

Analyse der Blendwirkung der Solaranlage Münchnerau

Bebauungsplan Nr. 10-5/7

Nördlich Autobahn A92 – Zwischen Speedwaystadion und Klötzmühlbach

Im Auftrag von

Stadt Landshut

Amt für Stadtentwicklung und Stadtplanung

z.H.: Hr. Fabian Pielmeier

Luitpoldstraße 29

84034 Landshut

Gutachten ZE21035-OS

März 2021



INHALT

1 Situationsbeschreibung..... 4

 1.1 PROBLEMBESCHREIBUNG4

 1.2 ORTSBEZEICHNUNG UND LAGE DER PV-ANLAGE4

 1.3 UNTERSUCHTER RAUM7

 1.4 ABSCHATTUNGEN & VERDECKUNGEN7

 1.4.1 *Geländeprofil*.....7

 1.4.2 *Horizont*.....8

 1.4.3 *Bewuchs*8

 1.4.4 *Künstliche Abschattungen*.....8

2 Blendberechnung..... 9

 2.1 BEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG.....9

 2.2 REFLEXIONSBERECHNUNG9

 2.3 ERKLÄRUNG DER ERGEBNISSE 11

 2.4 SICHTBEZUG..... 12

 2.5 BLEND-WIRKUNG..... 12

 2.5.1 *Größenverhältnisse*13

 2.5.2 *Richtung der Blendung*.....13

 2.5.3 *Blendstärke*13

 2.5.4 *Blenddauer*14

 2.5.5 *Mögliche subjektive Effekte*14

 2.5.6 *Verkehrskritische Punkte*.....14

 2.5.7 *Flugverkehr*15

3 Beurteilung & Empfehlungen..... 16

ANHANG 1 Definitionen..... 17

ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze..... 18

ANHANG 3 Methodik der Berechnung 21

ANHANG 4 Vermessung der Umgebung..... 22

ANHANG 5 Detail-Ergebnisse der Berechnungen..... 23

Zusammenfassung

Im Bauverfahren einer Freiflächen-Photovoltaikanlage ist zu prüfen, ob eine Blendwirkung auf den Straßen- oder Flugverkehr besteht.

Es besteht keine Gefahr einer erheblichen Blendung für den Straßenverkehr. Es werden keine gefährlichen Blendungen des Flugverkehrs auftreten.

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	12.3.2021	ursprüngliche Fassung
2.0	12.4.2021	Berechnung inklusive Carport

Haftungsausschluss

Die Simulationsmodelle werden mit aller notwendigen Sorgfalt erstellt. Auf Grund unvermeidbarer Abweichungen zwischen Simulationsmodell 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.

Copyright

Dieses Gutachten ist das geistige Eigentum der Zehndorfer Engineering GmbH. Seine Verwendung ist nur dem Auftraggeber und den von diesem Beauftragten für die Zwecke gemäß Kapitel 1 gestattet. Es bezieht sich auf einen konkreten Standort und eine ganz bestimmte Anlage. 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.

Piloten von Flugzeugen sind insbesondere bei der Landung auf gute Sicht angewiesen. Zwar sind Landungen prinzipiell auch bei schlechter Sicht möglich, allerdings wird dafür ein Instrumentenlandesystem benötigt, mit welchem nicht jedes Flugzeug ausgestattet ist. Blendung kann unter Umständen den Sichtflug und das Erkennen von Objekten und Signalen am Boden behindern, wodurch es zu Fehleinschätzungen kommen kann.

Ziel dieses Gutachtens ist die Prüfung, ob der Straßenverkehr auf der Autobahn A92, oder der Flugverkehr in Richtung des Flugplatz Landshut (EDML) von den Reflexionen der PV-Module geblendet werden könnten.

1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Photovoltaik-Anlage befindet sich in der Gemeinde 84028 Landshut und besteht aus einem Carport und einer Freiflächenanlage (Gemarkung Münchnerau, GPS-Koordinaten 48°30'46"N, 12°2'50"O) nord-westlich der Autobahn A92.

Abbildung 1 Situation

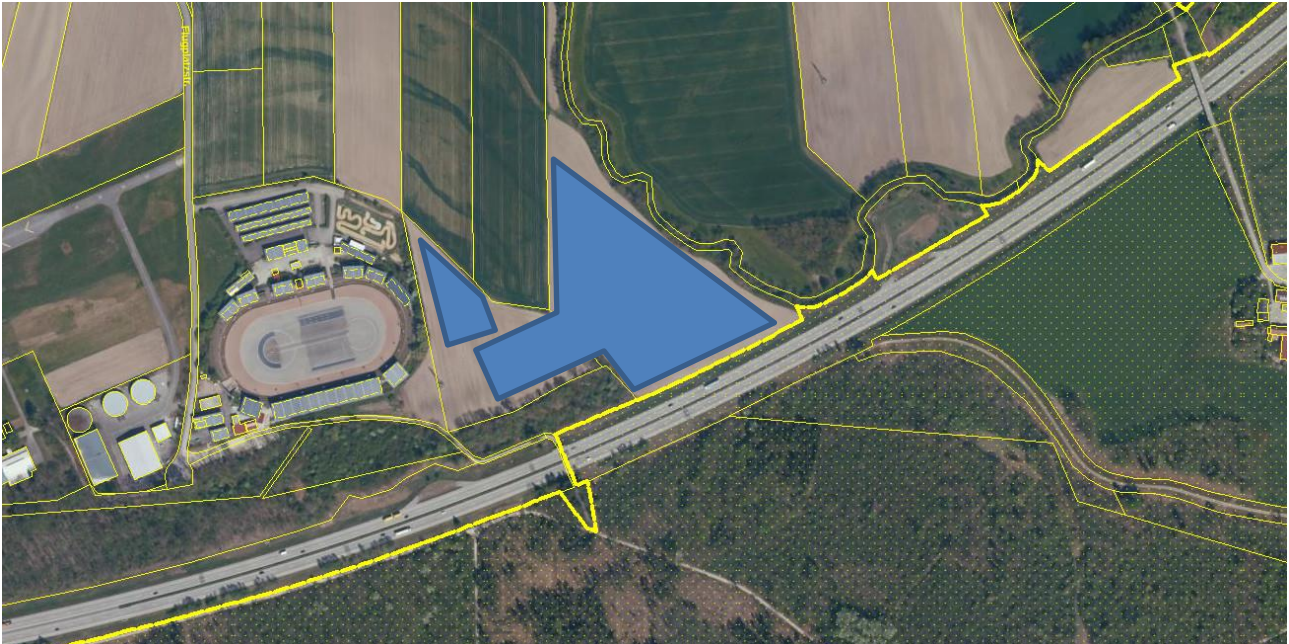


Abbildung 2 Modulbelegungsplan

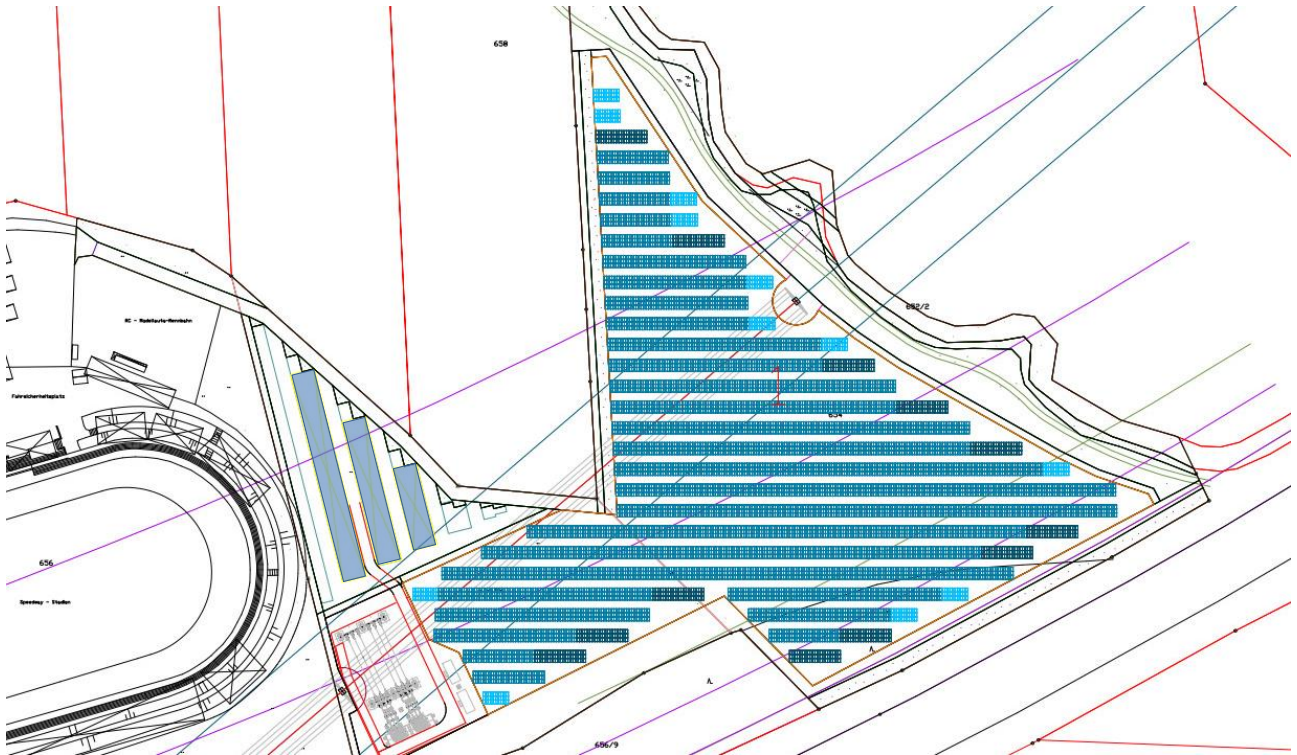


Abbildung 3 Querschnitt Carport

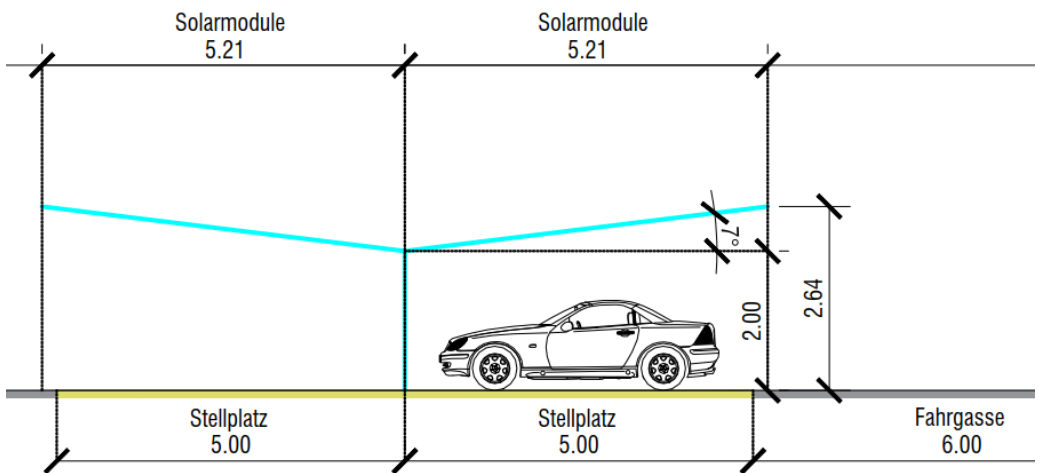


Abbildung 4 Querschnitt Modultische

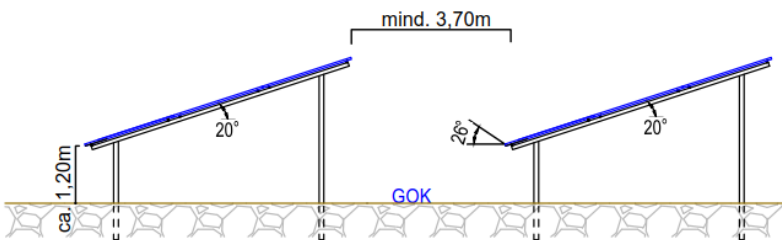
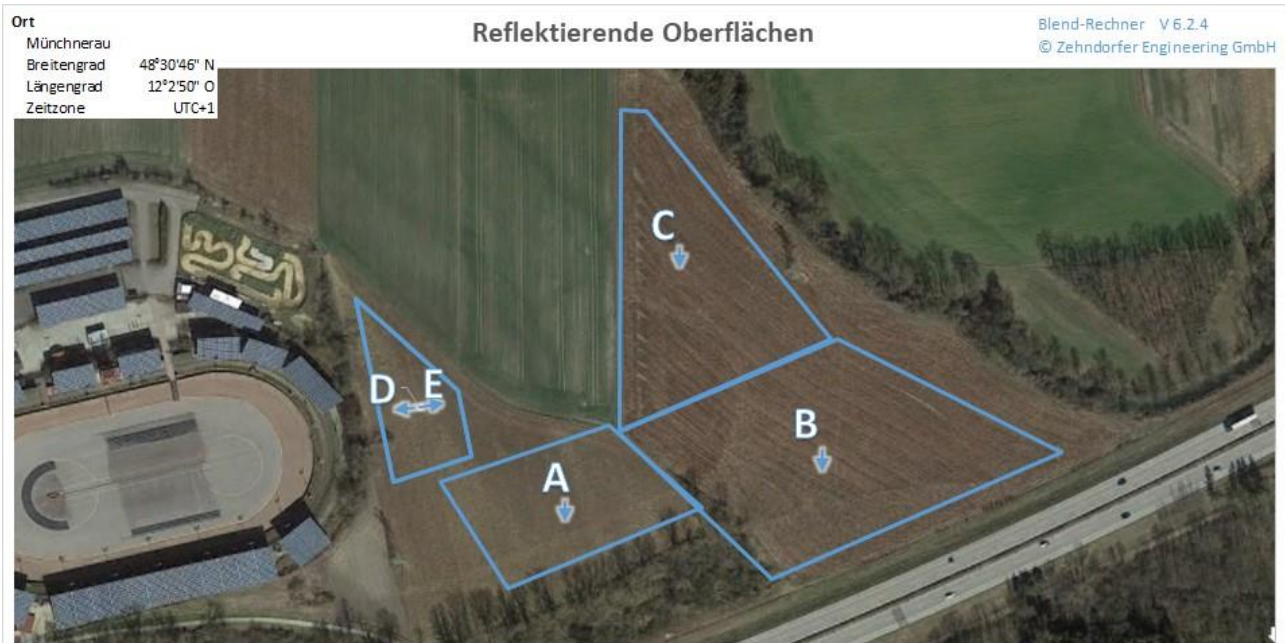


Abbildung 5 Ausrichtung der Anlage



Die PV-Anlage wurde für die Berechnung in vier Vierecken modelliert.

Abbildung 6 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)

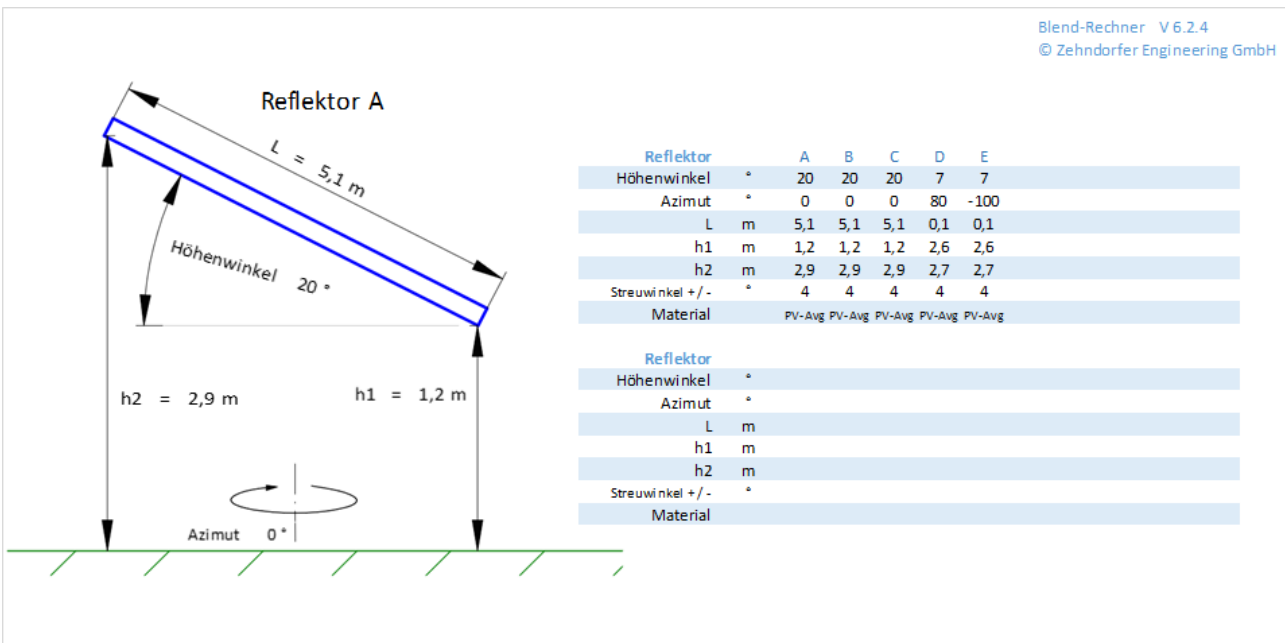


Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum¹. Die Module sind in Richtung - Süden mit 20° geneigt aufgeständert. Sie sind auf dreireihigen Modultischen, hochkant, mit der Oberkante bei ca. 2,9 m angeordnet. Das Carport liegt auf 2,6m über Grund und ist mit 7° nach innen (Ost-Teil nach

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

Westen, West-Teil nach Osten) orientiert. Für die Streuung an den PV-Modulen wurde ein üblicher Streuwinkel von +/- 4° angenommen.

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.

1.3 Untersucher Raum

Die Immissionspunkte (IP) sind jene Punkte, für die die Blendberechnung durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Punkte liegen auf der Autobahn A92 in beiden Richtungen (2,5m über der Fahrbahn).

Abbildung 7 Immissionpunkte

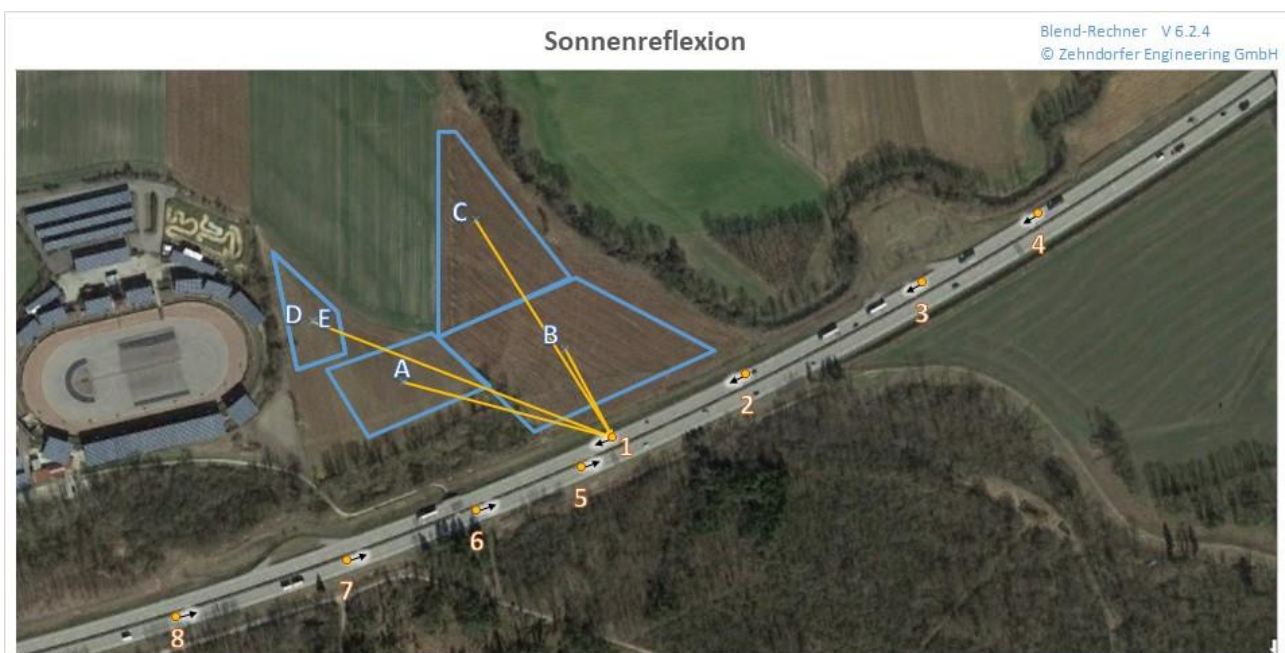


Abbildung 7 und zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und des PV-Feldes. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss.

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

1.4 Abschattungen & Verdeckungen

1.4.1 Geländeprofil

Das umliegende Geländeprofil ist relativ flach. Die Autobahn liegt an der fraglichen Stelle etwas über der Fläche auf der sich die PV-Anlage befindet. Es gibt aber sonst keine Geländekanten, die den Blick auf die PV-Anlage verhindern würden.

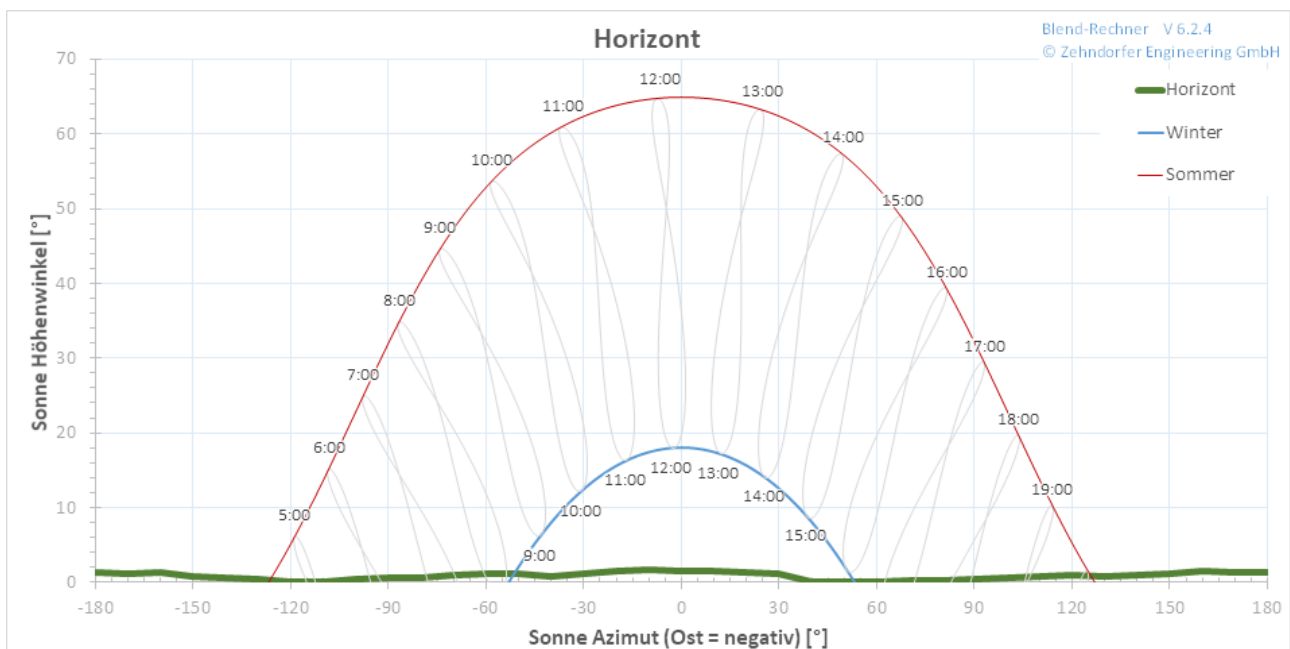
Abbildung 8 Gelände-schummerung



1.4.2 Horizont

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

Abbildung 9 Horizont



1.4.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP stehen zum Teil Bäume, die den Blick auf die PV-Anlage verhindern würden. Die Blendberechnung wurde jedoch ohne die Wirkung von eventuellem Bewuchs durchgeführt.

1.4.4 Künstliche Abschattungen

Zwischen einigen IP und der Solaranlage gibt es keine Gebäude, die die Sichtbeziehung zur PV-Anlage unterbrechen würden. Die nördliche Fahrbahnkante wird einen Teil der Anlage abschatten, spielt aber speziell für höhere Fahrzeuge eine untergeordnete Rolle.

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

2.2 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung basiert auf der Methode Raytracing (siehe Anhang 3). Die Reflexionen werden für jeden Immissionspunkt einzeln berechnet.

Abbildung 10 Reflexion der Solar Anlage zum IP8

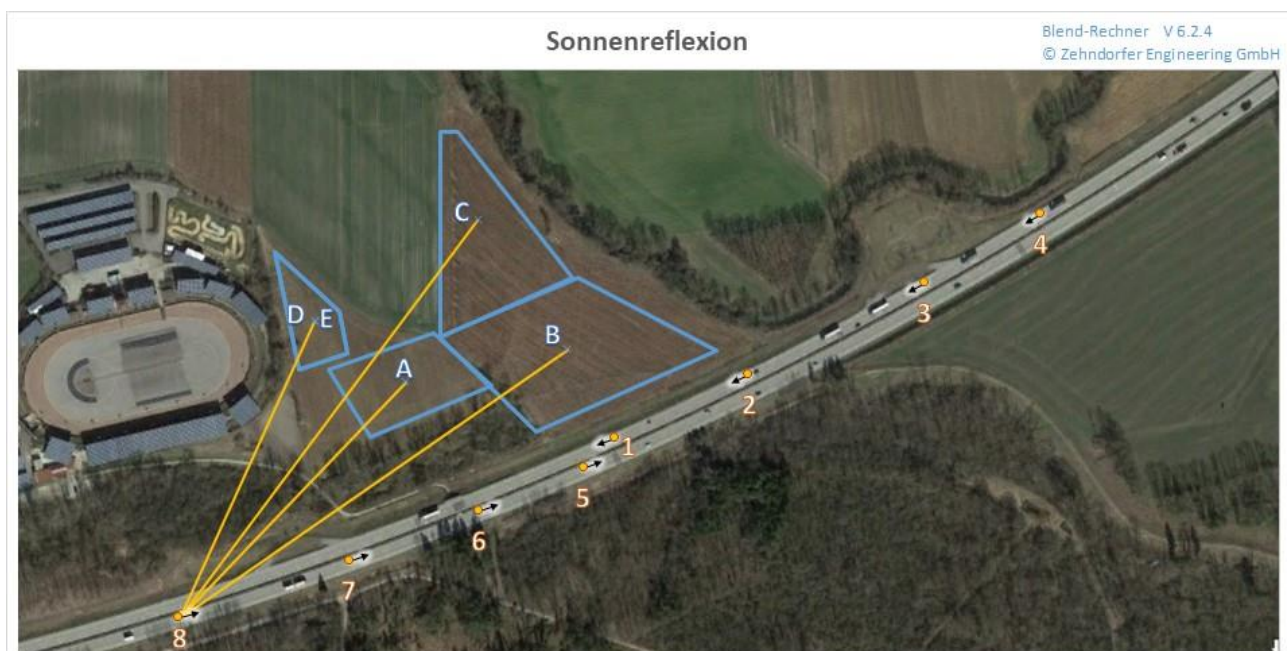
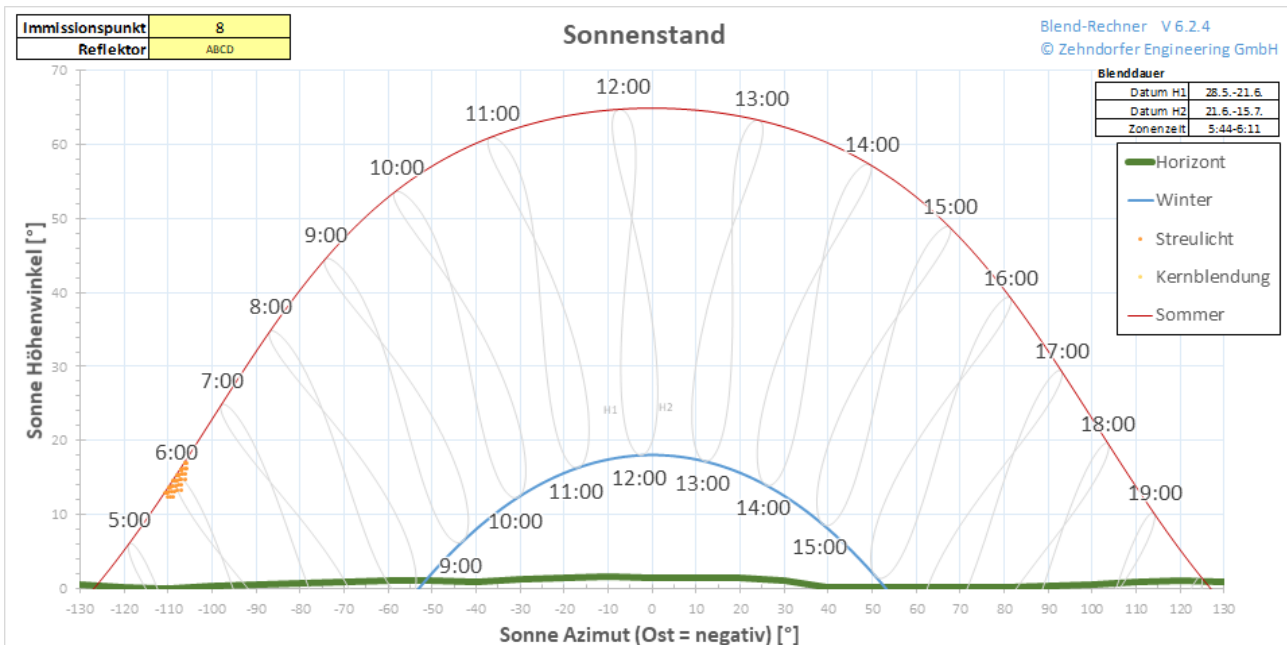


Abbildung 10 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 11 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. Es ist auch jener Sonnen-höhenwinkel und der Sonnen-azimut dargestellt, bei dem Reflexionen in Richtung des Immissionspunktes ausgestrahlt werden.

Abbildung 11 Sonnenwinkel bei Blendung am IP 8



Am IP 8 ist also morgens von Mai bis Juli mit Reflexionen zu rechnen. Die Resultate der Berechnung sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Alle weiteren Ergebnisse sind in Anhang 5 zu finden.

Reflektor	ABCD	
Immissionspunkt	8	
Distanz	m	214
Höhenwinkel	°	0
Raumwinkel	msr	0
Datum H1	28.5.-21.6.	
Datum H2	21.6.-15.7.	
Zeit	5:44-6:11	
Kernblendung min / Tag	0	
Kernblendung h / Jahr	0	
Streulicht min / Tag	30	
Streulicht h / Jahr	21	
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	15
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-108
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	21
Blendung - Blickwinkel (min)	°	7
Leuchtdichte (max) [k cd/m ²]	3.364	
Retinale Einstrahlung (max) [mW/cm ²]	2	
Beleuchtungsstärke (max) [lx]	145	

2.3 Erklärung der Ergebnisse

Distanz	Ist die Distanz zwischen Mittelpunkt des Reflektors und Immissionspunkt in Meter.
Höhenwinkel	Der Höhenwinkel des Reflektors über dem Immissionspunkt. 0° bedeutet, dass sich der Reflektor am Horizont befindet.
Raumwinkel	Der Raumwinkel, gemessen in Milliradian. Der Raumwinkel 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	Jene maximale Zeitspanne bei der die 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, für den Fall, dass das Streulicht (nach Vorgabe) unberücksichtigt bleibt, steht hier derselbe Wert wie bei der Kernblendung
Dauer	Die Anzahl jener Tage im Jahr (Frühjahr und Herbst), an denen zu irgendeiner Uhrzeit eine Blendung auftreten kann. Außerhalb dieser Tage steht die Sonne zu hoch oder zu flach um am Immissionspunkt zu blenden, oder es findet eine Verschattung durch den Horizont oder künstliche Hindernisse statt.
Sonnen Höhenwinkel	Durchschnittlicher Sonnen-höhenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung
Sonnen Azimut	Durchschnittlicher Sonnen-Azimut zum Zeitpunkt der Blendung
Sonne-Reflektor Winkel	Der vom Immissionspunkt aus, sichtbare Winkel zwischen Reflektor und Sonnenstand bei Blendung. 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 könnten. Ist der Winkel groß (also außerhalb des eines Kegels von 30°), so spielt die Blendung eine untergeordnete Rolle.
Leuchtdichte	Das Maximum der errechneten Leuchtdichte der Reflexion in 1000 cd/m ²
Retinale Einstrahlung	Die maximale Leistungsdichte der reflektierten Strahlen auf der Netzhaut in W/cm ²
Beleuchtungsstärke	Die maximale zusätzliche Beleuchtungsstärke der reflektierenden Strahlen am IP in lux.

2.4 Sichtbezug

Um den Sichtbezug zu den reflektierenden Flächen, sowie zur Reflexion und zum Sonnenstand 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 12 Blickfeld am IP 8

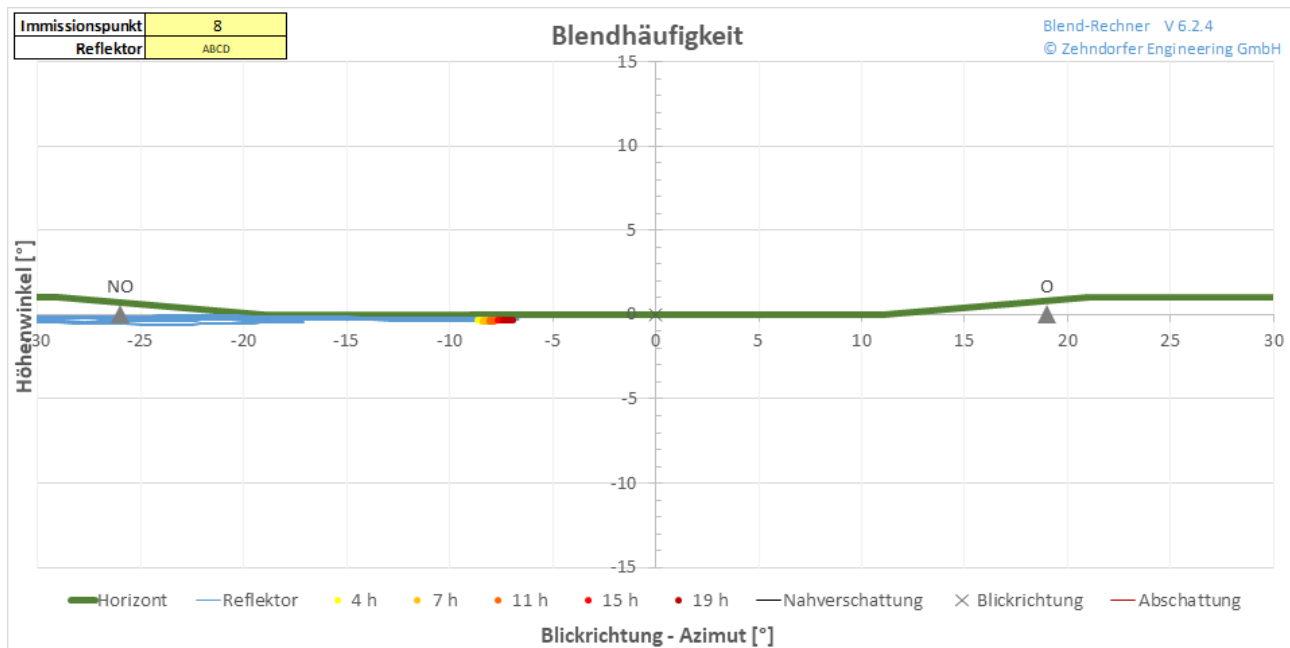


Abbildung 12 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr (inklusive Streublendung) farblich dargestellt. Alle weiteren Ansichten sind in Anhang 5 zu sehen.

2.5 Blend-wirkung

Die Auswirkung der Blendung auf den Menschen ist von mehreren Parametern abhängig. Folgende Parameter haben einen Einfluss auf die Blend-wirkung 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 Entfernung²) sind hier alle Größen im Maß des Raumwinkels (Milliradian) 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 IP 8 (<1 msr) ist als sehr klein 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-Positionsindex³.

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 rechtwinklig auf die Oberfläche eintreffendem Licht relativ kleine Reflexionsfaktoren, weshalb dabei nur ein Teil des Sonnenlichts reflektiert wird. In diesem konkreten Fall ist der Reflexionswinkel jedoch (zur Normalen auf die Solar-Module) hoch (d.h. relativ flach zur Glasoberfläche), wodurch ein großer Teil des Sonnenlichts reflektiert wird.

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.“

2.5.4 Blenddauer

Abbildung 13 Blenddauer am IP 8

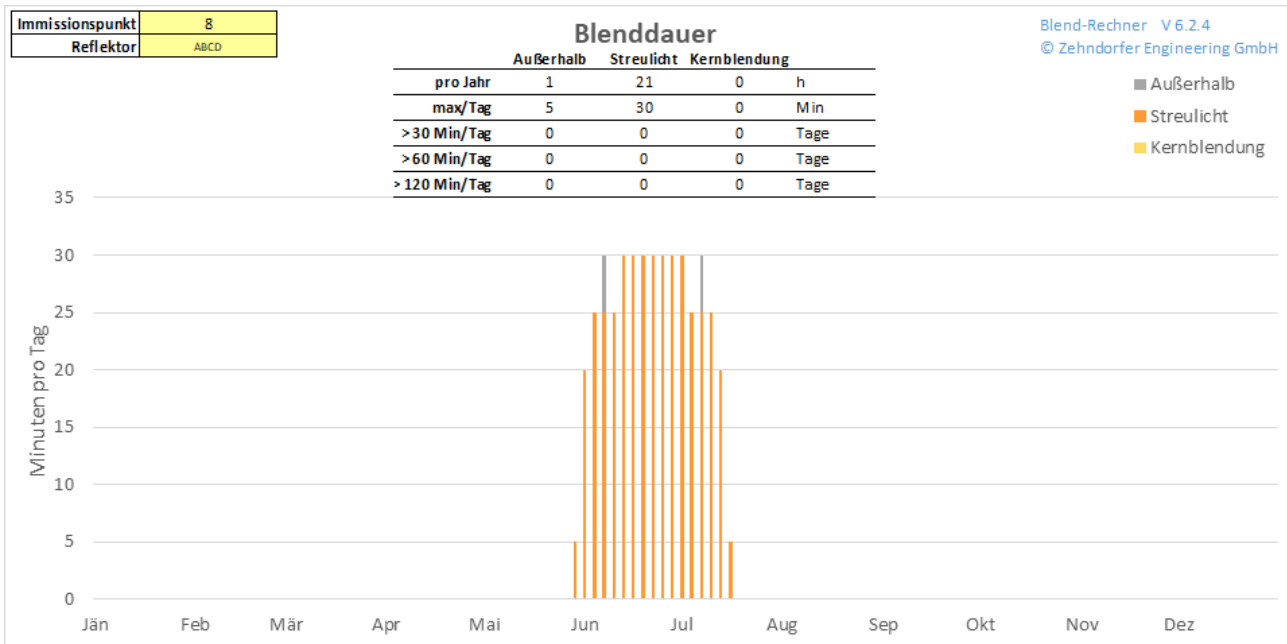


Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

Orange Linien kennzeichnen Streulicht, eventuelle gelbe Linien stellen direkte Spiegelungen dar.

Eventuell grau unterlegte Bereiche sind jene Zeiten zu denen zwar Reflexionen stattfinden, diese werden jedoch auf Grund der 10°-Regel gemäß LAI-2012 (Blickwinkel zwischen Sonne und Modul mindestens 10°) beziehungsweise des inneren Gesichtsfeldes (+/-15° von der Blickrichtung) nicht in der Summe der Blenddauer berücksichtigt.

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 Mögliche subjektive Effekte

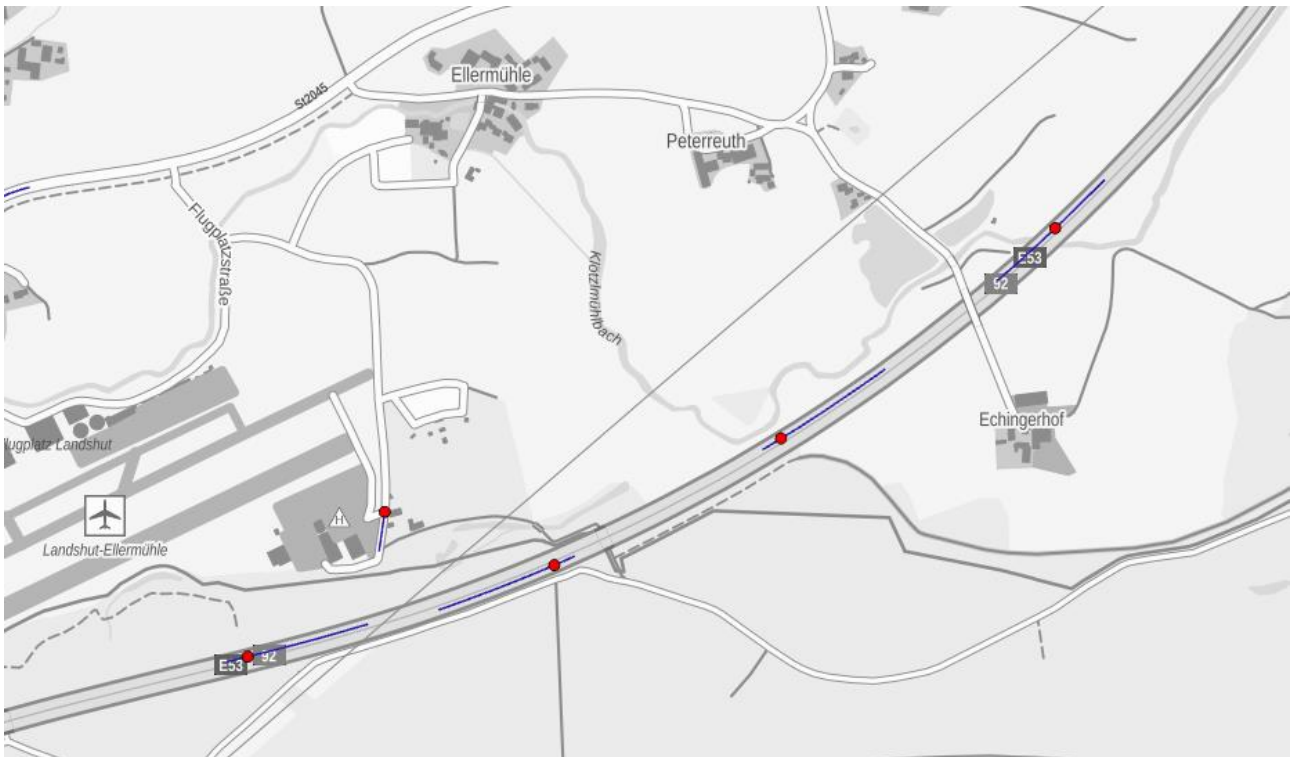
Es gibt Tätigkeiten, bei denen die ungestörte Sicht in Richtung der PV Anlage notwendig ist. Für den Verkehr kann der Blick in Richtung der Blendung notwendig sein, falls diese in Fahrtrichtung liegt.

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 14 Unfälle 2018



Im Jahr 2018 gab es einige Unfälle auf dem relevanten Straßenstück. Dies ist jedoch nicht als übermäßige Unfallhäufung zu werten.

An den IP liegen also keine verkehrskritischen Punkte vor.

2.5.7 Flugverkehr

Für den Flugverkehr ist insbesondere der Landeanflug kritisch, da sich der Pilot dabei auf die Piste konzentrieren muss. Air-Traffic Controller im Tower müssen für Ihre Arbeit die Anflugsektoren, die Piste, sowie die Rollwege ungestört einsehen können. Ist der Sichtkontakt gestört, so müssen sie sich auf diverse Instrumente verlassen und können in diesem Fall Flugzeugabstände und Zeitfenster nicht im selben Ausmaß optimieren.

Für die Fluglotsen am Tower ist es für die Verrichtung Ihrer Aufgabe wesentlich, dass sie Blickkontakt zu ankommenden, landenden und rollendem Verkehr auf der Piste und den Rollwegen haben. Der direkte Blickkontakt erlaubt den Fluglotsen Wege und Abstände der Luftfahrzeuge zu optimieren. Wenn der Blickkontakt gestört ist, so kann diese Optimierung nicht stattfinden - ein Zustand der soweit wie möglich zu vermeiden ist.

Gemäß der European Aerodrome Design Guidelines, sind Blendungen im Gesichtsfeld von Piloten mit einer Leuchtdichte von über 20.000 cd/m^2 zu vermeiden.

3 Beurteilung & Empfehlungen

IP1 bis 7 (Autobahn)

Auf Basis des astronomischen Sonnenstandes werden zu keiner Zeit Reflexionen in Richtung dieser IP ausgestrahlt.

IP8 (Autobahn)

In Richtung dieser IP können kurzfristig Reflexionen auftreten. Diese haben die folgenden Eigenschaften:

- sie bestehen ausschließlich aus kurzem (30 Minuten pro Tag) Streulicht
- sie finden kurz nach Sonnenaufgang im Sommer statt
- sie kommen von einem sehr kleinen Teil der Anlage
- der Raumwinkel der reflektierenden Fläche ist sehr klein
- sie können im inneren Gesichtsfeld der Fahrzeuglenker liegen
- die Sonne steht zu diesem Zeitpunkt in einer ähnlichen Richtung (21°)
- sie wirken nur auf den IP8 (während sie an anderen Punkten außerhalb des Gesichtsfeldes liegen)

Aus diesen Gründen wird die Gefährlichkeit der Reflexionen auf den Straßenverkehr als gering eingestuft.

IP 9 (Tower)

Es wird zu kurzen Reflexionen kommen, bei denen die Sonne jedoch in der gleichen Richtung (9°) steht und diese daher so überstrahlt, dass sie kaum wahrgenommen werden, was gemäß Richtlinie nicht als erhebliche Blendwirkung zu werten ist.

IP 10 (Anflug)

Am IP 10 kann es zu kurzen Reflexionen in Richtung des Anflugsektors kommen. Diese liegen jedoch vollständig außerhalb des Gesichtsfeldes der Piloten und stellen daher keiner Gefahr für den Flugverkehr dar.

IP 11 bis 18 (Anflug)

Auf Basis des astronomisch möglichen Sonnenstandes kann es nicht zu Reflexionen an den IP kommen.

Es besteht keine Gefahr einer erheblichen Blendung für den Straßenverkehr. Es werden keine gefährlichen Blendungen des Flugverkehrs auftreten.

Datum: 12.4.2021

Gutachter:

**Zehndorfer
Engineering**
+43 (680) 244 3310
office@zehndorfer.at
www.zehndorfer.at
FN 516736k
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 <i>Wahrnehmung</i> , verursacht durch eine helle Lichtquelle im Gesichtsfeld
Psychologische Blendung	eine Form von Blendung, welche als <i>unangenehm oder ablenkend</i> 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 <i>technisch messbar</i> 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	Für (nahezu) glatte Oberflächen gilt das <i>Reflexionsgesetz</i>
Immissionspunkt	Punkt, auf welchen Strahlung (durch Reflexion) einwirkt
Emissionspunkt	Punkt, von dem Strahlung (durch Reflexion) ausgesendet wird
Leuchtdichte	Ein Maß für den <i>Helligkeitseindruck</i> . Gibt die Lichtstärke pro Fläche in Candela pro Quadratmeter an [cd/m^2] bzw. den Lichtstrom pro sichtbarer Flächeneinheit des Reflektors und Raumwinkel (des entfernt stehenden Auges) [$\text{lm}/\text{m}^2\text{sr}$].
Lichtstärke	Der Lichtstrom pro Raumwinkel [lm/sr].
IP	Die Immissionspunkte auch „Points of interest“ sind jene Punkte, für die die Blend-berechnung durchgeführt wird
PV	Photovoltaikanlage
Azimut	Winkel (am Boden) zwischen Objekt und Südrichtung
Elevation	zu Deutsch <i>Höhenwinkel</i> , gemessen von der Horizontalen zum Objekt
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 aber 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

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.

Luftverkehrsgesetz (LuftVG) 2007, §12 Errichtung von Bauwerken

(3) In der weiteren Umgebung eines Flughafens ist die Zustimmung der Luftfahrtbehörden erforderlich, wenn die Bauwerke folgende Begrenzung überschreiten sollen:

1. außerhalb der Anflugsektoren a) im Umkreis von 4 Kilometer Halbmesser um den Flughafenbezugspunkt eine Höhe von 25 Metern (Höhe bezogen auf den Flughafenbezugspunkt), b) im Umkreis von 4 Kilometer bis 6 Kilometer Halbmesser um den Flughafenbezugspunkt die Verbindungslinie, die von 45 Meter Höhe bis 100 Meter Höhe (Höhen bezogen auf den Flughafenbezugspunkt) ansteigt;
2. innerhalb der Anflugsektoren a) von dem Ende der Sicherheitsflächen bis zu einem Umkreis um den Startbahnbezugspunkt von 10 Kilometer Halbmesser bei Hauptstart- und Hauptlandeflächen und von 8,5 Kilometer bei Nebenstart- und Nebenlandeflächen die Verbindungslinie, die von 0 Meter Höhe an diesem Ende bis 100 Meter Höhe (Höhen bezogen auf den Startbahnbezugspunkt der betreffenden Start- und Landefläche) ansteigt, b) im Umkreis von 10 Kilometer bis 15 Kilometer Halbmesser um den Startbahnbezugspunkt bei Hauptstart- und Hauptlandeflächen die Höhe von 100 Metern (Höhe bezogen auf den Startbahnbezugspunkt der betreffenden Start- und Landeflächen).

European Aviation Safety Agency 2017 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)

CHAPTER M — VISUAL AIDS FOR NAVIGATION (LIGHTS)

(h) Assessment on dazzle in the aerodrome vicinity:

- (1) Human vision is a complex mechanism using both eye and brain. Even though this mechanism is quite handled for eye, there is still a lack of knowledge on the interpretation of it by the brain. Thus, vision varies from one human being to another.
- (2) The field of view is defined by the area perceived by eyes. The perception of details is based on the luminance ratio between elements of the scene, taking into account spatial distribution. Luminance and contrast are key elements of vision mechanism.
- (3) Four sectors can be identified in the field of view (FOV): (i) sensation field, corresponding to the absolute boundaries of FOV; it opens up to approximately 90° on each side of the eye direction; (ii) visibility field, which is narrower and enables the perception of an object; it opens up to 60°; (iii) conspicuity field, which enables the recognition, it opens up to 30°; (iv) working conspicuity field, which is further tightly centred on the eye direction (1 to 2°); it enables the identification and is the working area of the vision. It is reminded that the retina is composed in its centre by cone cells (that see colours and details) and at the periphery by rod cells (that perceive movements and change of state).

(i) A safety assessment is conducted in order to identify situations where the risk of dazzling becomes unacceptable. Thus, it is noted that dazzle represents such a risk in the following situations:

- (1) during approach, especially after the aircraft has descended below the decision height: the pilot should not lose any visual cue;
- (2) at touchdown the pilot should not be surprised by a flash;
- (3) during rolling (landing or take-off), the pilot should be able to perceive his environment and detect any deviation from the centre line: the pilot should not lose any visual cue.
- (4) Thus: (i) prejudicial dazzle due to veiling luminance should not occur during approach (slightly before the decision height) and rolling; and (ii) surprise effect should not occur at touchdown.

(j) Regarding air traffic controllers, it has been considered that dazzle induced by veiling effect should not reduce the visual perception of aircraft operations on, and close to the runway.

(k) The elements here above can be applied to solar panels. The following assumptions can be made:

- (1) solar panels are inclined so as to efficiently capture the sunlight, conducting to a range of cross section surfaces;
- (2) the maximum acceptable luminance value has been fixed to 20 000 cd/m²; and
- (3) the surfaces varied from 100 m² to several hectares.

(l) It is assumed that the aircraft maintains precisely its trajectory whereas in reality the approach is conducted into a conical envelop around the expected trajectory.

EU Regulation 2018/1139

Annex VII Essential requirements for aerodromes - Aerodrome Surroundings

3.2. Hazards related to human activities and land use, such as, but not limited to, items on the following list, shall be monitored. The risk caused by them shall be assessed and mitigated as appropriate:

- (a) any development or change in land use in the aerodrome area;
- (b) the possibility of obstacle-induced turbulence;
- (c) the use of hazardous, confusing and misleading lights;
- (d) the dazzling caused by large and highly reflective surfaces;
- (e) the creation of areas that might encourage wildlife activity in the surroundings of the aerodrome movement area; or
- (f) sources of non-visible radiation or the presence of moving or fixed objects which may interfere with, or adversely affect, the performance of aeronautical communications, navigation and surveillance systems.

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 zu den Immissionspunkten 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 reflektierende Oberfläche berechnet.

ANHANG 4 VERMESSUNG DER UMGEBUNG

Für die Koordinaten wurde das folgende Bezugssystem gewählt: UTM Zone 33, mit false northing -5.000.000

Die PV Anlage befindet sich an folgenden Koordinaten

Reflektor Eckpunkt	A				B				C			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	281.855	281.953	281.908	281.824	281.986	282.132	282.024	281.913	281.914	282.020	281.934	281.921
y	377.415	377.454	377.500	377.473	377.415	377.477	377.542	377.496	377.497	377.542	377.668	377.669
z	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399
h	1,2	1,2	2,94	2,94	1,2	1,2	2,94	2,94	1,2	1,2	2,94	2,94

Reflektor Eckpunkt	D				E			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	281.800	281.840	281.834	281.786	281.800	281.840	281.834	281.786
y	377.474	377.486	377.522	377.573	377.474	377.486	377.522	377.573
z	399	399	399	399	399	399	399	399
h	2,6	2,6	2,65	2,65	2,6	2,6	2,7	2,7

mit den folgenden Winkeln der reflektierenden Flächen

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	20	0	0	0	20	0
B	20	0	0	0	20	0
C	20	0	0	0	20	0
D	7	80	0	0	7	80
E	7	-100	0	0	7	-100

Für diese Berechnung wurden folgende Immissionspunkte betrachtet

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8
Bezeichnung	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6	IP7	IP8
x	282.048	282.156	282.298	282.392	282.023	281.939	281.835	281.699
y	377.407	377.456	377.527	377.581	377.383	377.349	377.312	377.269
z	400	400	400	400	400	400	400	400
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Blickrichtung - Az	66	62	58	57	-115	-113	-111	-109

ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

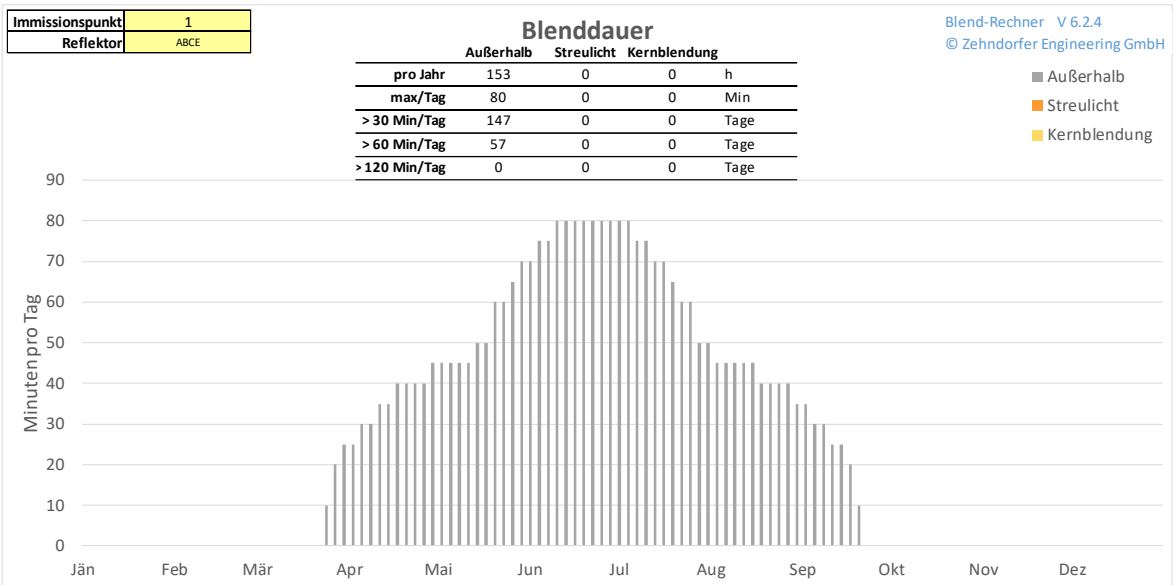
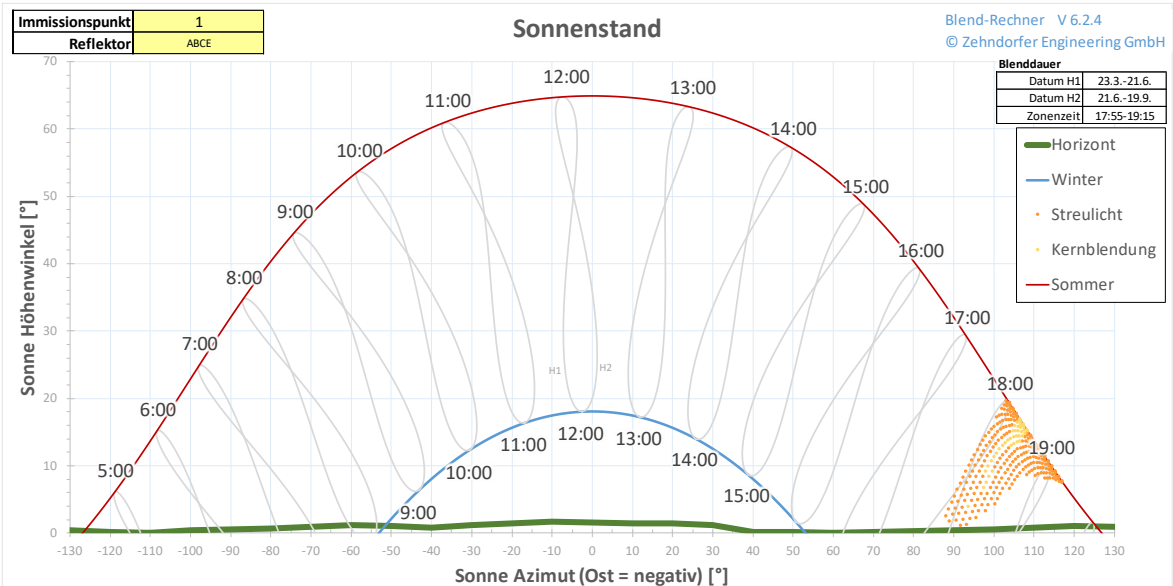
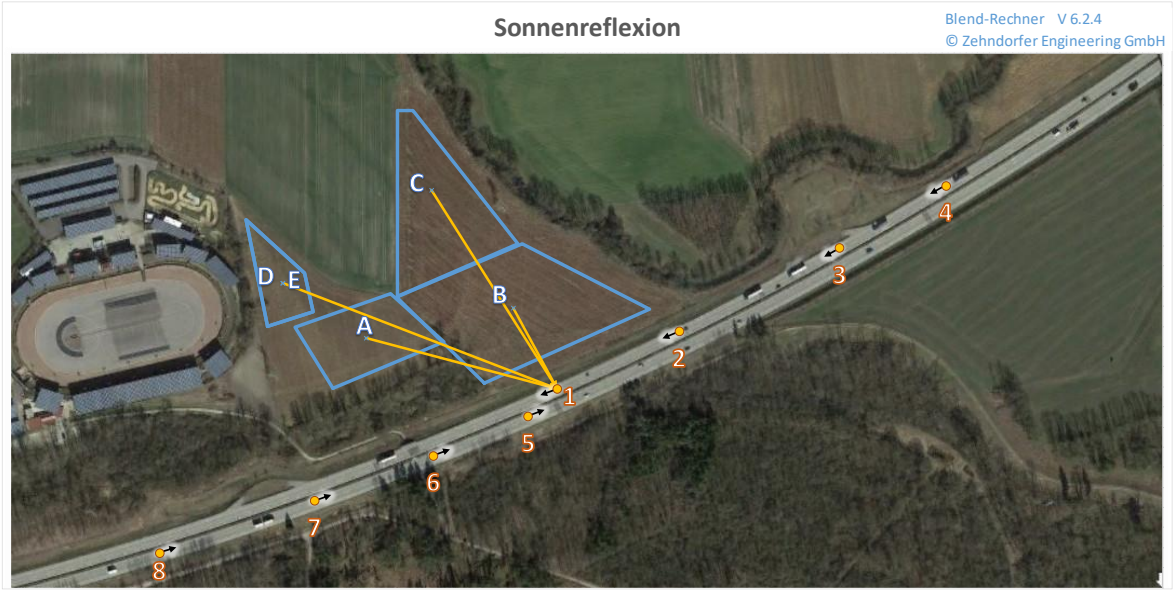
Reflektor		ABCE	ABCE	ABCE	ABC	ABC	ABC	ABC
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7
Distanz	m	32	33	174	281	44	80	105
Höhenwinkel	°	0	0	0	0	0	0	0
Raumwinkel	msr	102	30	0	0	57	27	6
Datum H1		23.3.-21.6.	14.3.-21.6.	20.3.-21.6.	23.3.-28.4.	10.4.-21.6.	-	-
Datum H2		21.6.-19.9.	21.6.-28.9.	21.6.-22.9.	14.8.-19.9.	21.6.-1.9.	-	-
Zeit		17:55-19:15	17:30-18:49	17:01-18:41	17:57-18:31	18:00-18:42	-	-
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
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	10	10	9	6	11	-	-
Sonnen Azimut (Mittel)	°	103	98	95	95	102	-	-
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	28	29	22	15	25	-	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	26	25	26	33	131	-	-

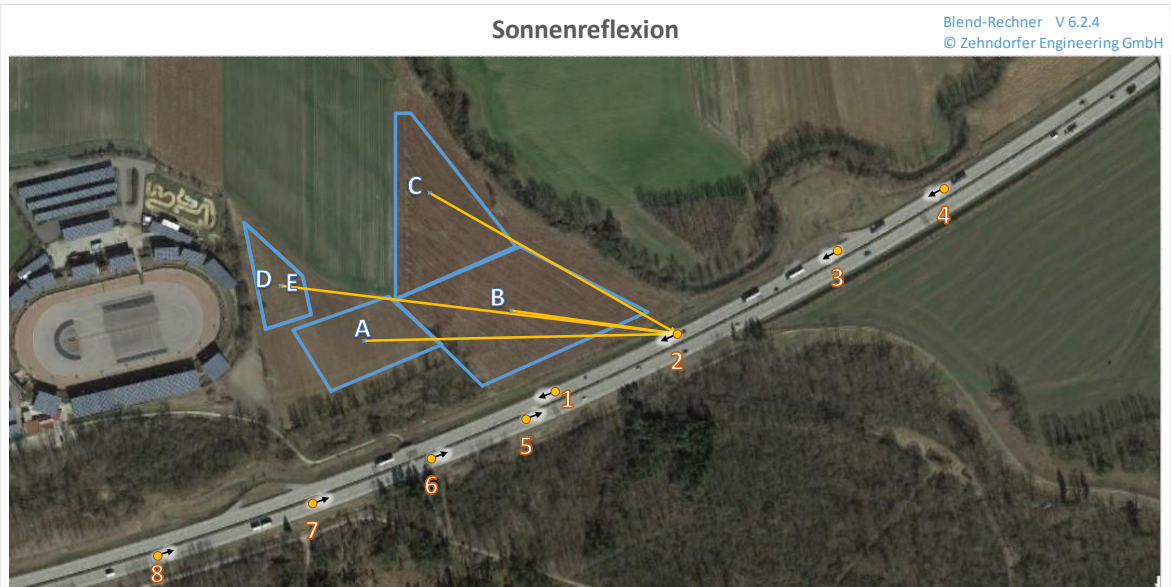
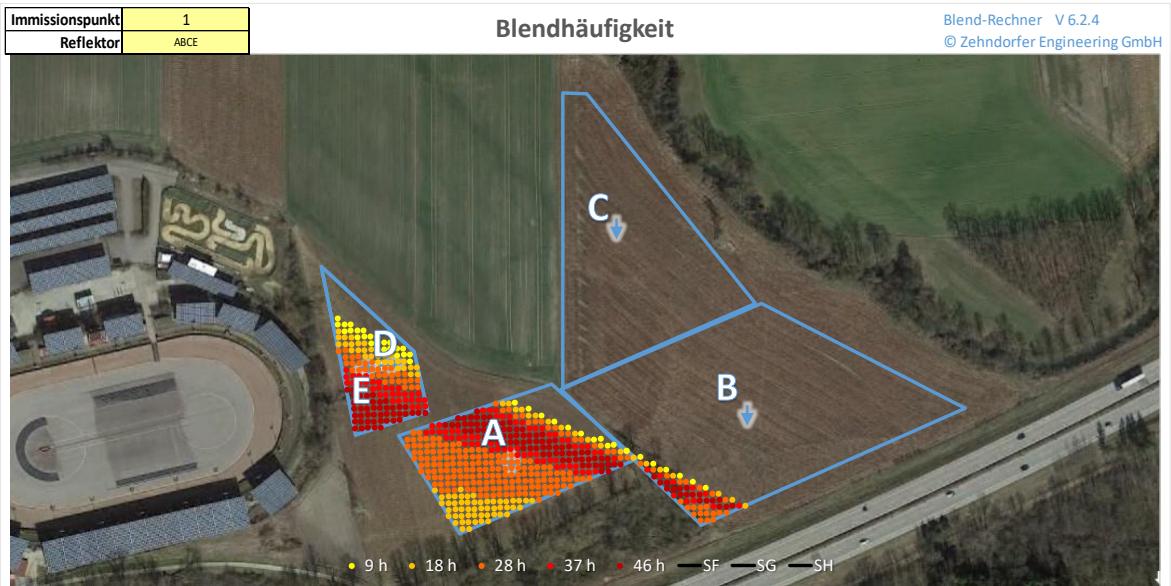
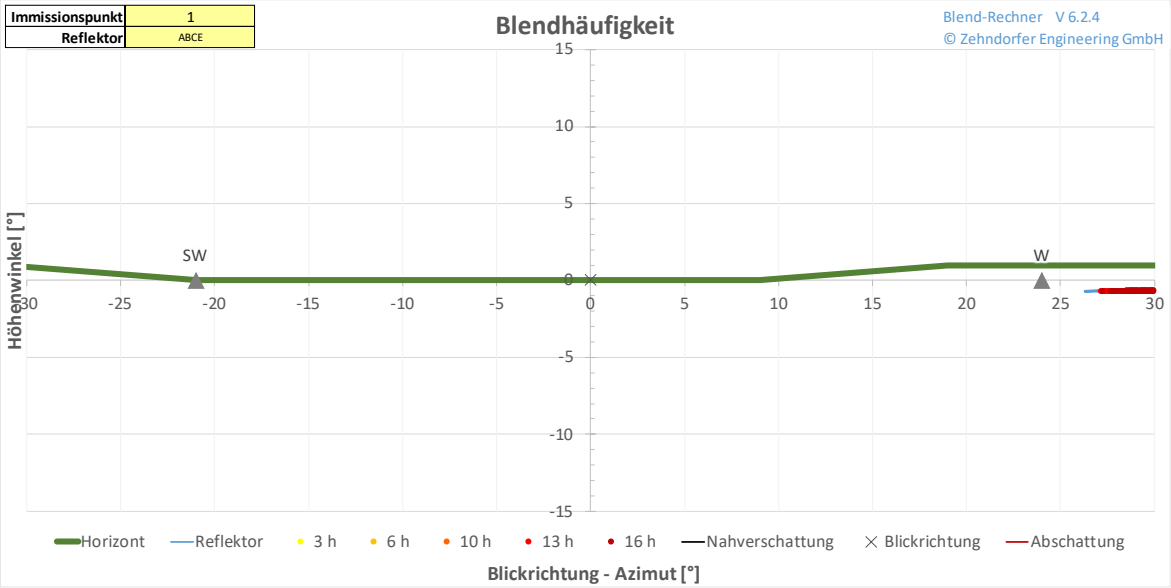
Reflektor		ABCD
Immissionspunkt		8
Distanz	m	214
Höhenwinkel	°	0
Raumwinkel	msr	0
Datum H1		28.5.-21.6.
Datum H2		21.6.-15.7.
Zeit		5:44-6:11
Kernblendung	min / Tag	0
Kernblendung	h / Jahr	0
Streulicht	min / Tag	30
Streulicht	h / Jahr	21
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	15
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-108
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	21
Blendung - Blickwinkel (min)	°	7

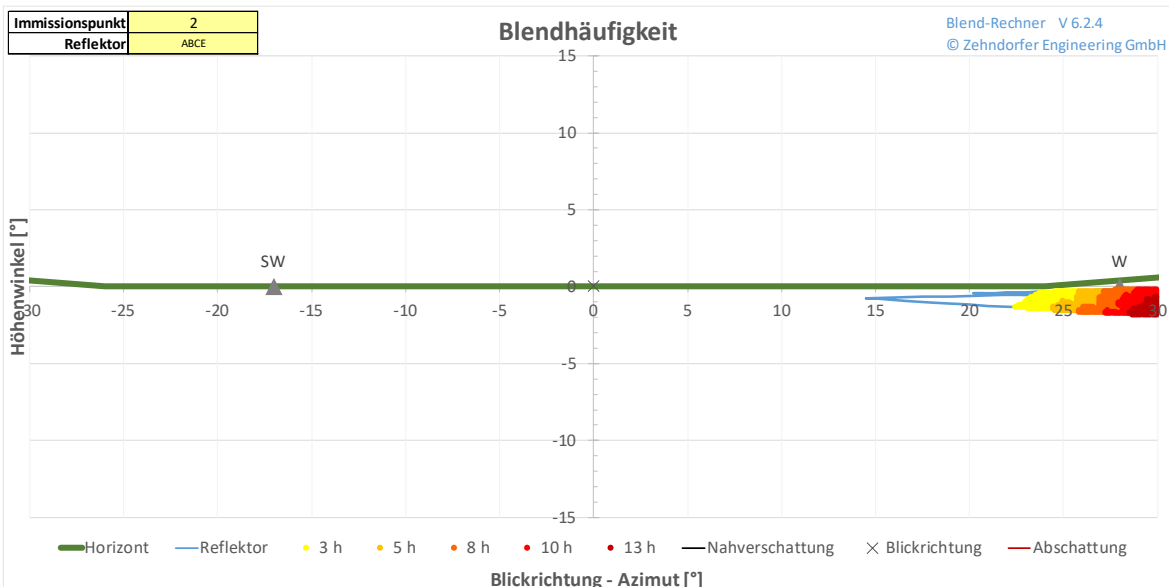
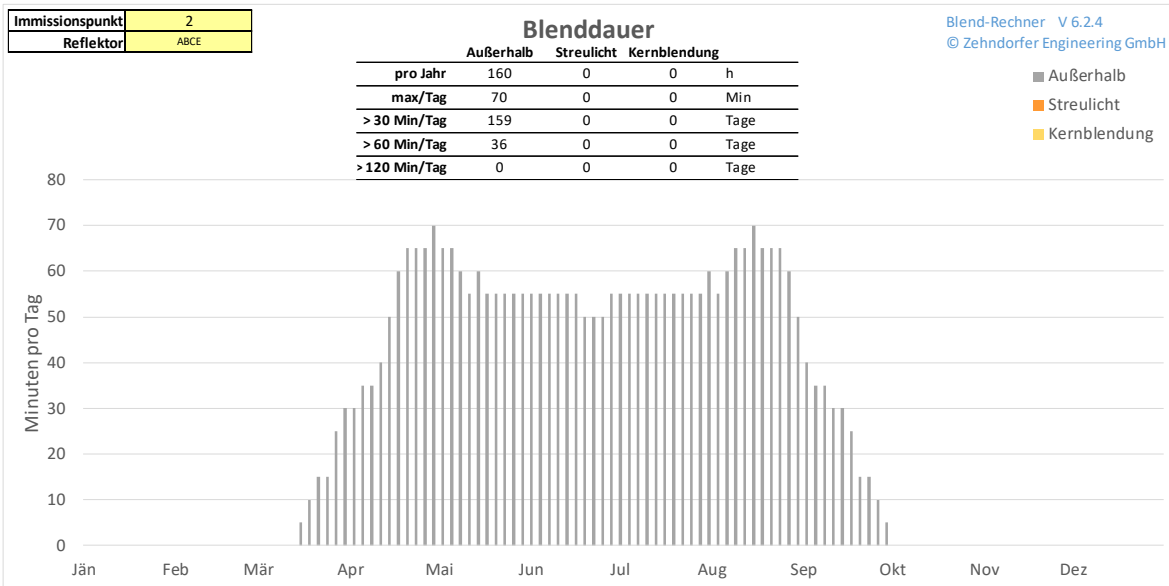
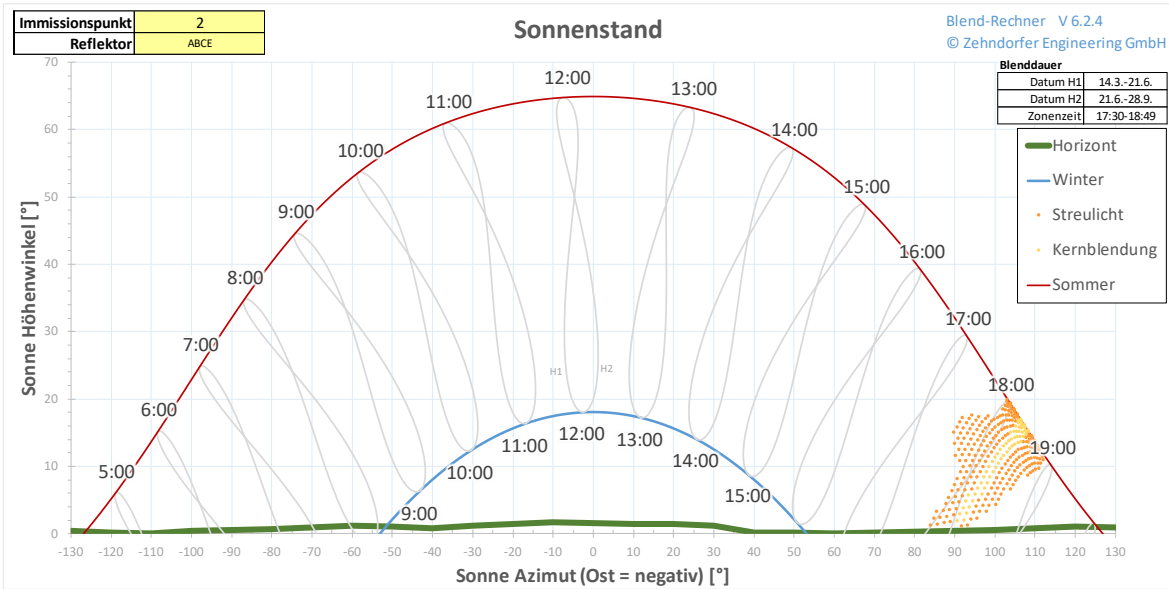
Reflektor		ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
Immissionspunkt		9	10	11	12	13	14	15
Distanz	m	549	473	198	365	805	1.224	1.667
Höhenwinkel	°	-1	0	-4	-5	-4	-4	-4
Raumwinkel	msr	1	1	16	12	4	1	1
Datum H1		17.3.-1.4.	23.3.-22.4.	-	-	-	-	-
Datum H2		10.9.-25.9.	20.8.-19.9.	-	-	-	-	-
Zeit		6:08-6:30	5:55-6:24	-	-	-	-	-
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
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	3	6	-	-	-	-	-
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-89	-94	-	-	-	-	-
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	9	13	-	-	-	-	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	10	156	-	-	-	-	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	447	2.992	0	0	0	0	0
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	0	0	0	0	0	0	0
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	0	3	0	0	0	0	0

Reflektor		ABC	ABC	ABC
Immissionspunkt		16	17	18
Distanz	m	2.119	2.575	3.033
Höhenwinkel	°	-4	-3	-3
Raumwinkel	msr	0	0	0
Datum H1		-	-	-
Datum H2		-	-	-
Zeit		-	-	-
Kernblendung	min / Tag	0	0	0
Kernblendung	h / Jahr	0	0	0
Streulicht	min / Tag	0	0	0
Streulicht	h / Jahr	0	0	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	-	-	-
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-	-	-
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	-	-	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-	-	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	0	0	0
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	0	0	0
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	0	0	0

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



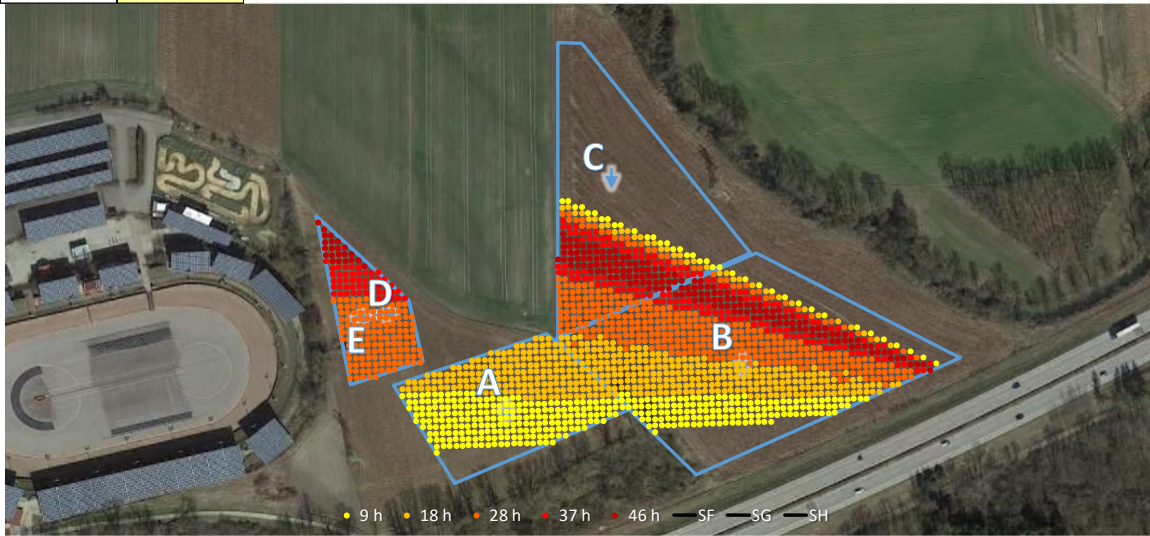




Immissionspunkt	2
Reflektor	ABCE

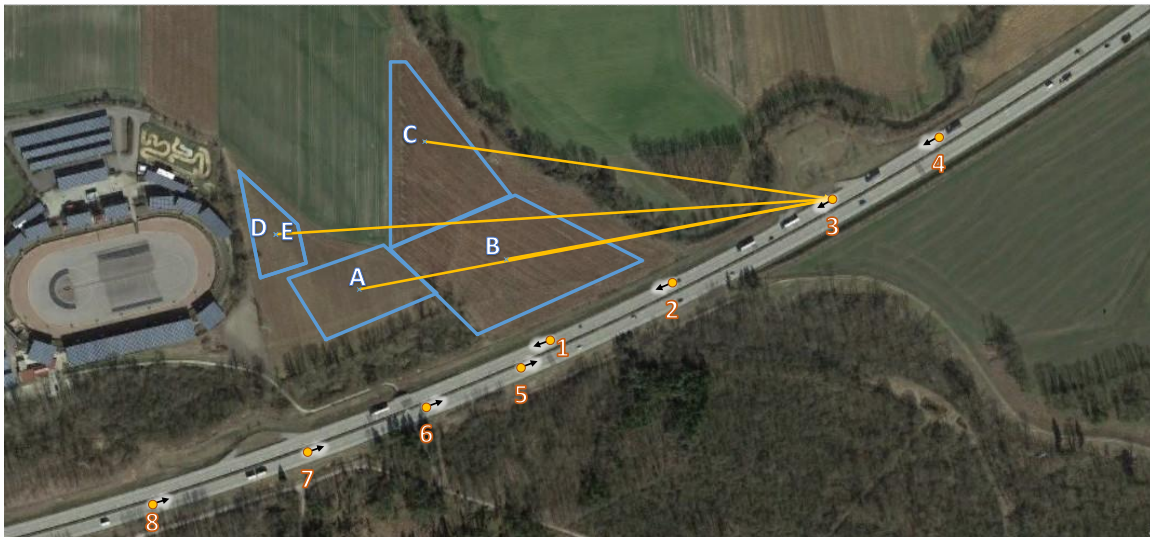
Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

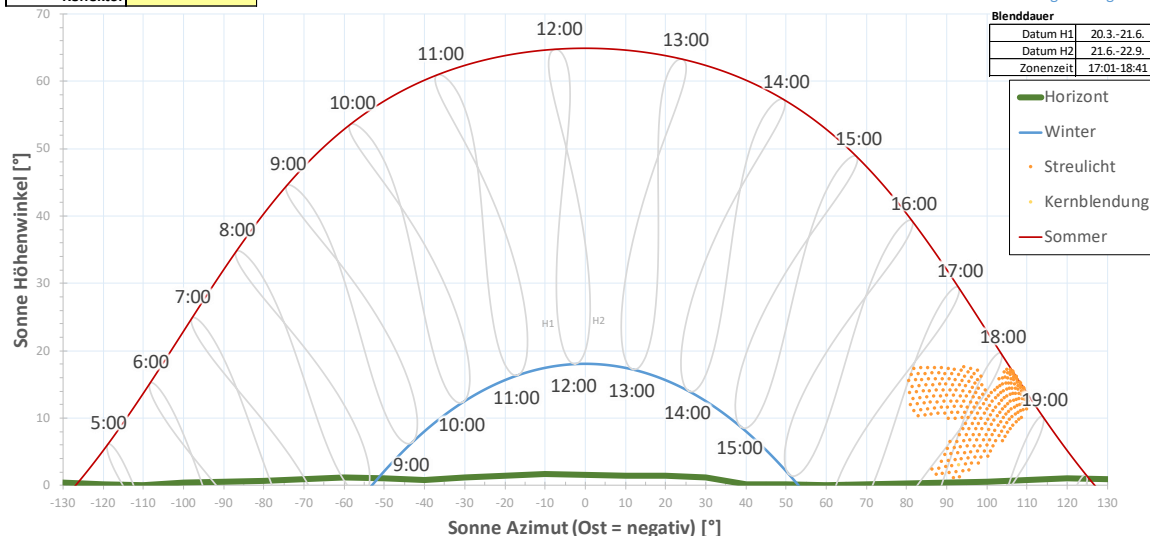
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	3
Reflektor	ABCE

Sonnenstand

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



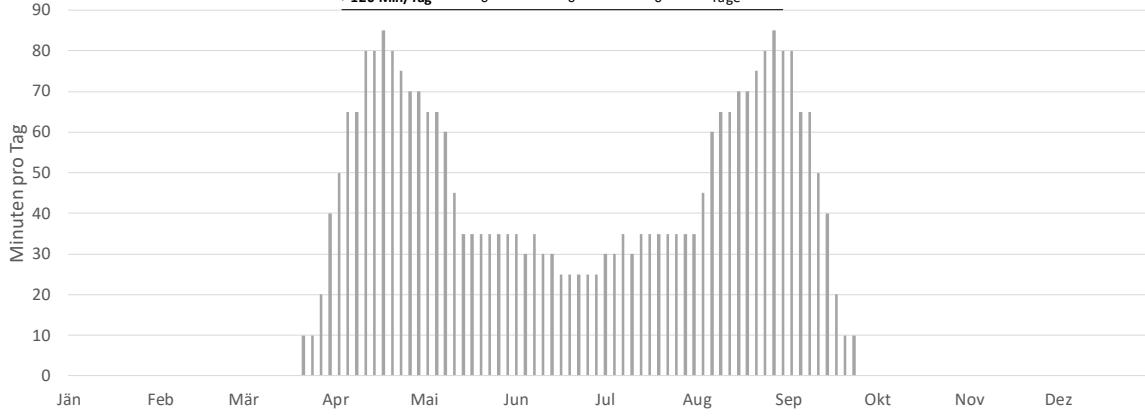
Immissionspunkt	3
Reflektor	ABCE

Blenddauer

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	147	0	0	h
max/Tag	85	0	0	Min
> 30 Min/Tag	138	0	0	Tage
> 60 Min/Tag	66	0	0	Tage
> 120 Min/Tag	0	0	0	Tage

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

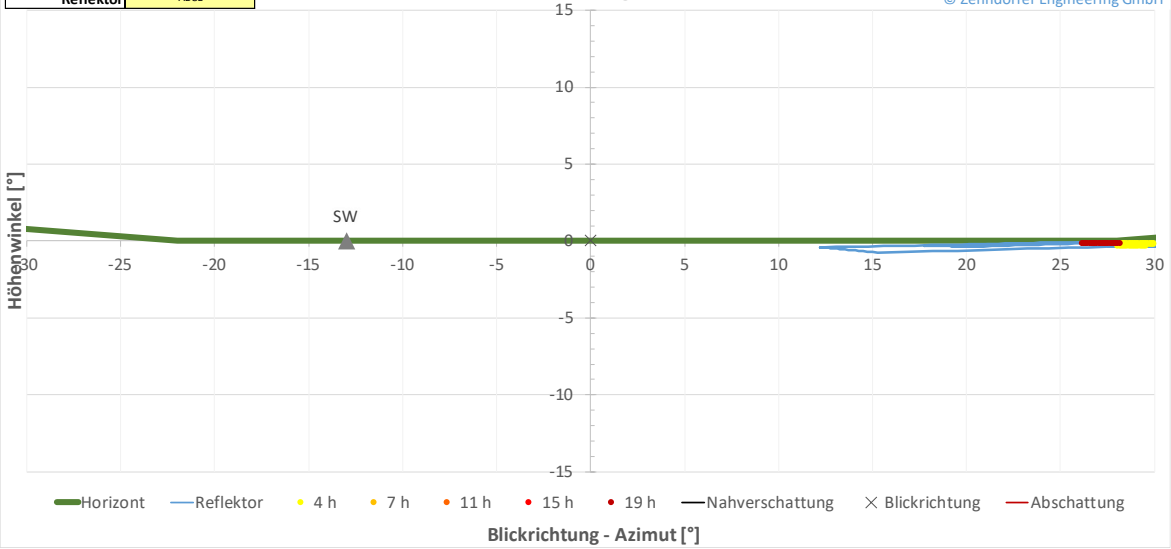
- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



Immissionspunkt	3
Reflektor	ABCE

Blendhäufigkeit

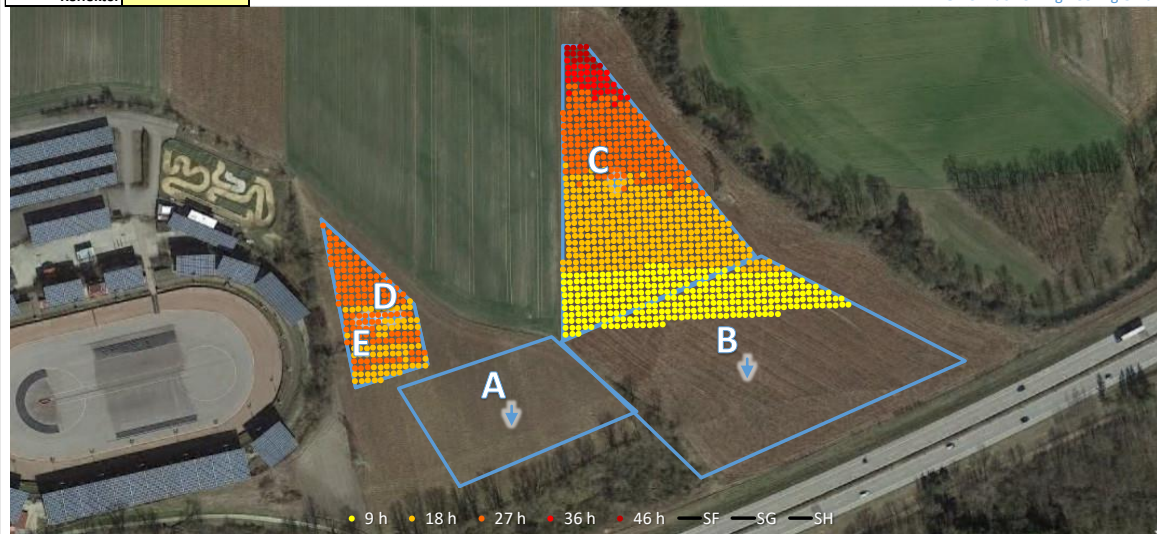
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

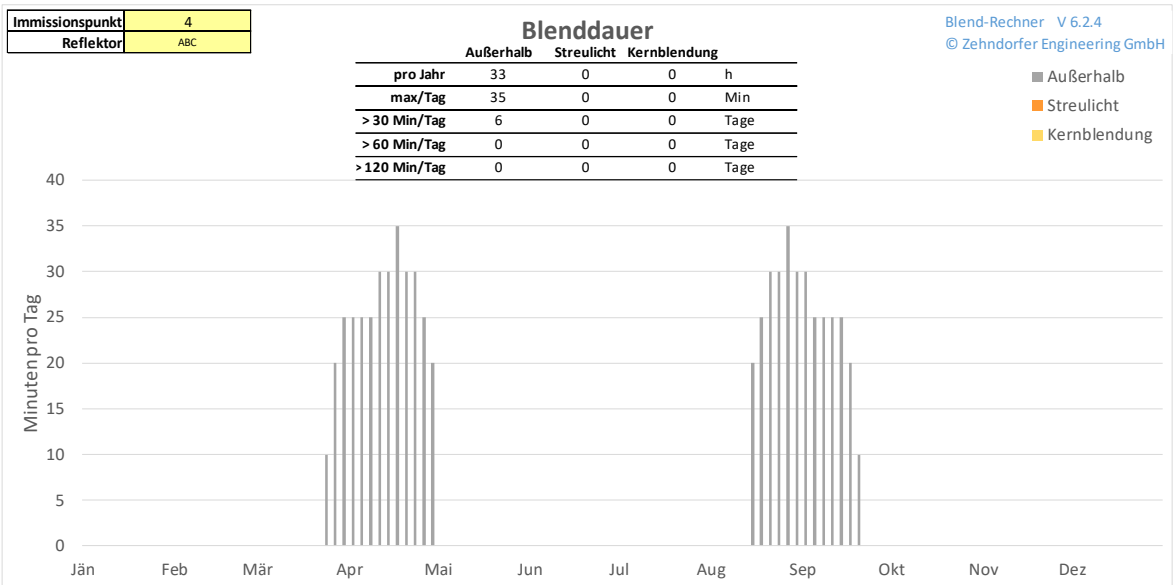
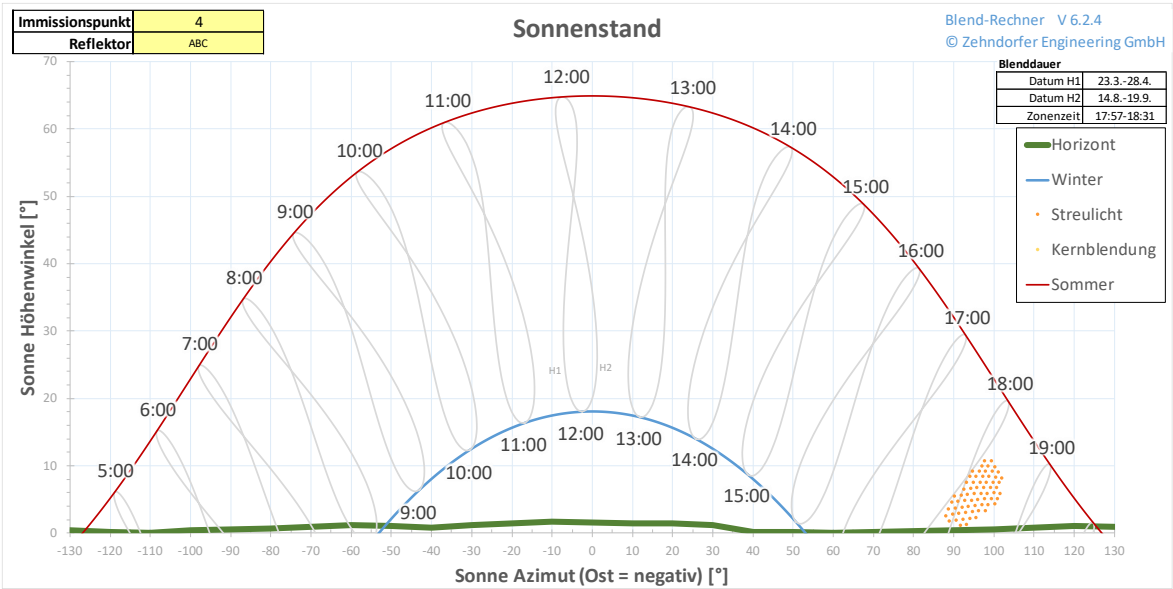
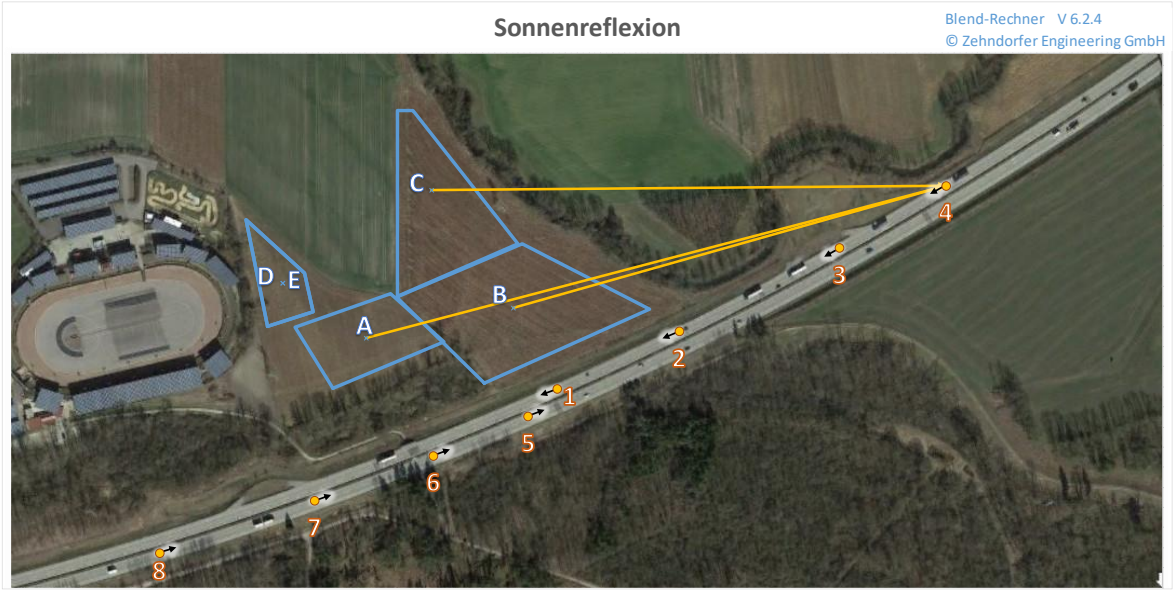


Immissionspunkt	3
Reflektor	ABCE

Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

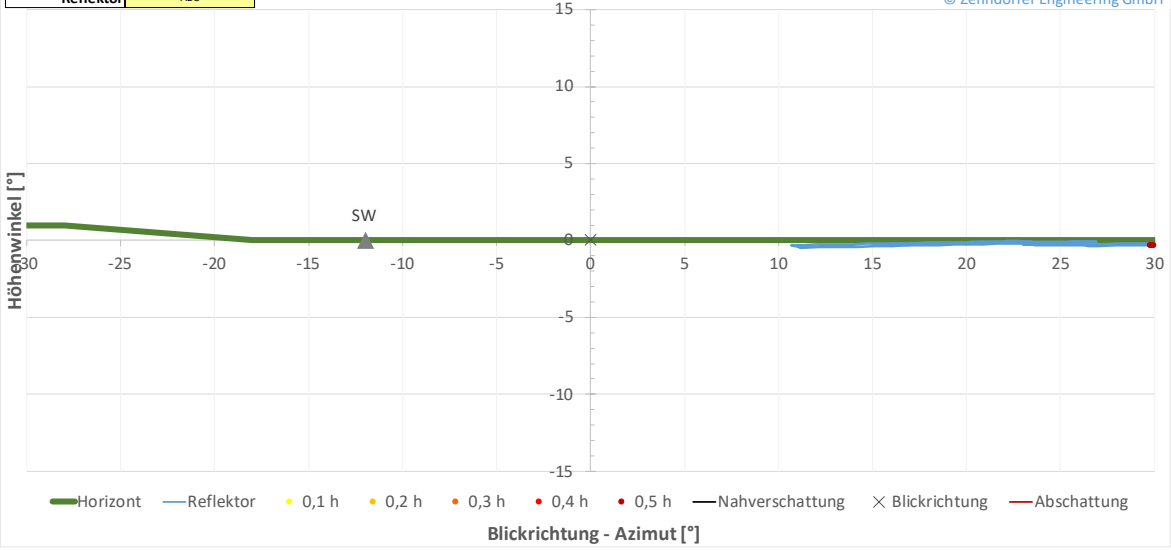




Immissionspunkt	4
Reflektor	ABC

Blendhäufigkeit

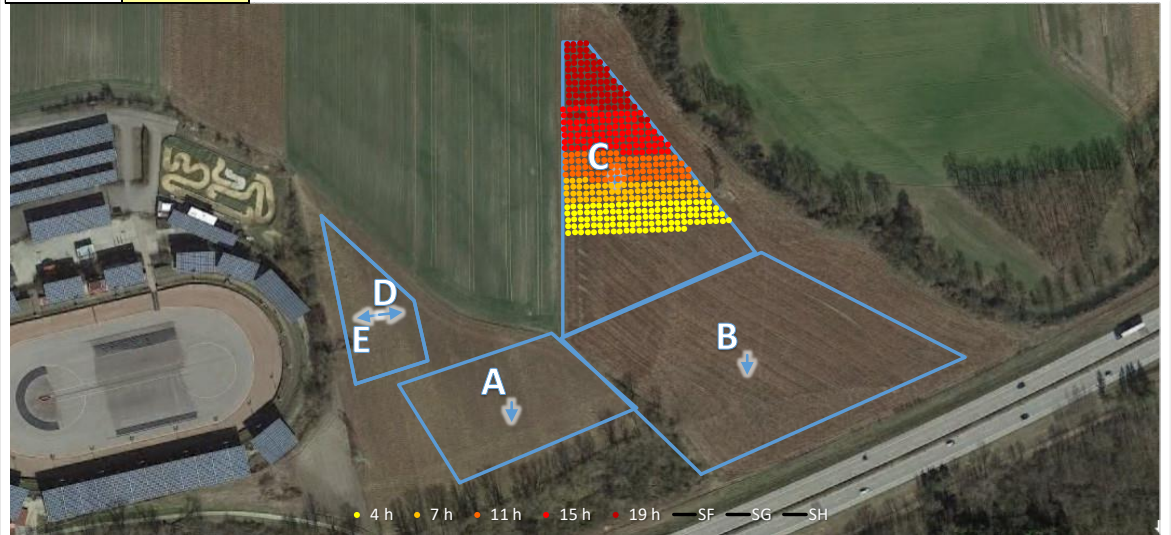
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	4
Reflektor	ABC

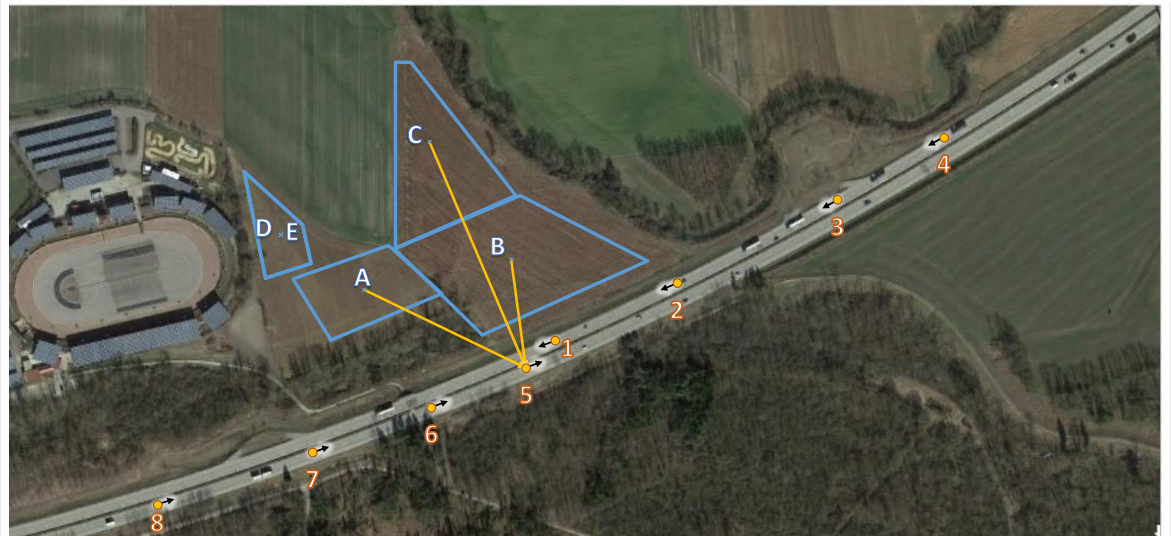
Blendhäufigkeit

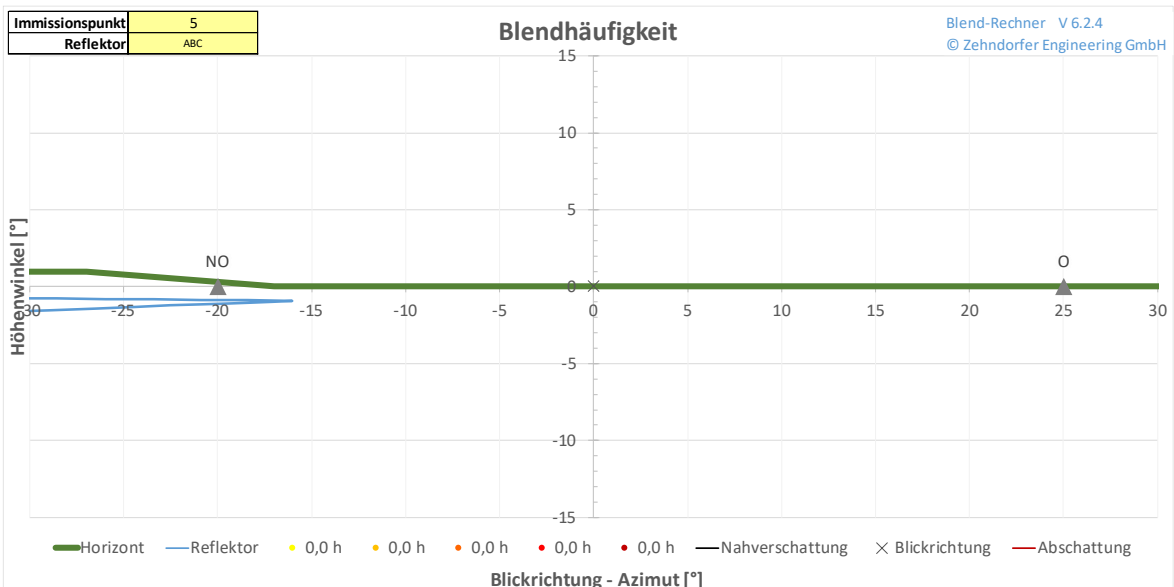
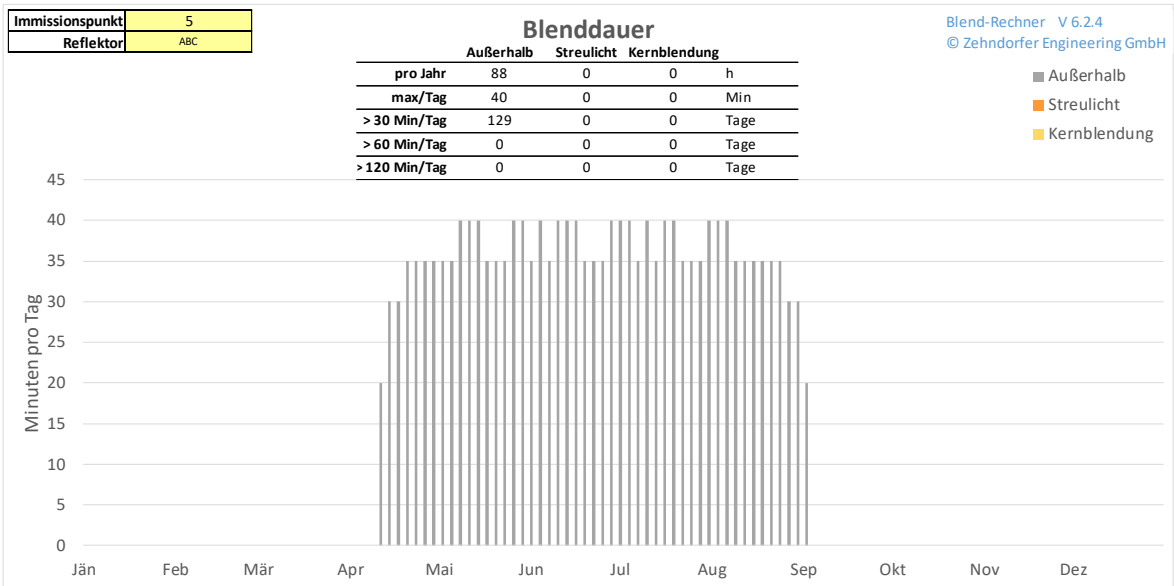
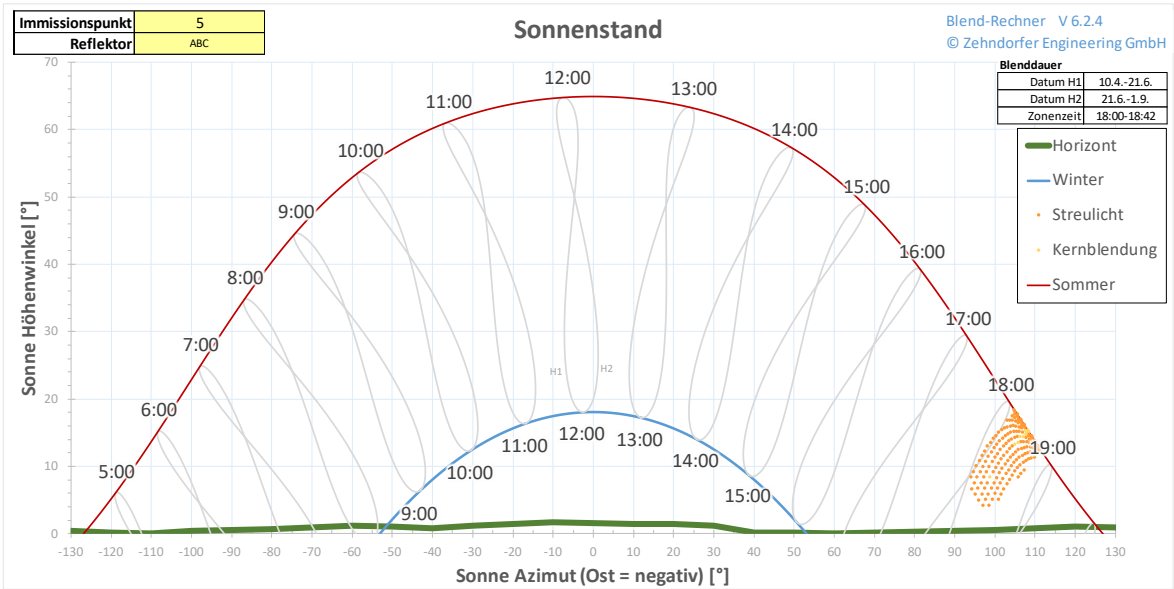
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

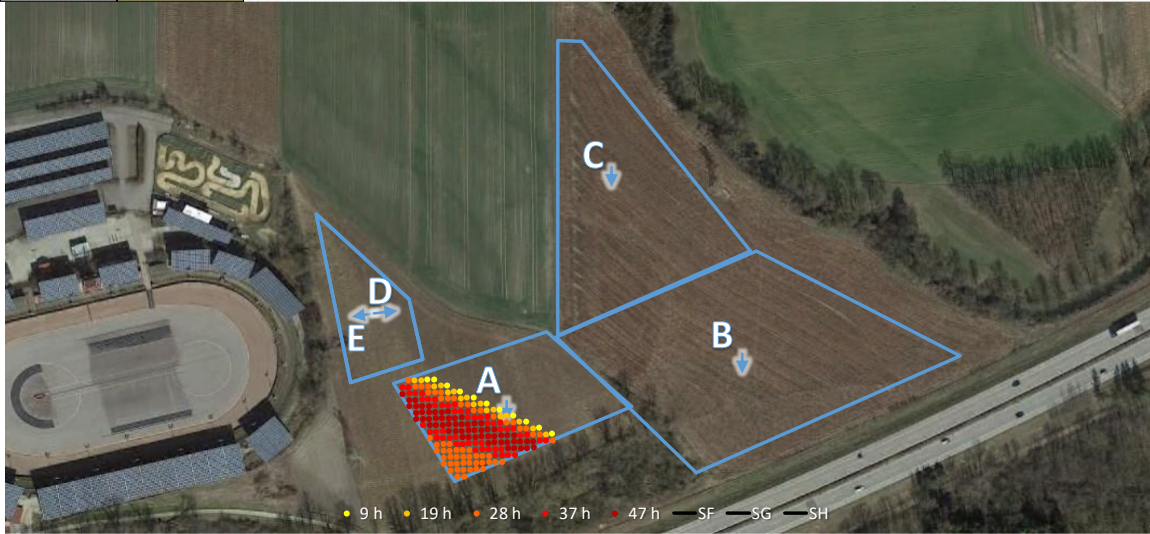




Immissionspunkt	5
Reflektor	ABC

Blendhäufigkeit

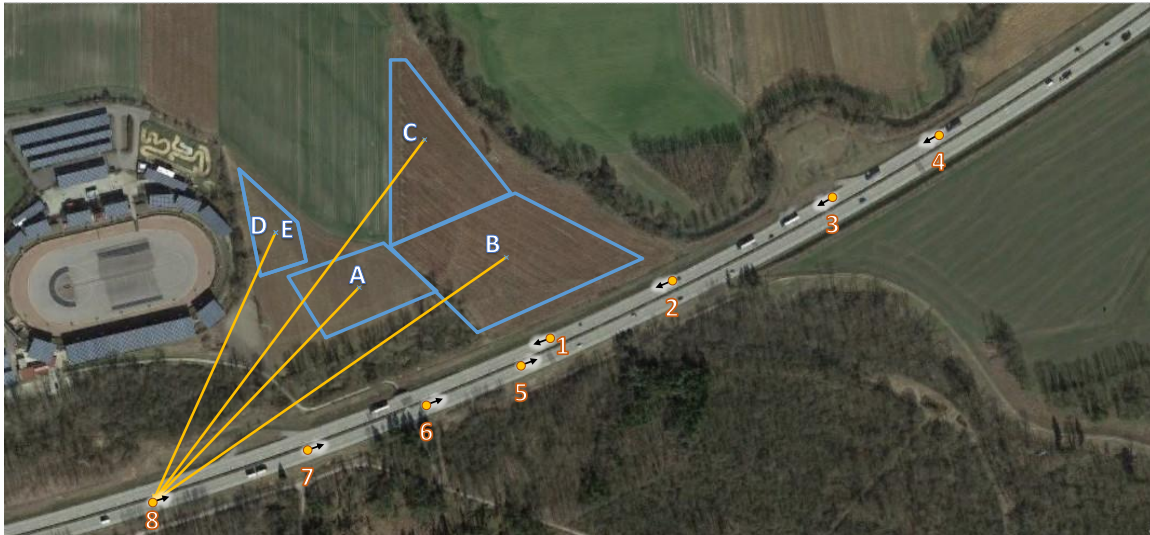
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	8
Reflektor	ABCD

Sonnenreflexion

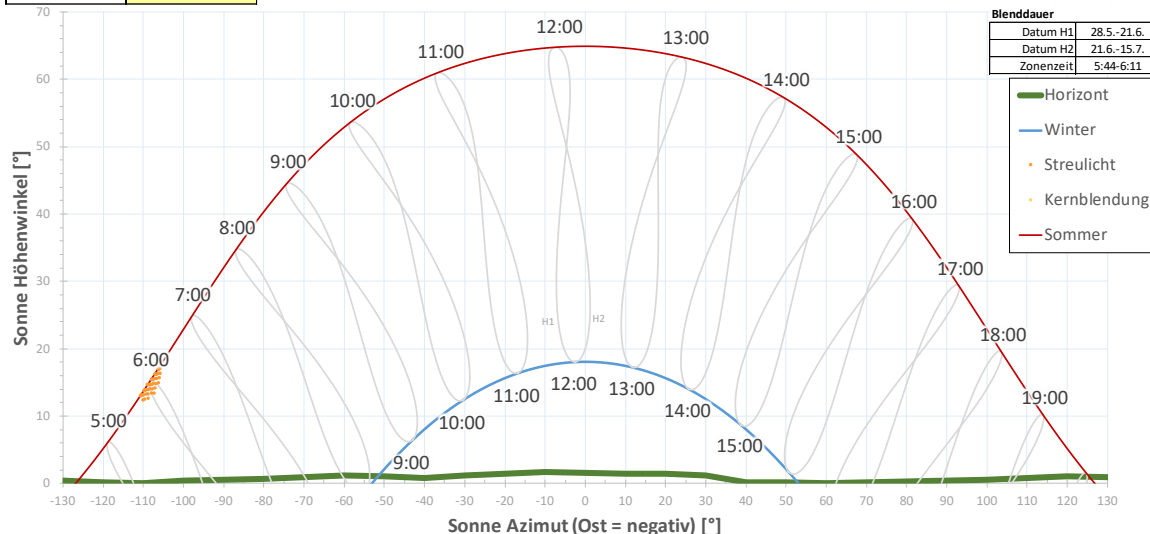
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	8
Reflektor	ABCD

Sonnenstand

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



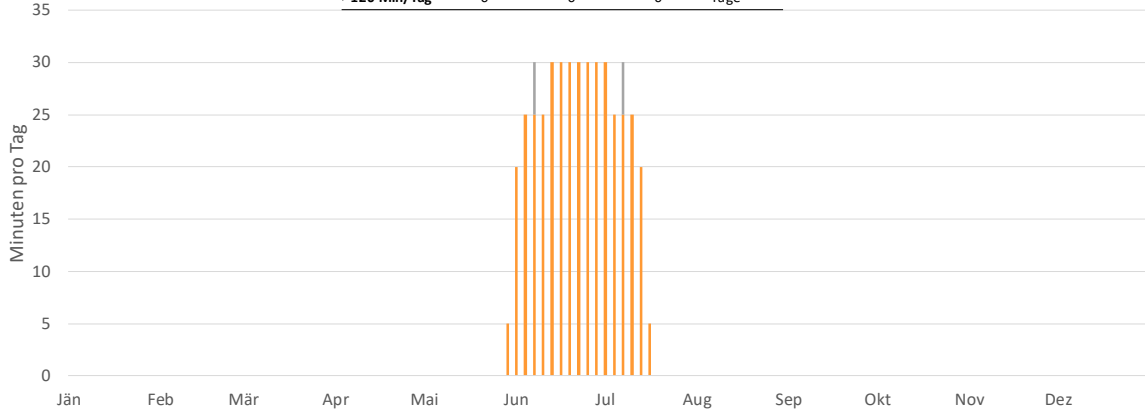
Immissionspunkt	8
Reflektor	ABCD

Blenddauer

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	1	21	0	h
max/Tag	5	30	0	Min
> 30 Min/Tag	0	0	0	Tage
> 60 Min/Tag	0	0	0	Tage
> 120 Min/Tag	0	0	0	Tage

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

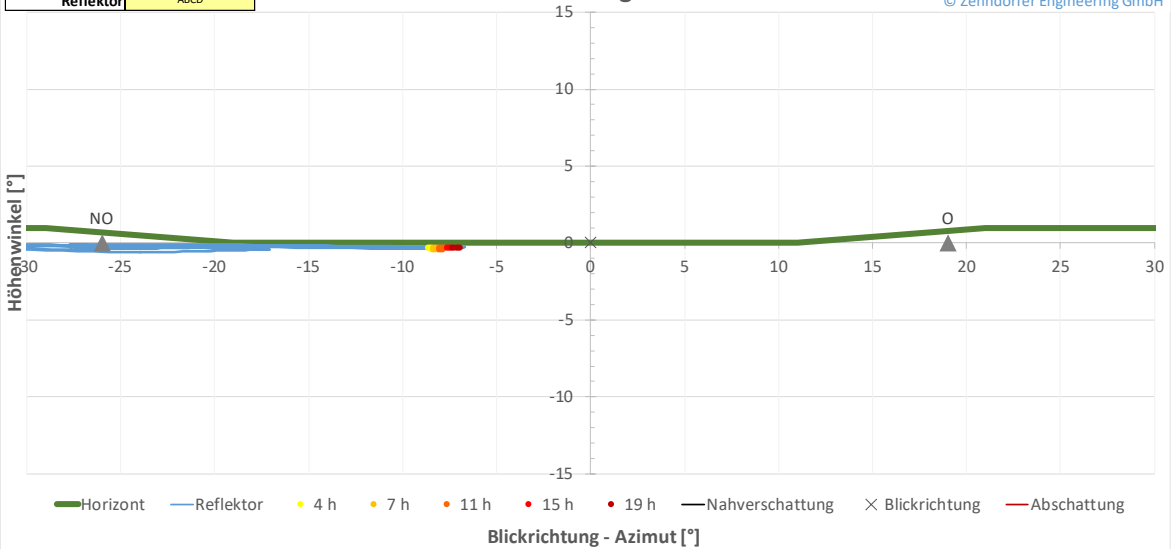
- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



Immissionspunkt	8
Reflektor	ABCD

Blendhäufigkeit

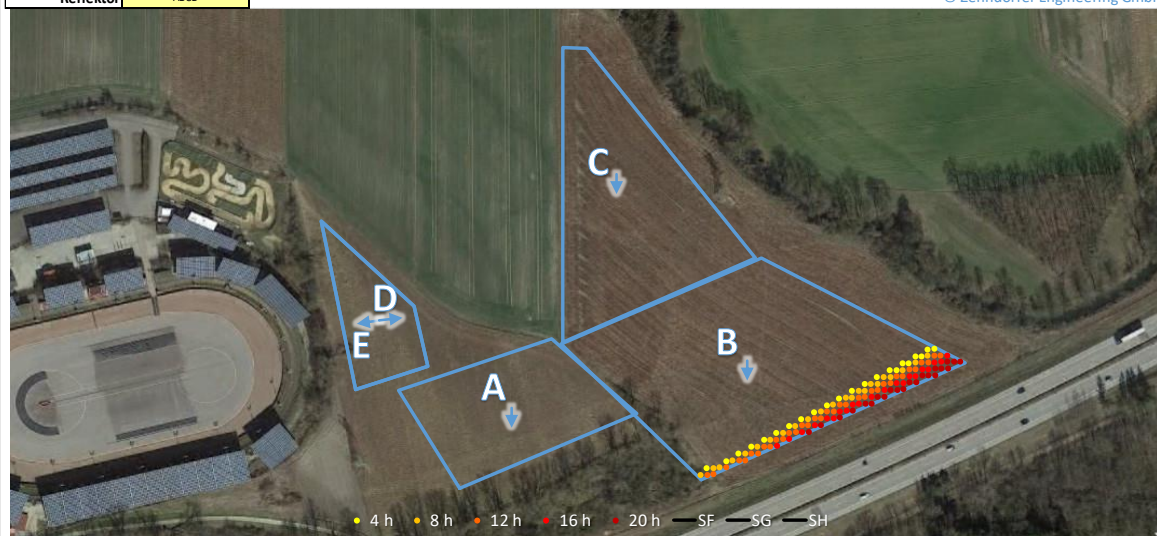
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

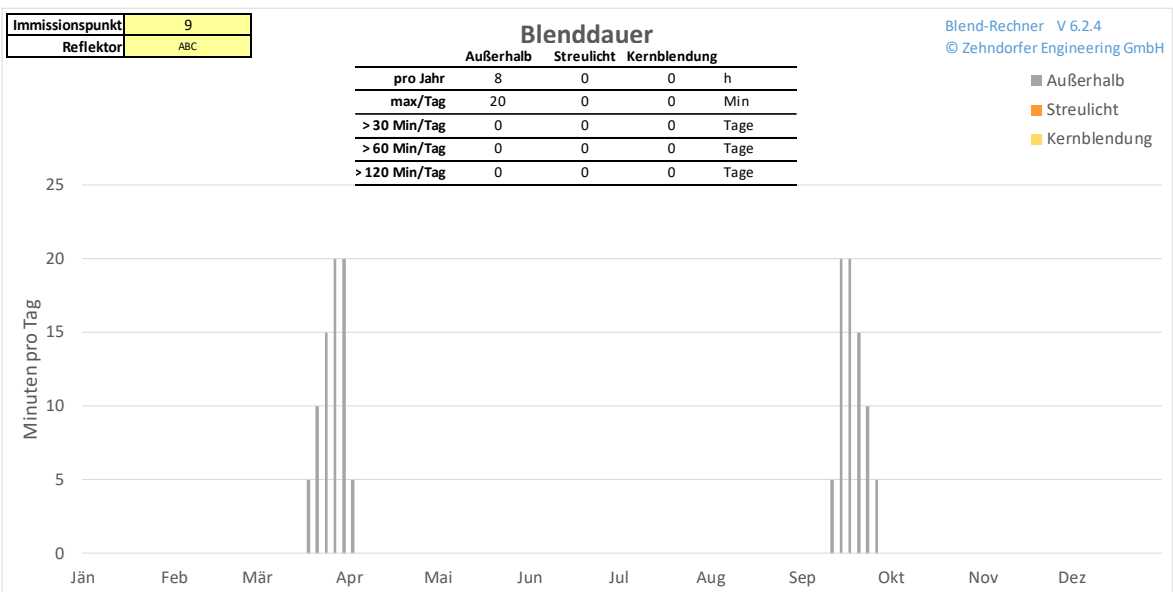
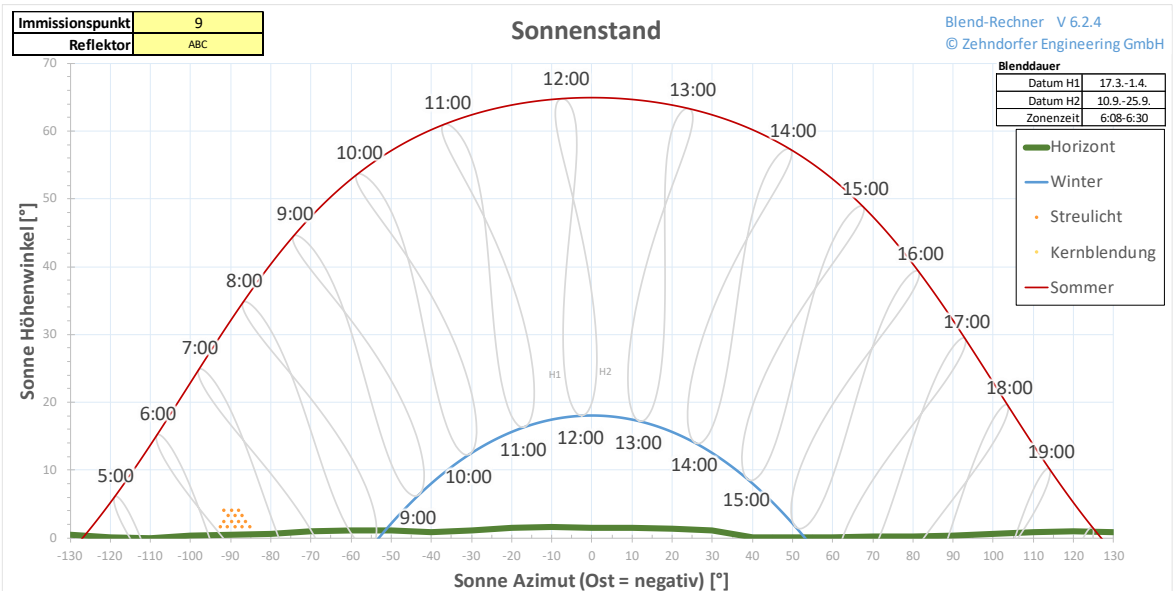


Immissionspunkt	8
Reflektor	ABCD

Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

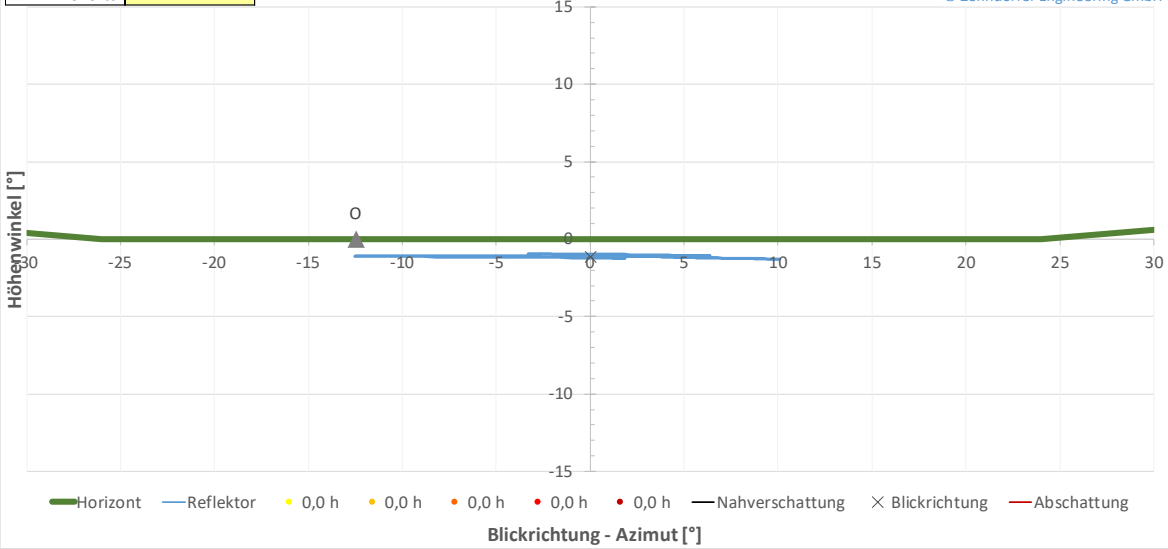




Immissionspunkt	9
Reflektor	ABC

Blendhäufigkeit

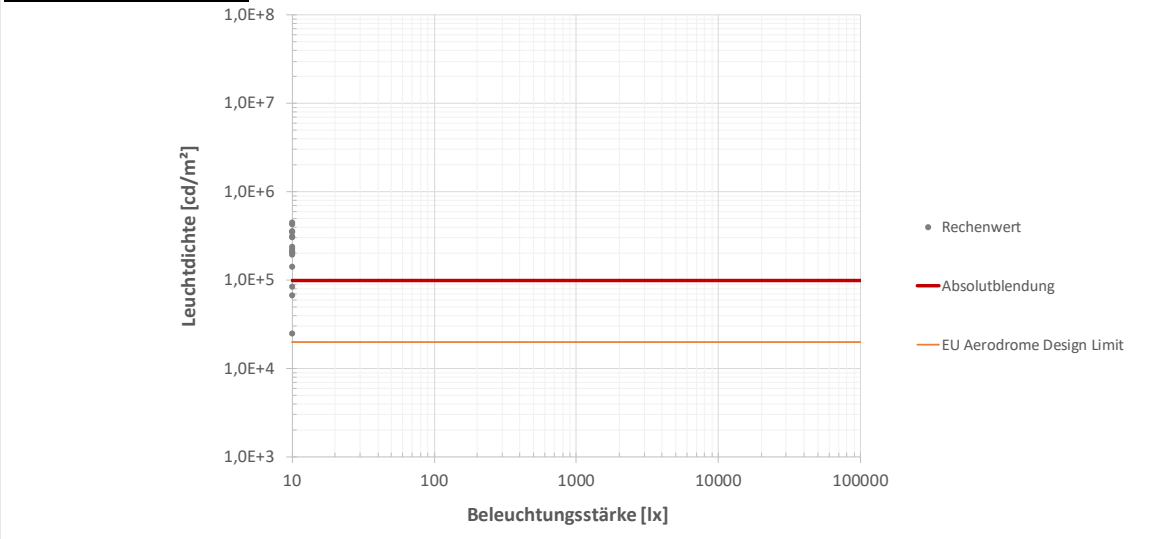
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	9
Reflektor	ABC

Reflexions Photometrie

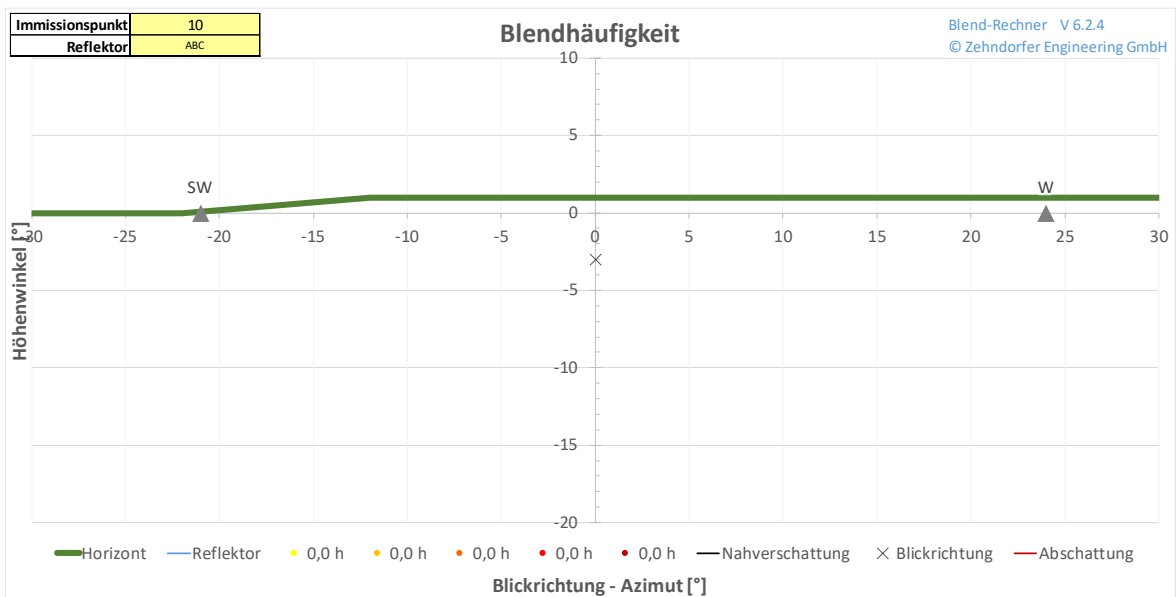
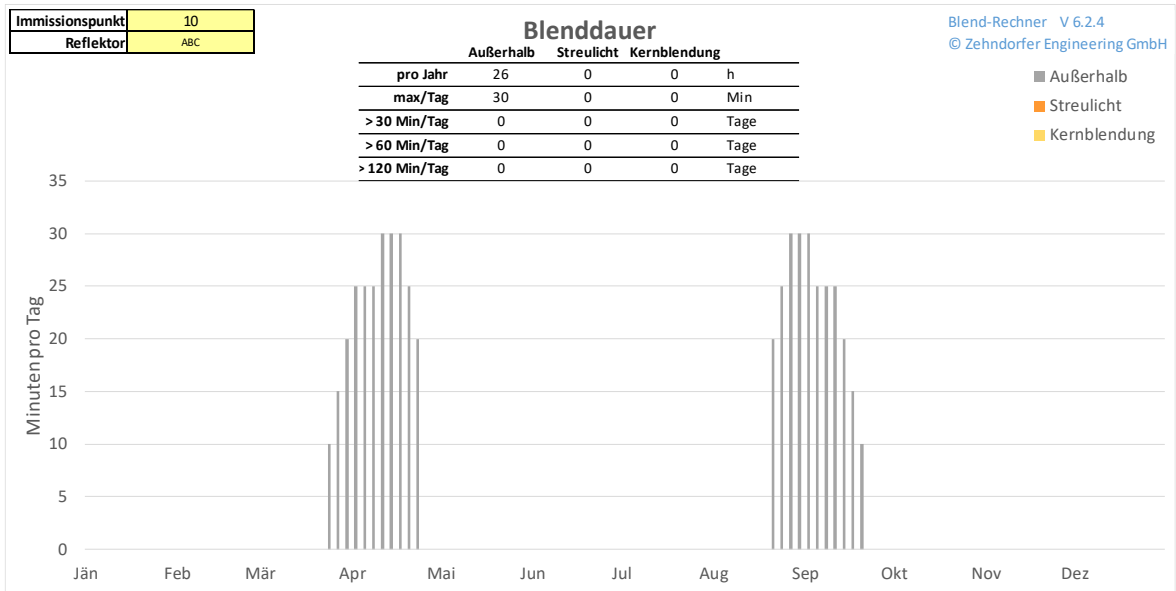
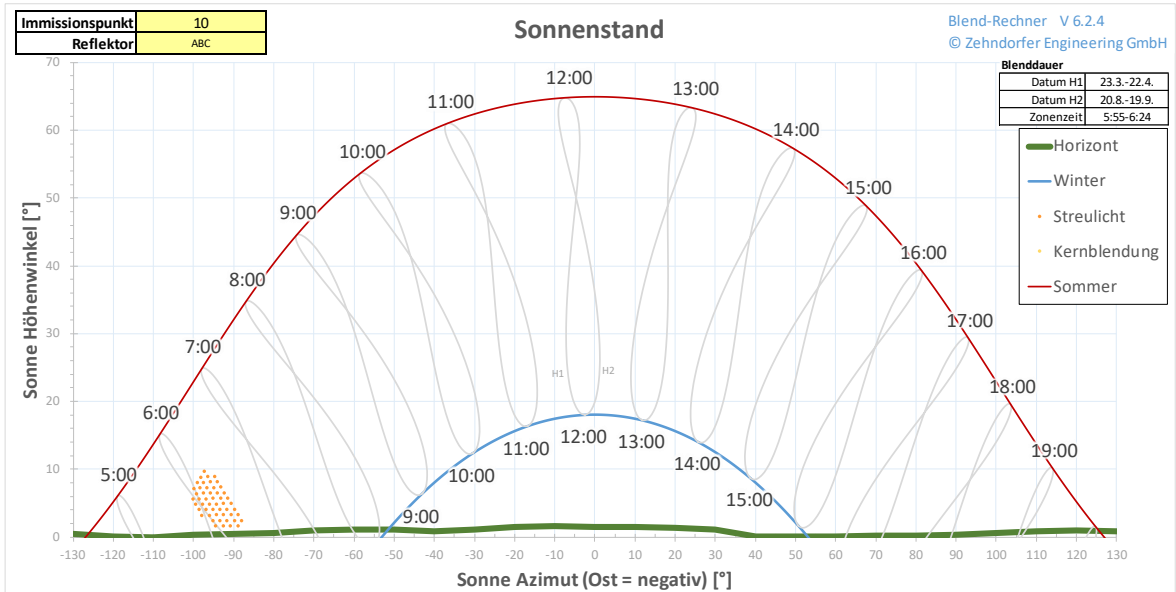
Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH

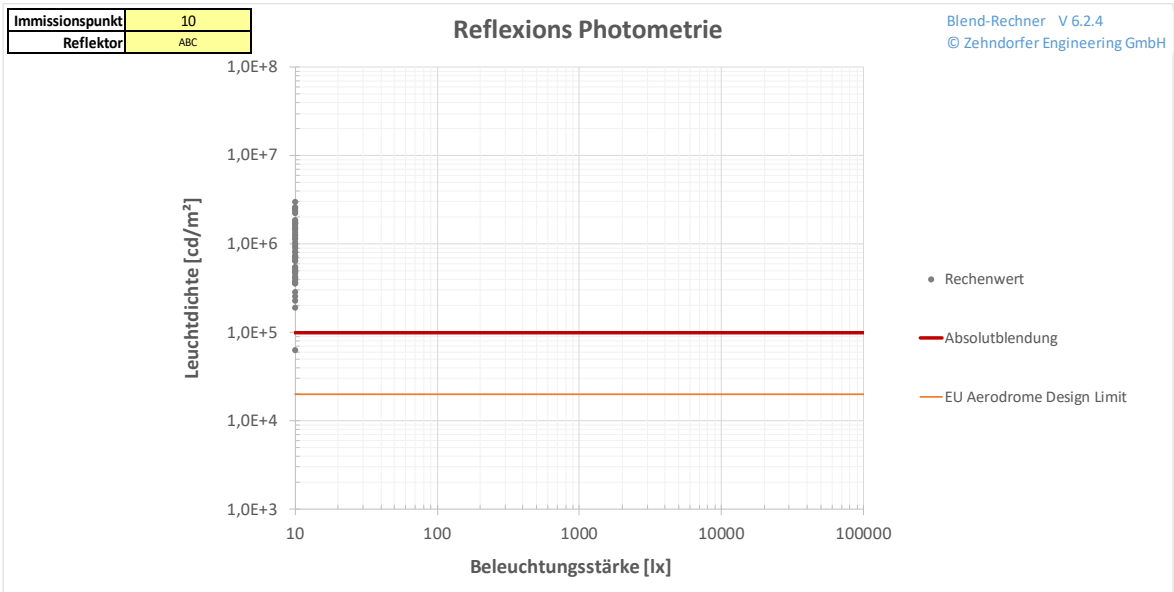


Sonnenreflexion

Blend-Rechner V 6.2.4
© Zehndorfer Engineering GmbH







Allgemeine Hintergründe, gesetzliche Regelungen und Fallbeispiele zum Thema Blendung finden Sie auf www.zehndorfer.at

