

Reflexions-Photometrie

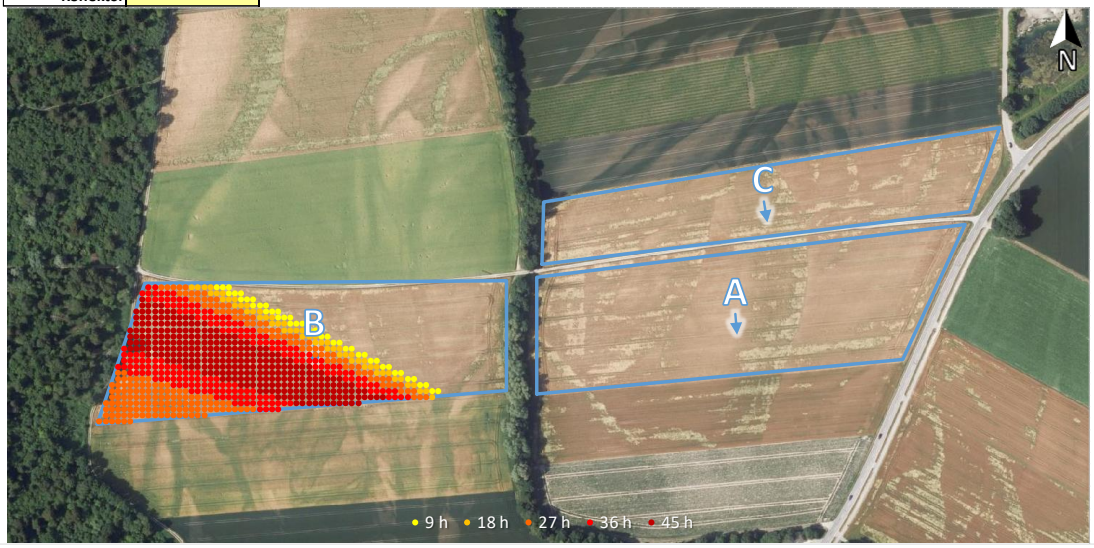
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	4
Reflektor	ABC

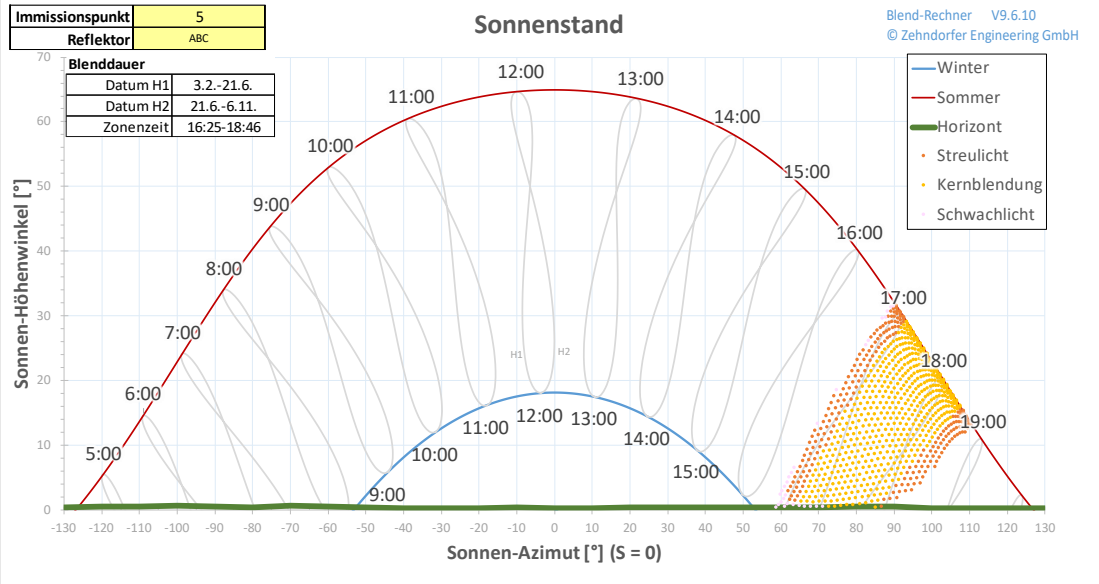
Blendhäufigkeit

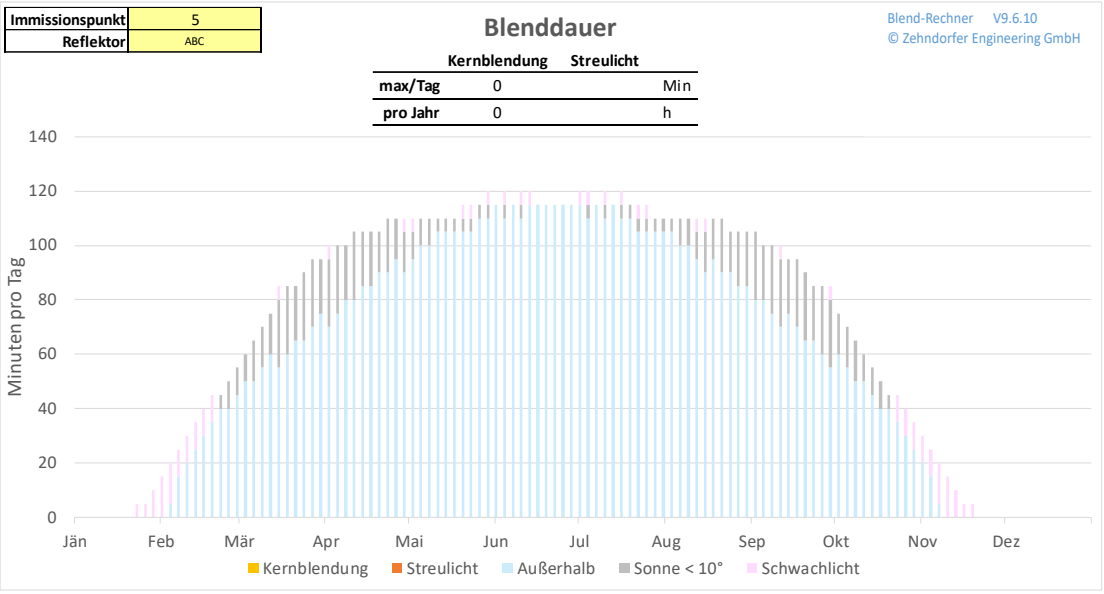
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH

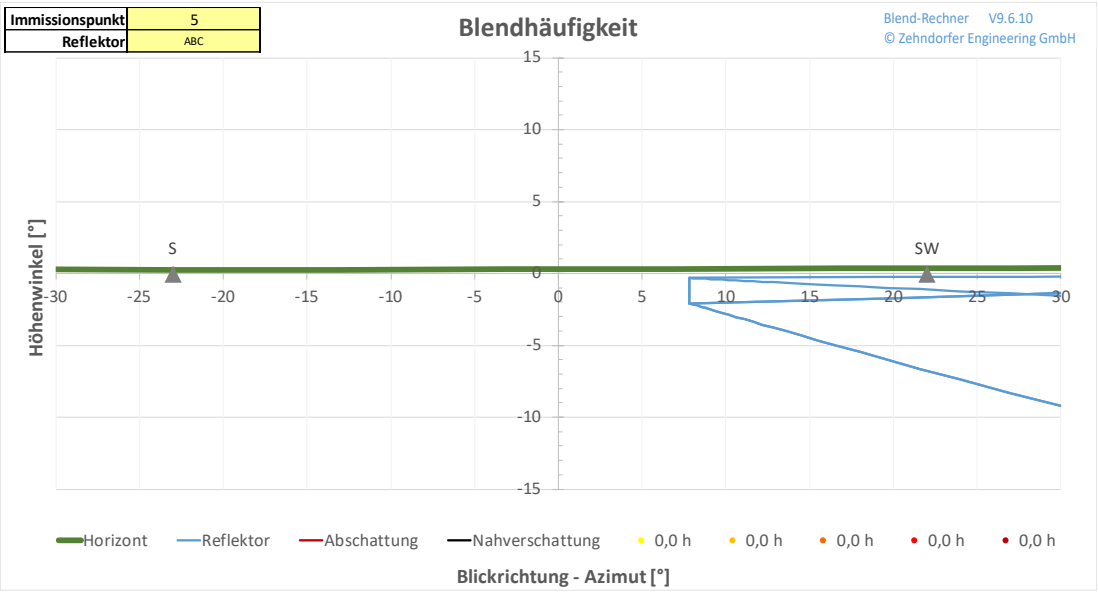


Sonnenreflexion

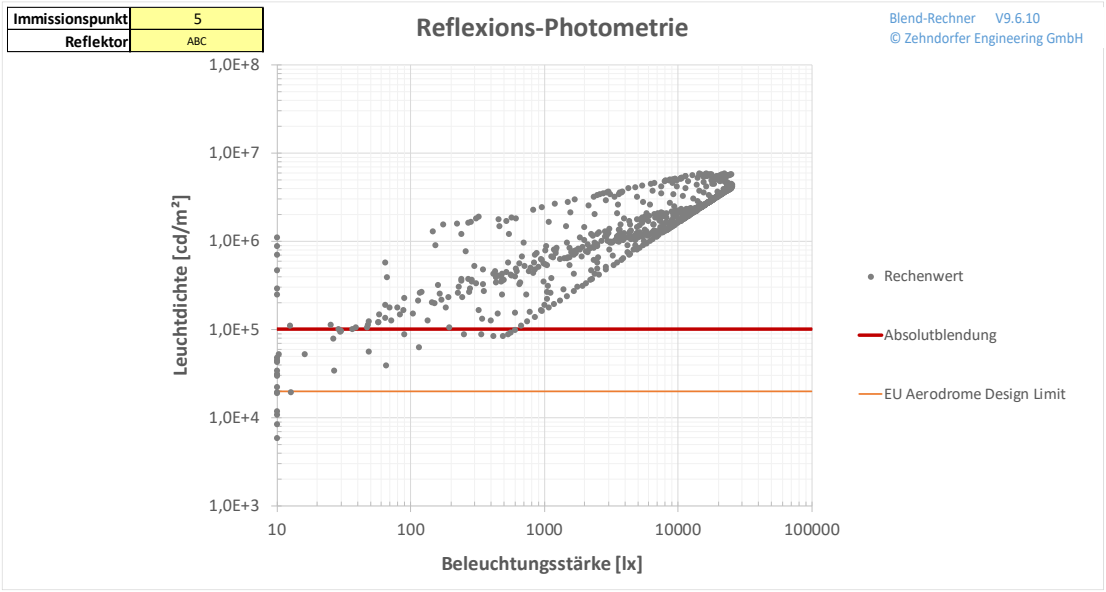
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH


Immissionspunkt 5
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 3.2.-21.6.
Datum H2 21.6.-6.11.
Zonenzeit 16:25-18:46
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

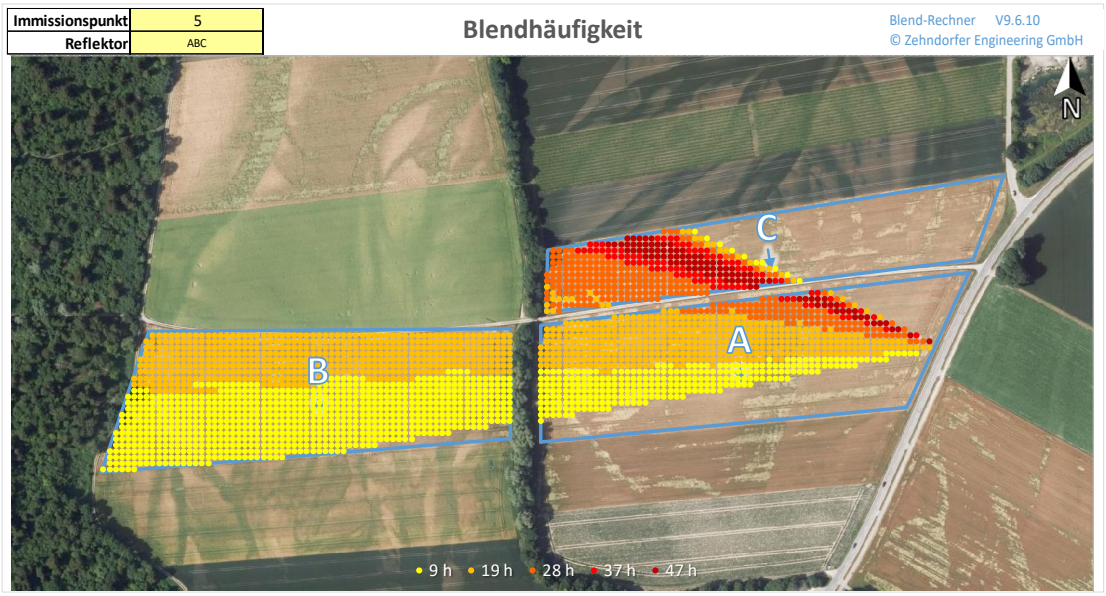

Immissionspunkt 5
Reflektor ABC
Blenddauer
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht

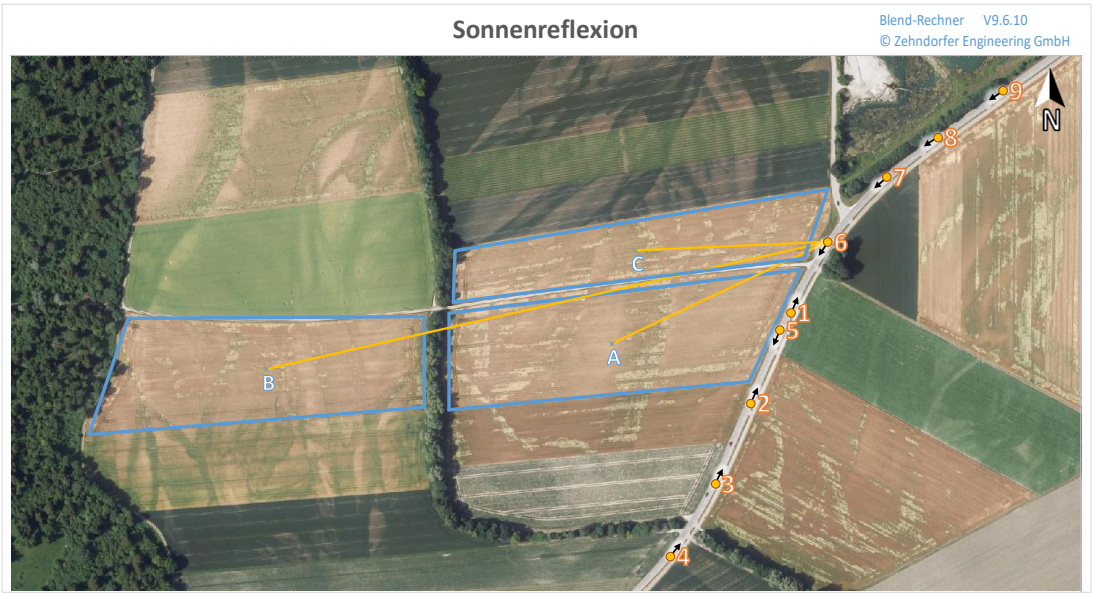

Immissionspunkt 5
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
S
SW
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

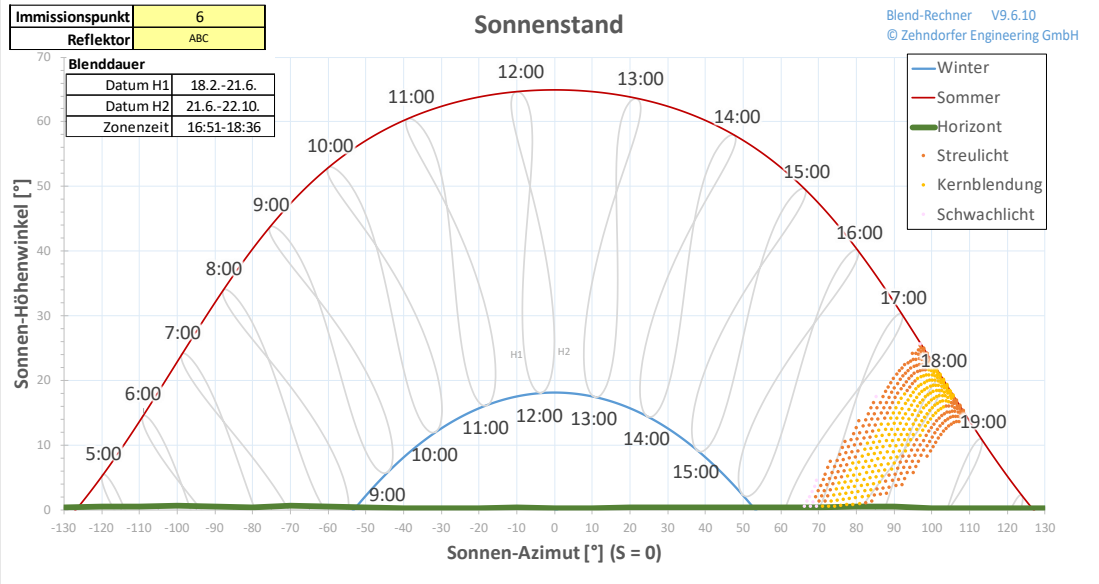
Immissionspunkt	5
Reflektor	ABC

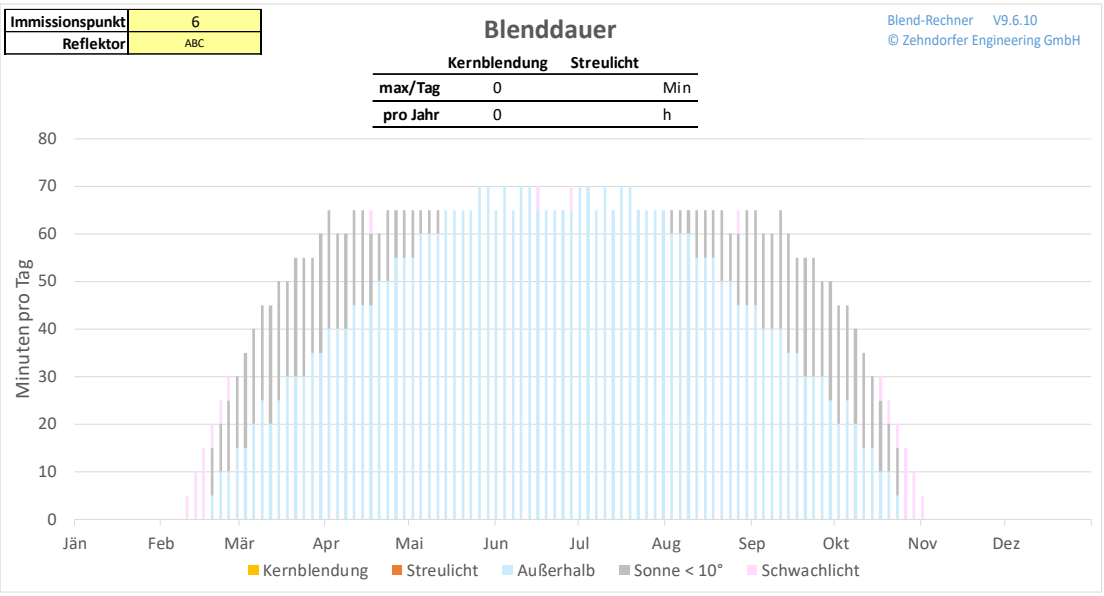


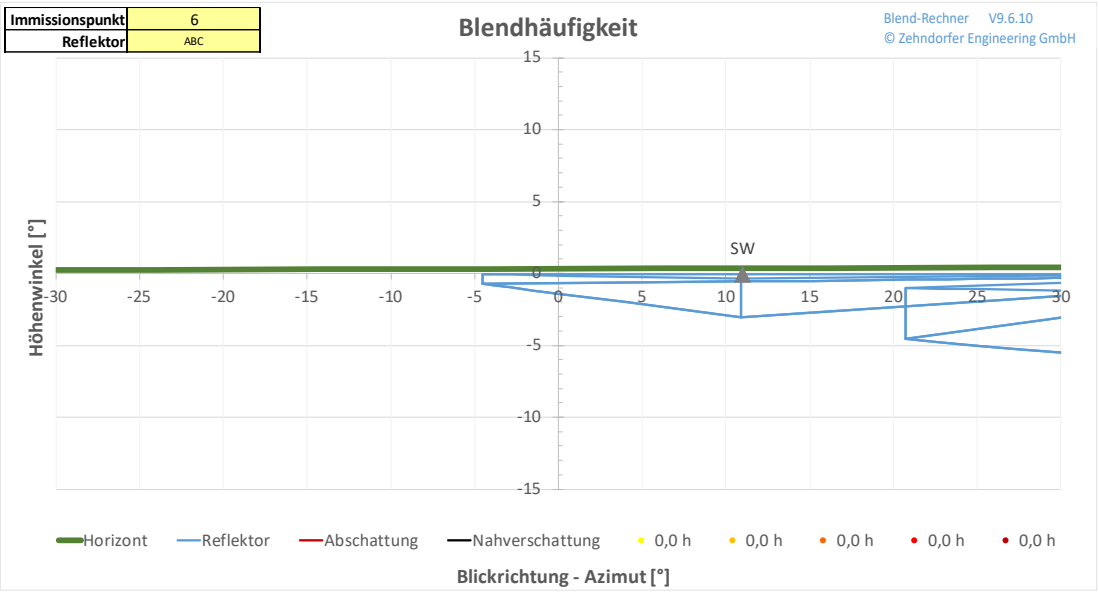
Immissionspunkt	5
Reflektor	ABC



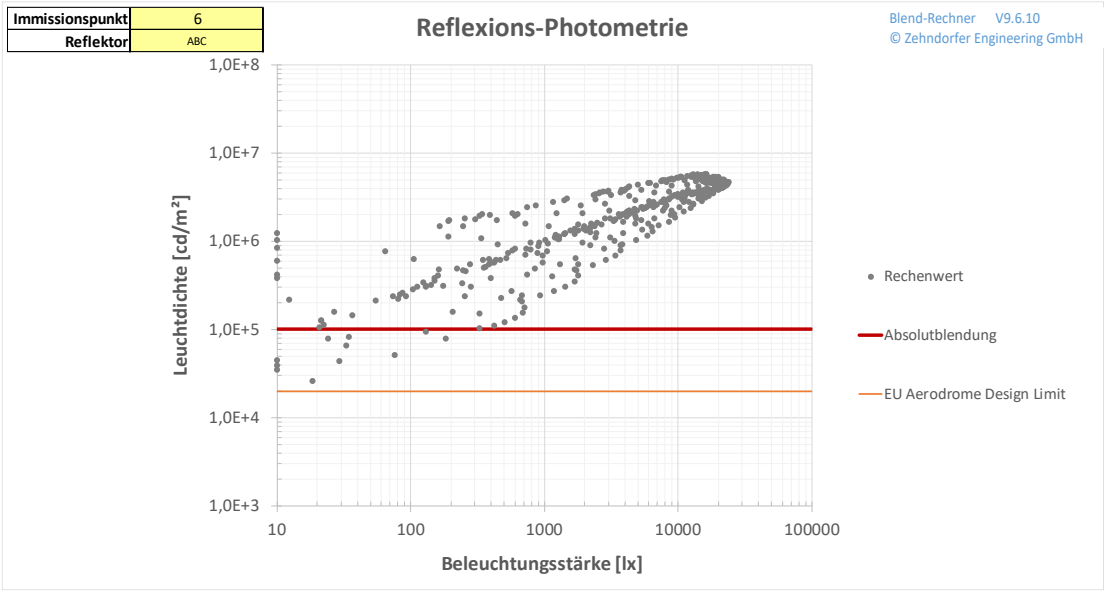



Immissionspunkt 6
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 18.2.-21.6.
Datum H2 21.6.-22.10.
Zonenzeit 16:51-18:36
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)

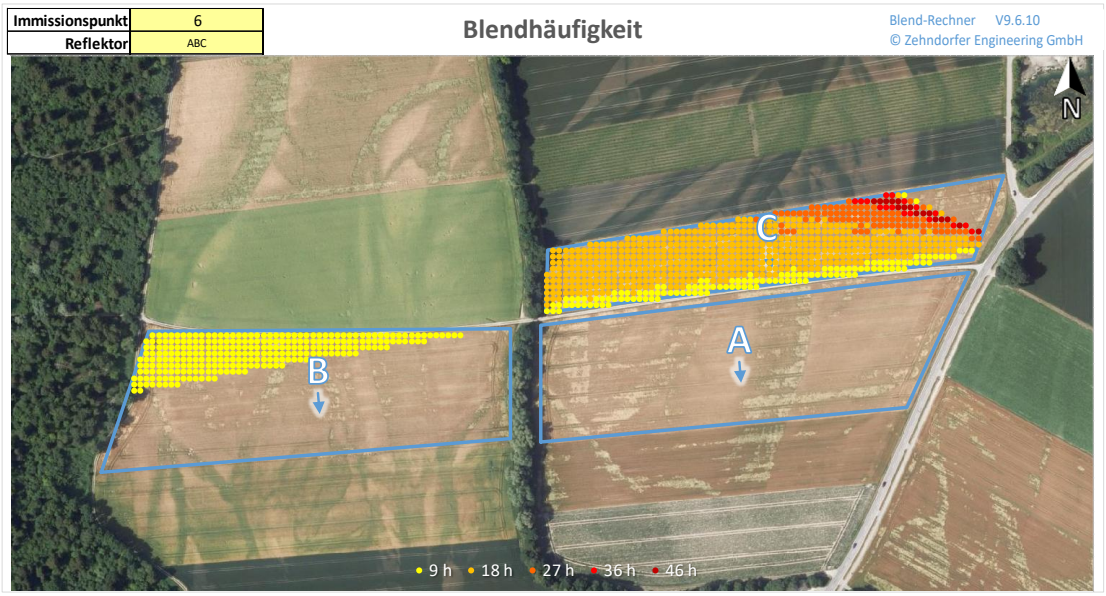

Immissionspunkt 6
Reflektor ABC
Blenddauer
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht

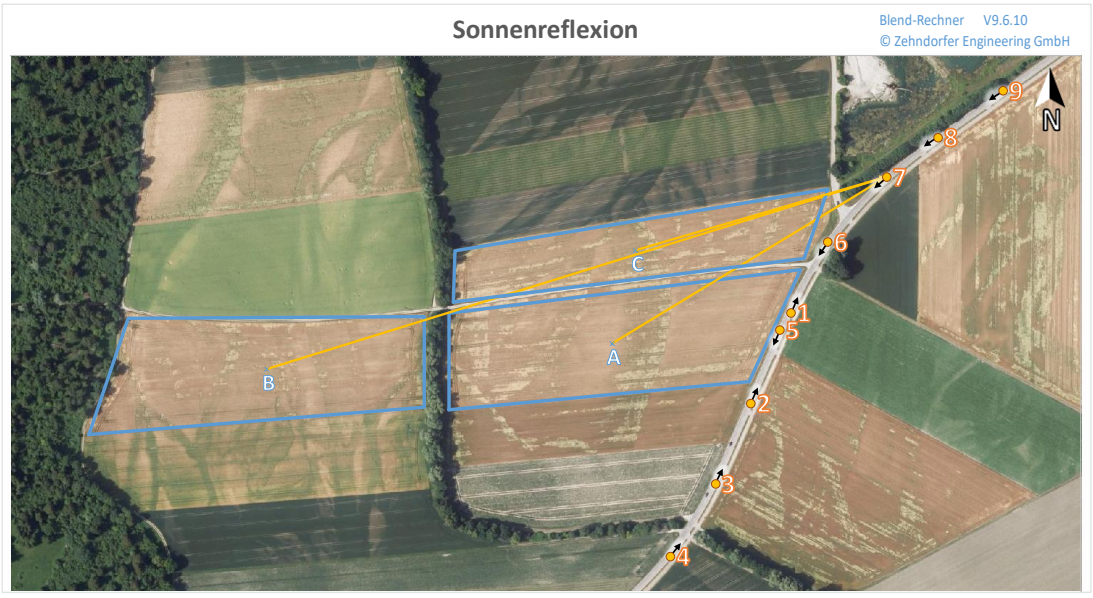

Immissionspunkt 6
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Höhenwinkel [°]
SW
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h 0,0 h
Blickrichtung - Azimut [°]

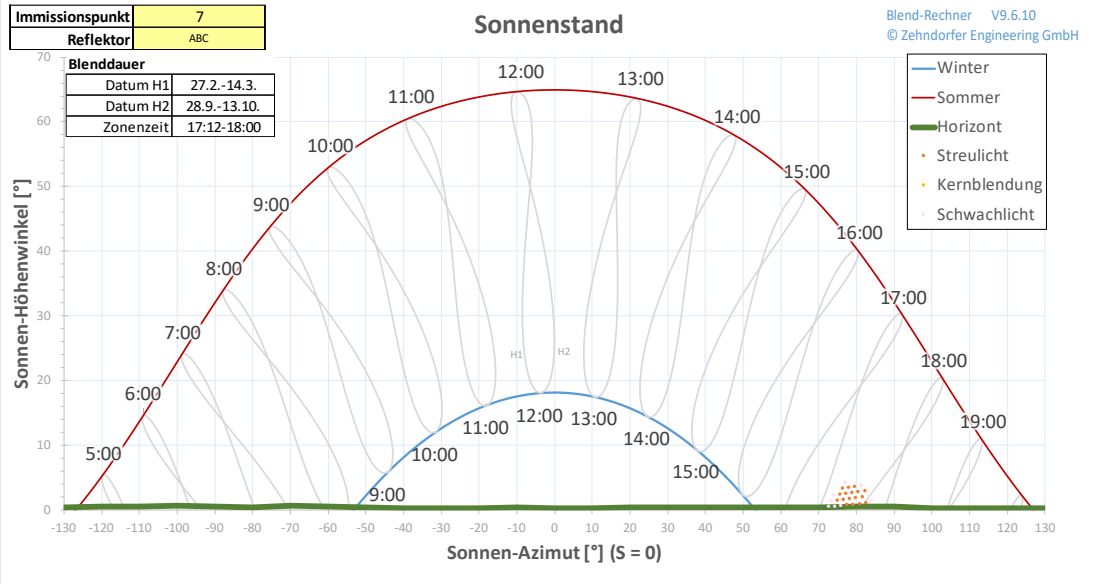
Immissionspunkt	6
Reflektor	ABC

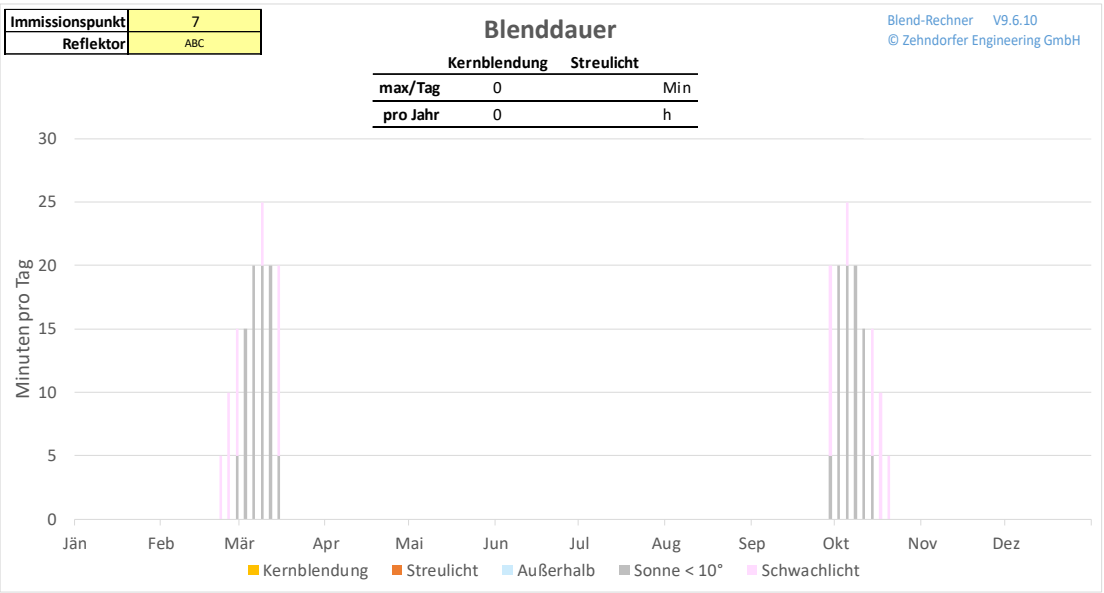


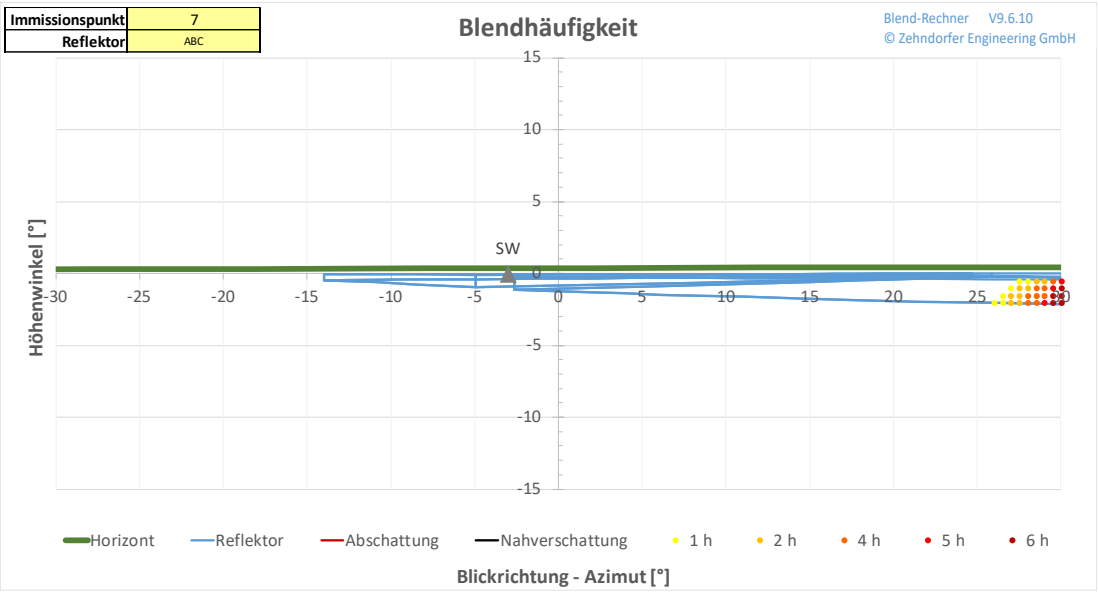
Immissionspunkt	6
Reflektor	ABC

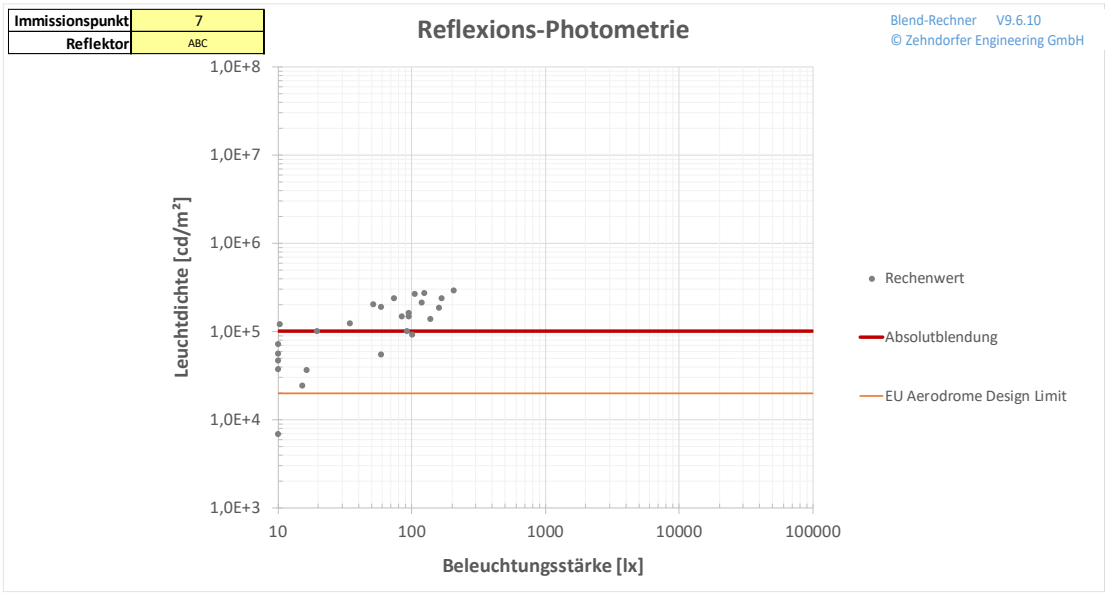


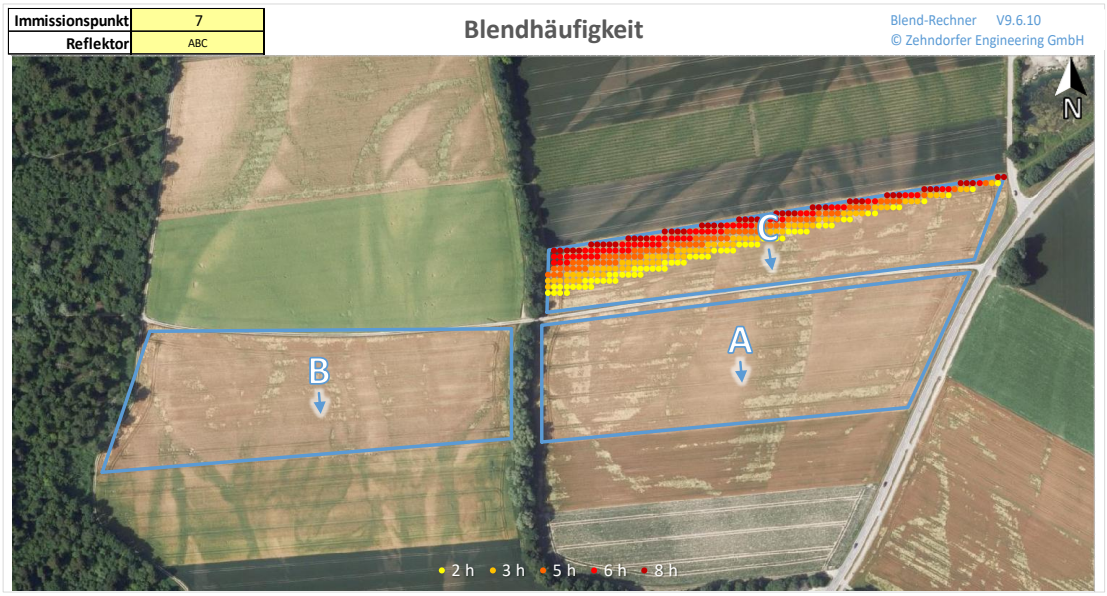



Immissionspunkt 7
Reflektor ABC
Blenddauer
Datum H1 27.2.-14.3.
Datum H2 28.9.-13.10.
Zonenzeit 17:12-18:00
Sonnenstand
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Winter
Sommer
Horizont
Streulicht
Kernblendung
Schwachlicht
Sonnen-Höhenwinkel [°]
Sonnen-Azimut [°] (S = 0)


Immissionspunkt 7
Reflektor ABC
Blenddauer
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
Kernblendung Streulicht
max/Tag 0 Min
pro Jahr 0 h
Minuten pro Tag
Jän Feb Mär Apr Mai Jun Jul Aug Sep Okt Nov Dez
Kernblendung Streulicht Außerhalb Sonne < 10° Schwachlicht


Immissionspunkt 7
Reflektor ABC
Blendhäufigkeit
Blend-Rechner V9.6.10
© Zehndorfer Engineering GmbH
SW
Höhenwinkel [°]
Horizont Reflektor Abschattung Nahverschattung 1 h 2 h 4 h 5 h 6 h
Blickrichtung - Azimut [°]





Allgemeine Hintergründe, gesetzliche Regelungen und Fallbeispiele zum Thema Blendung finden Sie auf

www.zehndorfer.at