

Analyse der Blendwirkung der Photovoltaikanlage Burgrieden

Im Auftrag von

RenExpert GmbH
z.H. Herbert Hellmann
Zur Schönhalde 10
D-89352 Ellzee

**Gutachten ZE21155-RE
Dezember 2021**



INHALT

1	Situationsbeschreibung.....	4
1.1	PROBLEMBESCHREIBUNG	4
1.2	ORTSBEZEICHNUNG UND LAGE DER PV-ANLAGE	4
1.3	UNTERSUCHTER RAUM	6
1.4	ABSCHATTUNGEN & VERDECKUNGEN	8
1.4.1	<i>Geländeprofil</i>	8
1.4.2	<i>Horizont</i>	8
1.4.3	<i>Bewuchs</i>	8
1.4.4	<i>Künstliche Abschattungen</i>	8
2	Blendberechnung.....	8
2.1	BEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG.....	8
2.2	REFLEXIONSBERECHNUNG	9
2.3	ERKLÄRUNG DER ERGEBNISSE	11
2.4	SICHTBEZUG.....	12
2.5	BLENDWIRKUNG	12
2.5.1	<i>Größenverhältnisse</i>	13
2.5.2	<i>Blendstärke</i>	13
2.5.3	<i>Richtung der Blendung</i>	14
2.5.4	<i>Blenddauer</i>	14
2.5.5	<i>Flugverkehr</i>	15
3	Beurteilung & Empfehlungen.....	15
3.1	NAHE IMMISSIONSPUNKTE	15
3.2	FERNE IMMISSIONSPUNKTE	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
	ANHANG 5.1 NAHE IMMISSIONSPUNKTE.....	23
	ANHANG 5.2 FERNE IMMISSIONSPUNKTE	32

Zusammenfassung

Im Bauverfahren eines Solarparks nahe des Flugplatzes Laupheim ist zu prüfen, ob eine Gefährdung durch Blendwirkung für den Flugverkehr besteht.

Es wird keine gefährliche Blendwirkung in Richtung des Flugverkehrs stattfinden. Der Tower wird keiner erheblichen Blendwirkung ausgesetzt.

Die Nachbarschaft wird keiner erheblichen Blendwirkung ausgesetzt.

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	1.12.2021	ursprüngliche Fassung

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

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.

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. Die Fluglotsen am Flughafen-Tower müssen in der Lage sein, Objekte auf der Piste, den Rollwegen und den Anflugzonen zu erkennen.

Ziel dieses Gutachtens ist die Prüfung, ob die geplanten PV-Anlage, eine Blendwirkung in Richtung des nahegelegenen Flugplatzes, oder in Richtung des Flugverkehrs verursachen wird, bzw. ob Anrainer von der Anlage geblendet werden könnten.

1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Photovoltaik-Dachanlage befindet sich im Landkreis Biberach, in der Gemeinde 88483 Burgrieden, Flurstücke 111/1, 110/1, 109/1 (GPS-Koordinaten 48°13'11"N, 9°55'10"O).

Abbildung 1 Situation

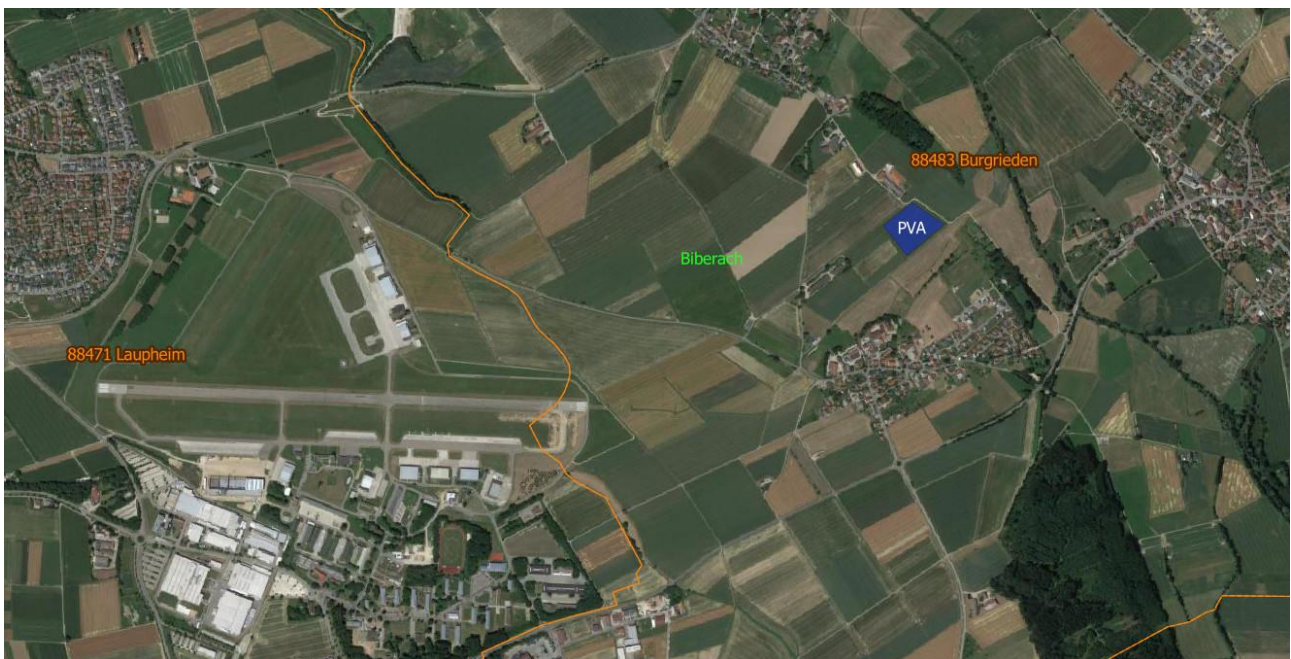
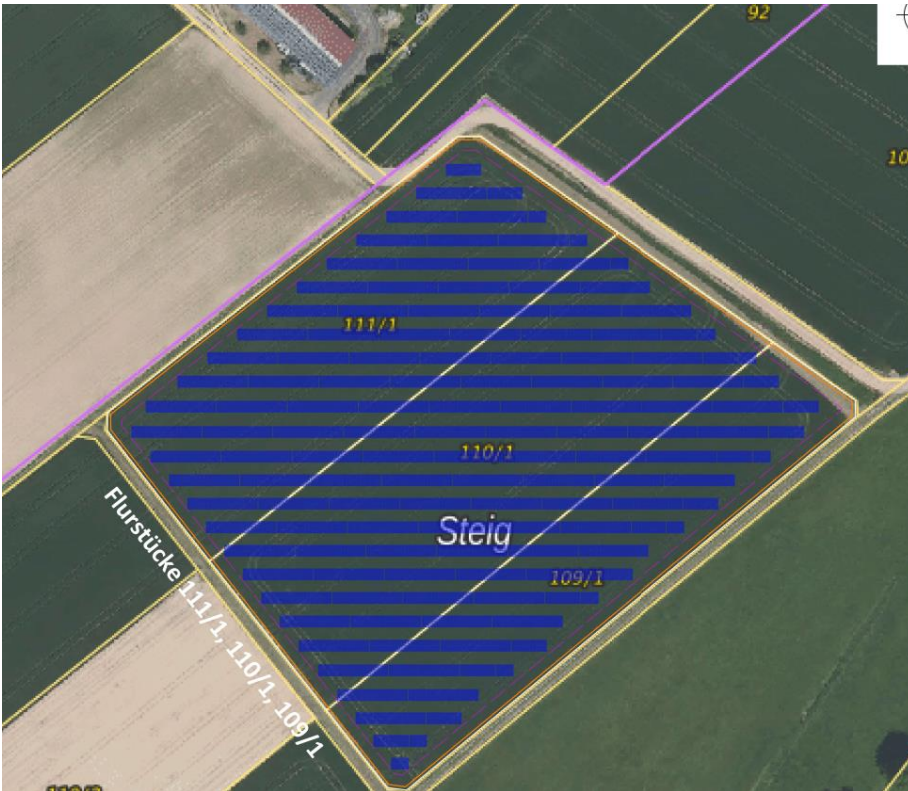


Abbildung 2 Modulbelegungsplan



Die reflektierenden Flächen werden für die Berechnung als ein Viereck modelliert.

Abbildung 3 Ausrichtung der Anlage



Abbildung 4 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)

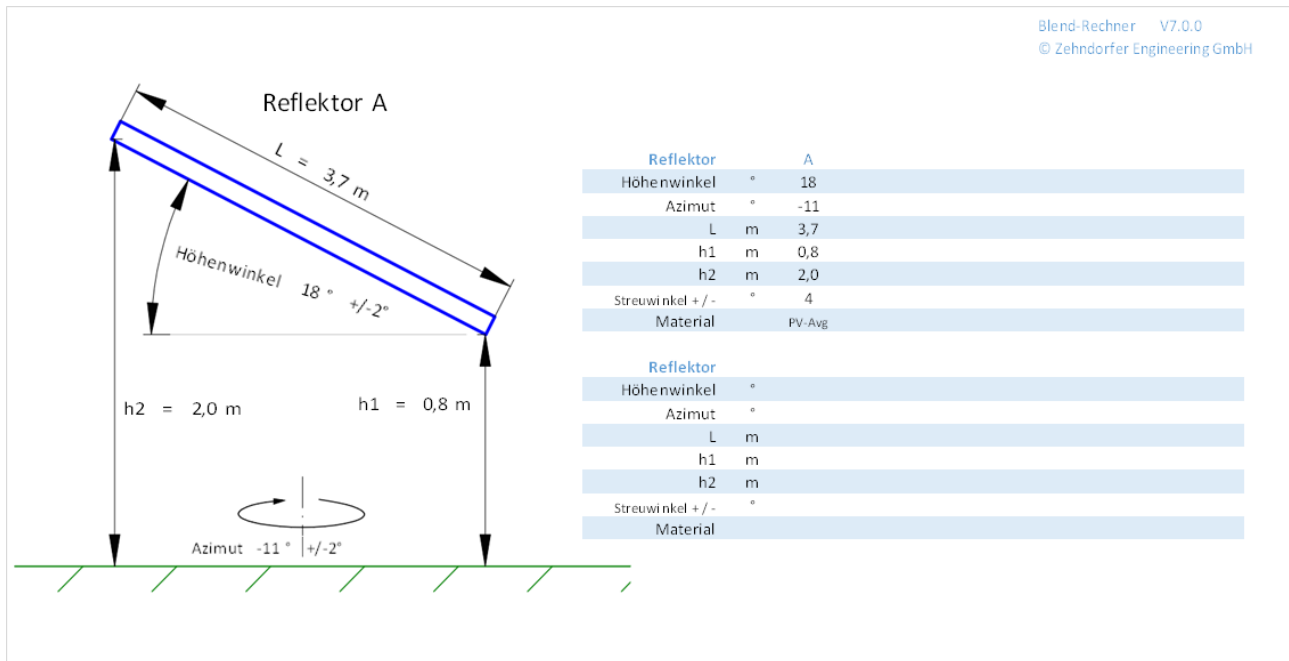


Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum¹. Die PV-Flächen wurden für die Berechnung als Rechtecke modelliert. Die Überdachung fällt zur Straße hin in einem Winkel von 3° ab.

Sie sind auf zweireihigen Modultischen, hochkant, mit der Oberkante bei ca. 2 m angeordnet. Für die Streuung an den PV-Modulen wurde ein üblicher Streuwinkel von $\pm 4^\circ$ angenommen.

Für Abweichungen des Geländes bzw. der Aufständigung von den angegebenen Winkeln wurde zusätzlich ein Unsicherheitswinkel von $\pm 2^\circ$ angenommen (welcher die Blenddauer der Streuungen rechnerisch verlängert).

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

- in der Nachbarschaft
- am Tower der Flugsicherung
- Im Anflugsektor auf Landebahn 09
- Im Anflugsektor auf Landebahn 27
- Im Abflug Richtung Osten

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 5 Immissionspunkte (nahe)



Abbildung 6 Immissionspunkte (fern)



Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen die Lage der Immissionspunkte (IP) und der PV-Felder. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss.

Die Anflugsektoren werden mit jeweils 5 Immissionspunkten in einem Abstand von insgesamt zwei nautischen Meilen bis zur Touch-Down Zone abgedeckt.

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

1.4 Abschattungen & Verdeckungen

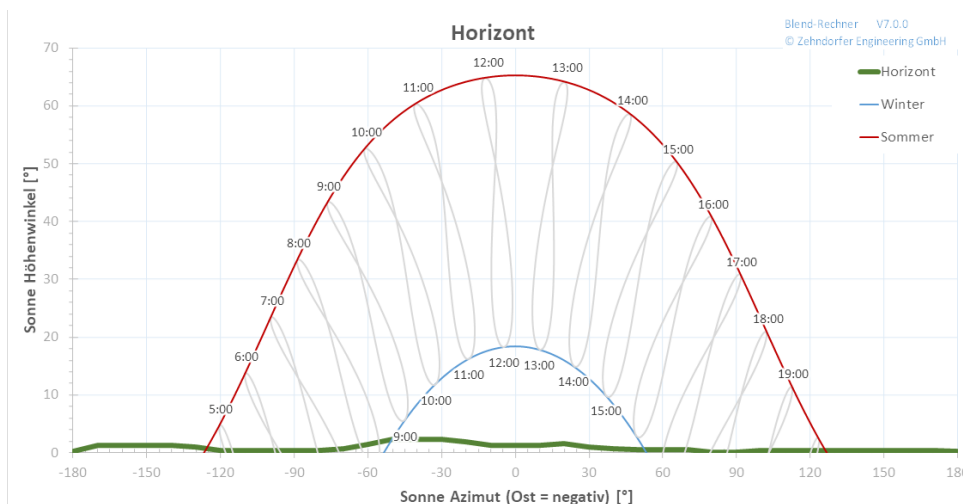
1.4.1 Geländeprofil

Das umliegende Geländeprofil ist etwas hügelig. Es gibt keine Geländekanten, die den Blick die PV-Anlagen verhindern würden.

1.4.2 Horizont

Die Hügel der Umgebung begrenzen die Sonnenstunden nur unwesentlich.

Abbildung 7 Horizont



1.4.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP gibt es keinen Bewuchs, der die Sichtverbindung unterbrechen könnte.

1.4.4 Künstliche Abschattungen

Zwischen den IP und den Solaranlagen gibt es keinerlei Gebäude oder andere Abschattungen, 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

Zur umfassenden Information und aus Gründen der Realitätsnähe, wird zusätzlich auch die Streublendung berechnet.

Für die Evaluierung gemäß der European Aerodrome Design Guidelines, werden die Werte der reflektierten Leuchtdichte berechnet und mit den dort genannten Grenzwerten verglichen.

2.2 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung basiert auf der Methode Raytracing (siehe Anhang 2). Die Reflexionen werden für jeden Immissionspunkt einzeln berechnet.

Abbildung 8 Reflexion der Solar Anlage zum IP4

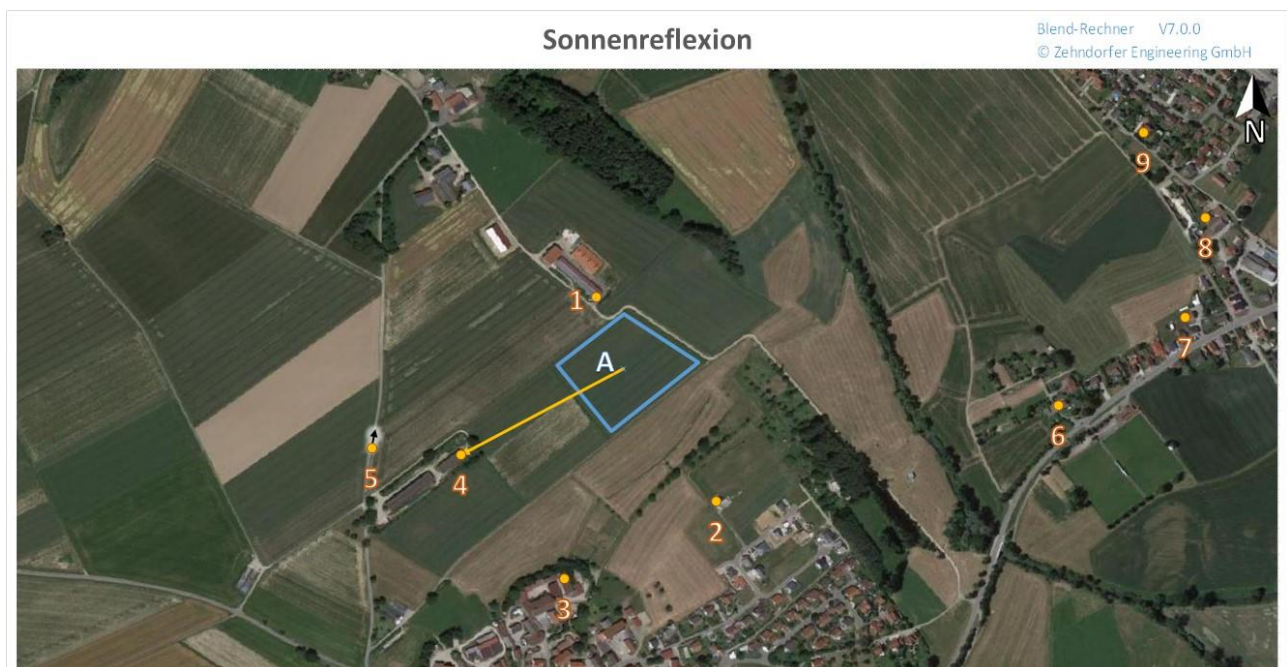
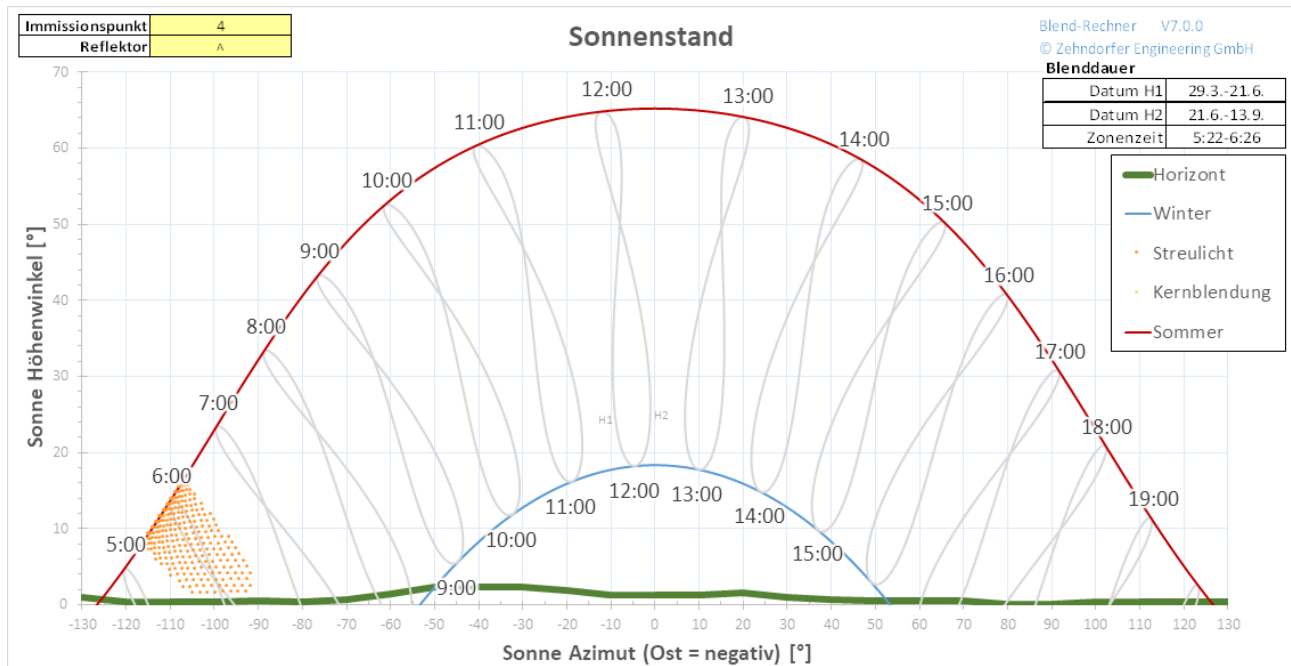


Abbildung 8 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 9 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. An den Achsen sind jene Sonnenhöhenwinkel und der Sonnenseitenwinkel ablesbar, bei welchen Blendung am Immissionspunkt auftreten.

Abbildung 9 Sonnenwinkel bei Blendung am IP 4



Am IP 4 ist also 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			A
Immissionspunkt			4
Distanz	m		197
Höhenwinkel	°		-4
Raumwinkel	msr		1
Datum H1			29.3.-21.6.
Datum H2			21.6.-13.9.
Zeit			5:22-6:26
Kernblendung	min / Tag		5
Kernblendung	h / Jahr		1
Streulicht	min / Tag		45
Streulicht	h / Jahr		91
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°		9
Sonnen Azimut (Mittel)	°		-104
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°		27
Blendung - Blickwinkel (min)	°		1
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]		5 532
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]		3
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]		1 204

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 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, 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 Sonnenhöhenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung
Sonnen Azimut	Durchschnittlicher Sonnenseitenwinkel zum Zeitpunkt der Blendung
Sonne-Reflektor Winkel	Der bei Blendung 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 eine untergeordnete Rolle.
Leuchtdichte	Das Maximum der errechneten Leuchtdichte der Reflexion in 1.000 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 10 Blickfeld am IP 4

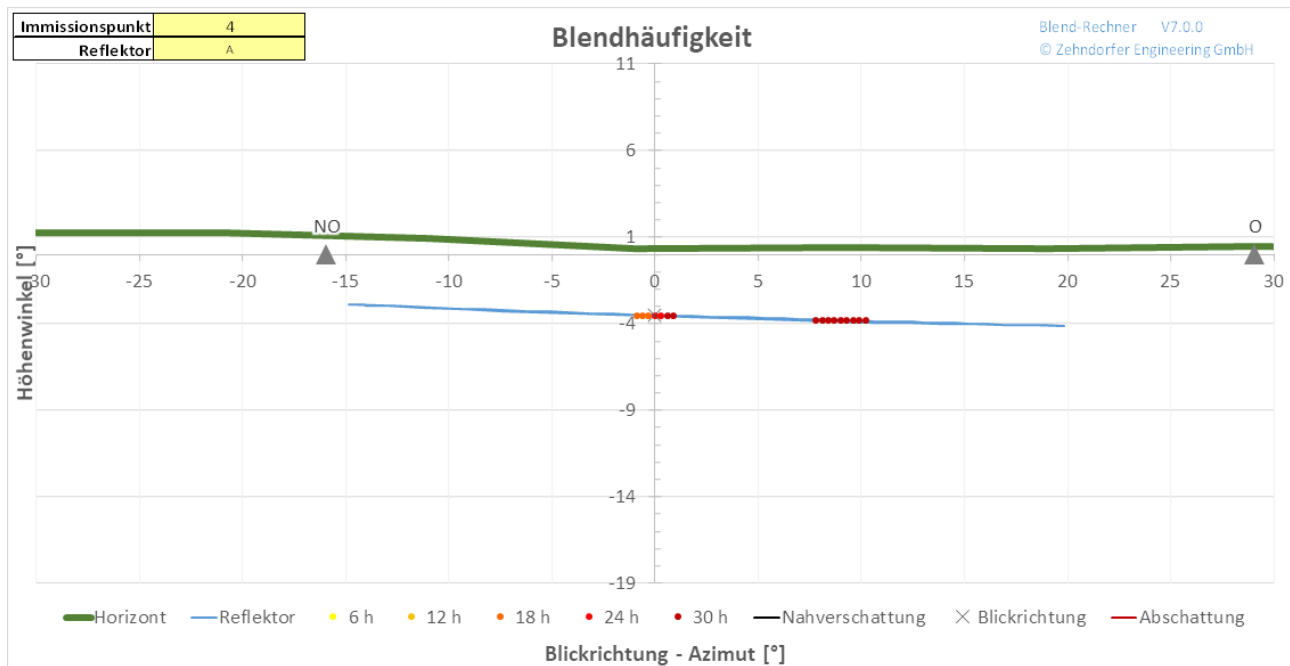


Abbildung 10 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr (inklusive Streublendung) farblich dargestellt

2.5 Blendwirkung

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 (Milisteradian) umgerechnet.

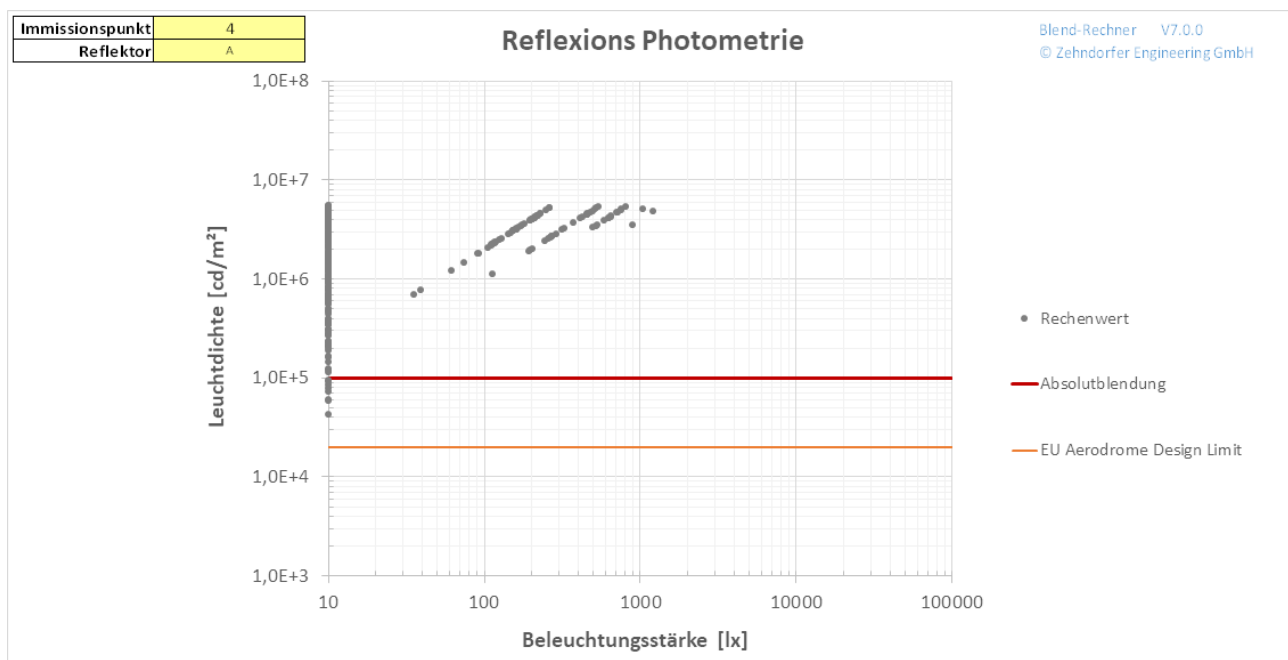
Sichtbeziehung	Raumwinkel
Gesichtsfeld	2.200 msr
Sonnenscheibe am Himmel	0,068 msr
Ausgestreckter Daumen	1,55 msr

Die maximal sichtbare Größe der Solar-Anlagen vom IP 4 (1msr) ist als sehr klein zu bezeichnen.

2.5.2 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 größer). Auch die Stärke des Sonnenlichtes ist vom Sonnenstand abhängig (die Sonne erreicht Leuchtdichten bis zu $1,6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ und hat bei niedrig-stehender Sonne noch eine Leuchtdichte von $6 \times 10^6 \text{ cd/m}^2$). Im Rechenmodell wurden diese Faktoren berücksichtigt. In den meisten Fällen wird bei Reflexionen Absolutblendung erreicht (eine reflektierte Leuchtdichte von über 100.000 cd/m^2). Die Stärke der Reflexionen ist kein Kriterium gemäß LAI-2012. Gemäß der Richtlinie ist nur bei einer Dauer von über 30 Minuten pro Tag bzw. 30 Stunden pro Jahr die Grenzen der Zumutbarkeit überschritten.

Abbildung 11 Stärke der Reflexionen



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

Die Berechnung der Leuchtdichte in Abbildung 11 zeigt, dass bei einigen Sonnenständen Absolutblendung erreicht wird.

2.5.3 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.

2.5.4 Blenddauer

Abbildung 12 Blenddauer am IP 4

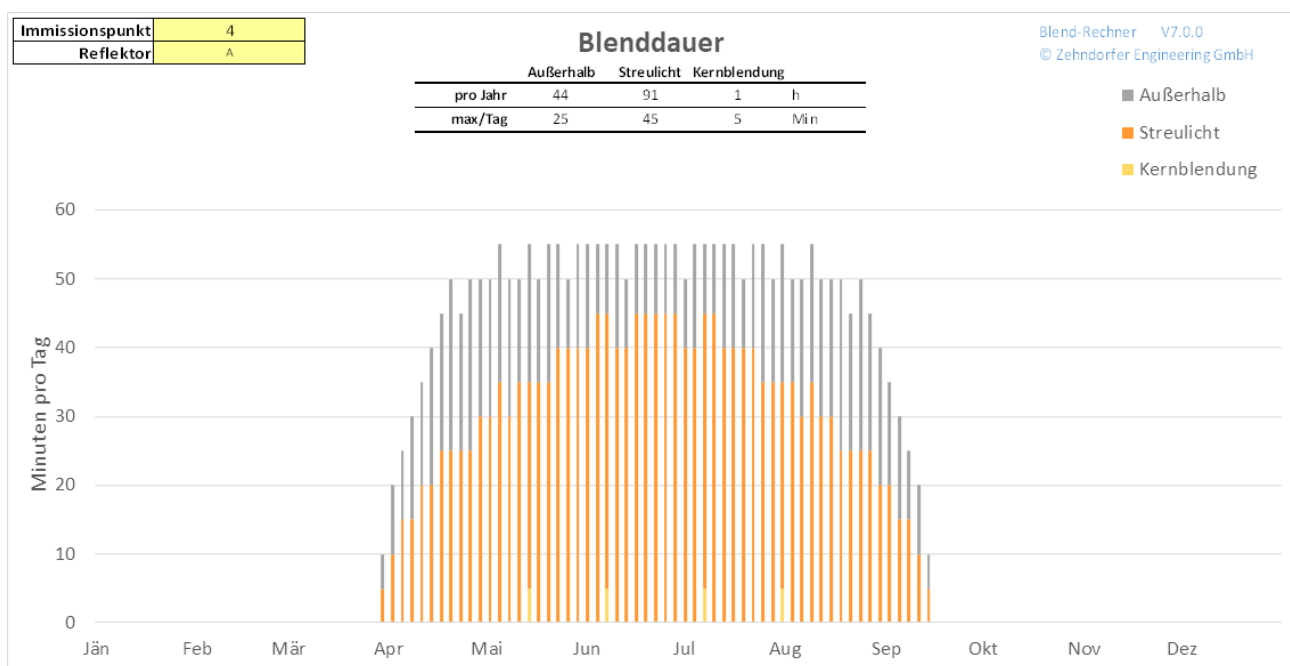


Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

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.

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.“

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 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 ankommendem, landendem 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 (siehe Anhang 2), sind Blendungen im Gesichtsfeld von Piloten mit einer Leuchtdichte von über 20.000 cd/m² zu vermeiden.

3 Beurteilung & Empfehlungen

3.1 Nahe Immissionspunkte

IP1 bis 4 und 6 bis 9 (Nachbarschaft)

Es kann zu kurzen Reflexionen in Richtung der Anrainer kommen. Die Dauer der direkten (spiegelnden) Reflexionen liegt unter 30 Minuten pro Tag und 30 Stunden pro Jahr.

IP5 (Straße)

Es werden Reflexionen in Richtung der Straße auftreten. Diese liegen jedoch immer vollständig außerhalb (>50° zu Fahrtrichtung) des inneren Gesichtsfeldes der Fahrzeuglenker und stellen daher keine Gefahr für den Straßenverkehr dar.

3.2 Ferne Immissionspunkte

IP1 (Tower)

Auf Basis des astronomisch möglichen Sonnenstandes werden zu keiner Zeit Reflexionen in Richtung des Towers ausgestrahlt.

IP2 bis 6 (Anflug RWY 27)

Am IP 6 wird es zu Reflexionen kommen. Diese haben die folgenden Eigenschaften:

- sie bestehen nur aus Streuung
- Der Raumwinkel der reflektierende Quelle ist mit 1msr sehr klein.
- Die Reflexionen liegen zum Großteil außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Piloten
- der IP 6 liegt 2 nautische Meilen von der Landebahn entfernt, es bleibt daher noch eine große Zeitspanne (bei 250km/h etwa 53s) bis zum touchdown.

Mit den oben genannten Eigenschaften stellen die Reflexionen keine Gefahr die den anfliegenden Flugverkehr dar.

IP7 bis 11 (Anflug RWY 09)

Auf Basis des astronomisch möglichen Sonnenstandes werden zu keiner Zeit Reflexionen in Richtung der IP ausgestrahlt.

IP12 und 13 (Abflug Richtung Osten)

Auf Basis des astronomisch möglichen Sonnenstandes werden zu keiner Zeit Reflexionen in Richtung der IP ausgestrahlt.

Es wird keine gefährliche Blendwirkung in Richtung des Flugverkehrs stattfinden. Der Tower wird keiner erheblichen Blendwirkung ausgesetzt.

Die Nachbarschaft wird keiner erheblichen Blendwirkung ausgesetzt.

Datum: 1.12.2021

Gutachter:

Zehndorfer
Engineering
+43 (680) 244 3310
office@zehndorfer.at
www.zehndorfer.at
FN 515736k
UID-ATU 74524829
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 den 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) [lm/m ² sr].
LOV	Line of Vision – die übliche Blickrichtung des Beobachters
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

Bundes-Immissionsschutzgesetz Deutschland (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, ...

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

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.

Luftverkehrsgesetz (LuftVG) 2007, §12 Errichtung von Bauwerken - Deutschland

(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).

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.

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.

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 die 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 32, mit false northing -5.000.000

Die PV Anlage befindet sich an folgenden Koordinaten

Reflektor	A			
Eckpunkt	C1	C2	C3	C4
x	569.508	569.636	569.527	569.429
y	341.643	341.748	341.822	341.744
z	520	511	518	525
h	0,8	0,8	2,0	2,0

mit den folgenden Winkeln der reflektierenden Flächen

A	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
	18	0	4	-93	18	-11

Für diese Berechnung wurden folgende Immissionspunkte betrachtet

nahe Immissionspunkte

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bezeichnung	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP-N1	IP-N2	IP-N3	IP-N4
x	569.486	569.662	569.439	569.287	569.156	570.165	570.351	570.380	570.289
y	341.849	341.535	341.416	341.607	341.617	341.682	341.817	341.971	342.101
z	520	531	533	535	532	503	505	507	507
h	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	5,0	5,0	5,0	5,0
Blickrichtung - Az					-169				

ferne Immissionspunkte

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bezeichnung	ATCT	IP-R27-1	IP-R27-3	IP-R27-5	IP-R27-7	IP-R27-9	IP-R09-1	IP-R09-3	IP-R09-5	IP-R09-7	IP-R09-9
x	567.575	568.298	569.121	569.944	570.767	571.591	566.910	566.087	565.264	564.441	563.618
y	340.970	341.140	341.111	341.082	341.053	341.193	341.221	341.221	341.250	341.279	341.307
z	539	538	538	538	538	538	537	537	537	537	537
h	17,0	4,0	47,2	90,3	133,5	176,7	4,0	47,2	90,3	133,5	176,7
Blickrichtung - Az		92	92	92	92	92	-88	-88	-88	-88	-88

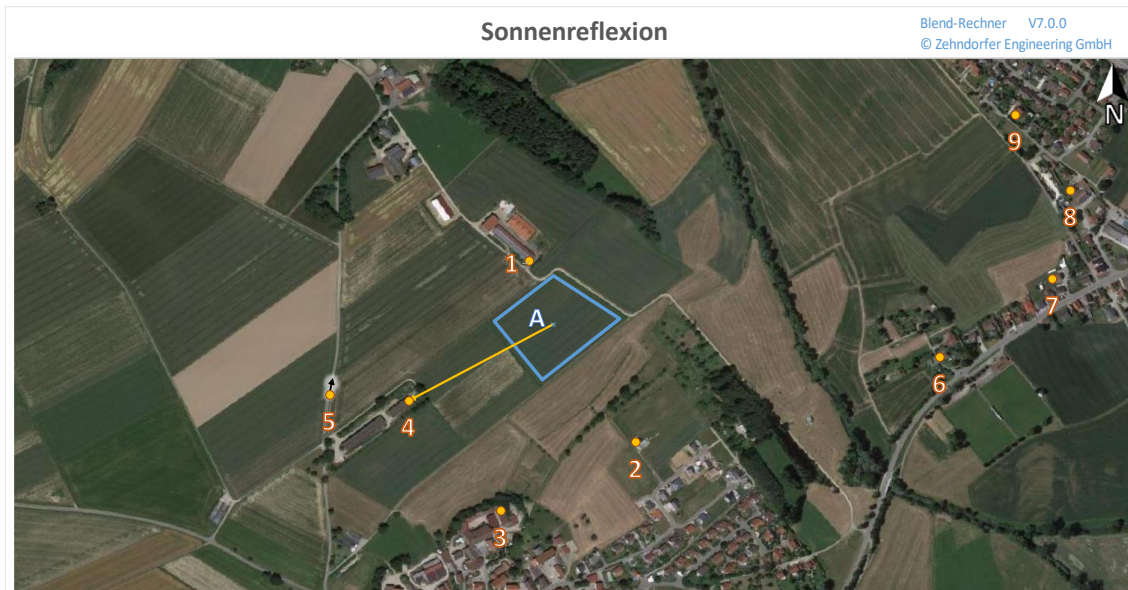
Immissionspunkt	12	13
Bezeichnung	IP-R27-2	IP-R27-4
x	568.710	569.533
y	341.125	341.097
z	538	538
h	25,6	68,7
Blickrichtung - Az	-88	-88

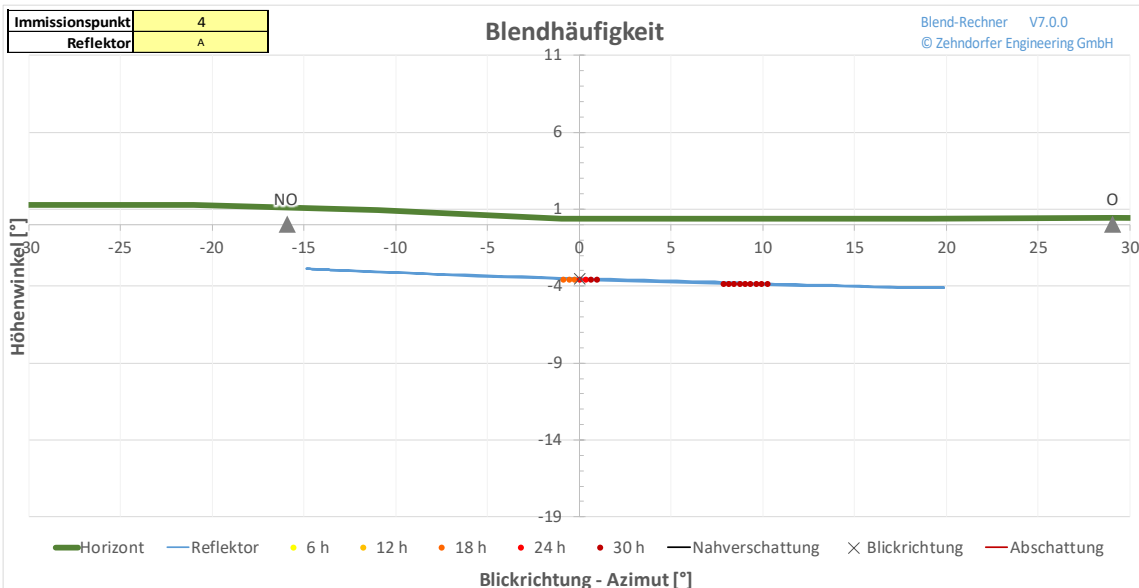
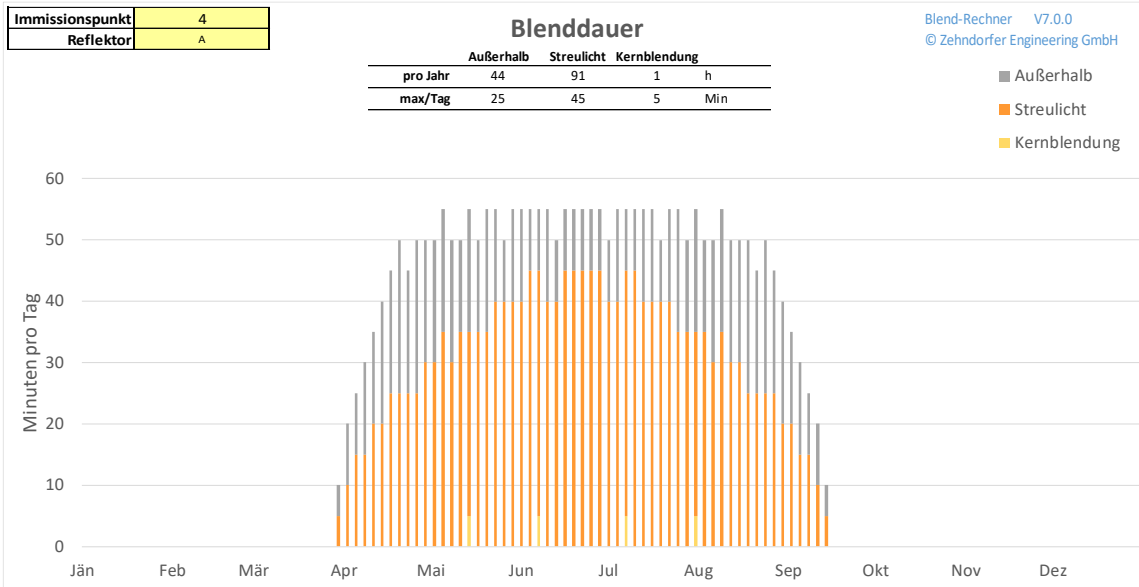
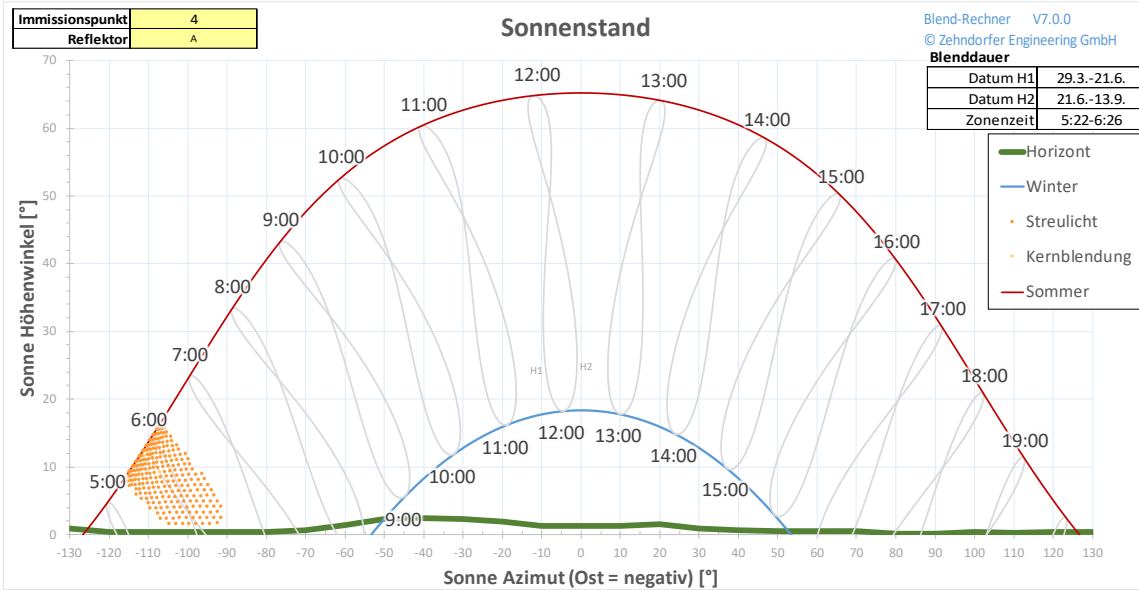
ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

Anhang 5.1 Nahe Immissionspunkte

Reflektor		A	A	A	A	A	A	A	A	
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distanz	m	47	181	238	197	301	533	719	777	743
Höhenwinkel	°	-1	-3	-3	-4	-2	1	1	1	1
Raumwinkel	msr	6	32	6	1	3	3	1	1	1
Datum H1		-	-	-	29.3.-21.6.	29.3.-21.6.	14.3.-25.5.	8.3.-13.4.	-	-
Datum H2		-	-	-	21.6.-13.9.	21.6.-13.9.	18.7.-28.9.	29.8.-4.10.	-	-
Zeit		-	-	-	5:22-6:26	5:14-6:21	17:36-18:35	17:28-18:16	-	-
Kernblendung	min / Tag	0	0	0	5	0	5	0	0	0
Kernblendung	h / Jahr	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Streulicht	min / Tag	0	0	0	45	0	35	20	0	0
Streulicht	h / Jahr	0	0	0	91	0	54	16	0	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	-	-	-	9	8	11	8	-	-
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-	-	-	-104	-105	92	86	-	-
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	-	-	-	27	24	23	17	-	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-	-	-	1	50	0	1	-	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	0	0	0	5.532	5.671	7.504	4.714	0	0
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	0	0	0	3	15	12	5	0	0
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	0	0	0	1.204	2.470	3.317	1.032	0	0

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

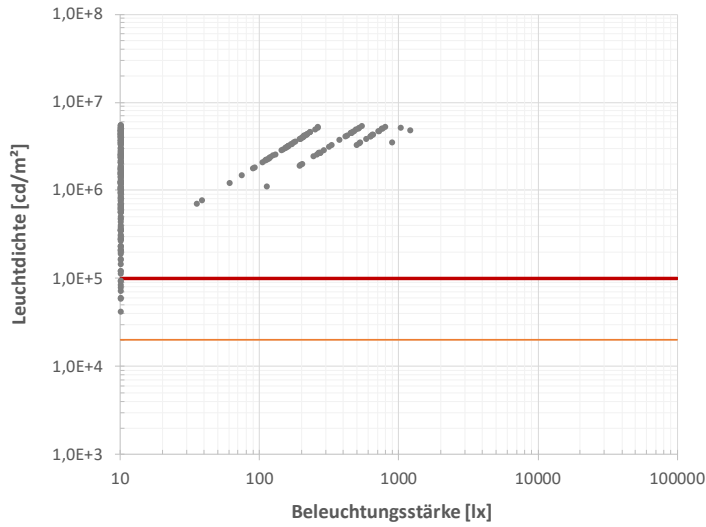




Immissionspunkt	4
Reflektor	A

Reflexions Photometrie

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



- Rechenwert
- Absolutblendung
- EU Aerodrome Design Limit

Immissionspunkt	4
Reflektor	A

Blendhäufigkeit

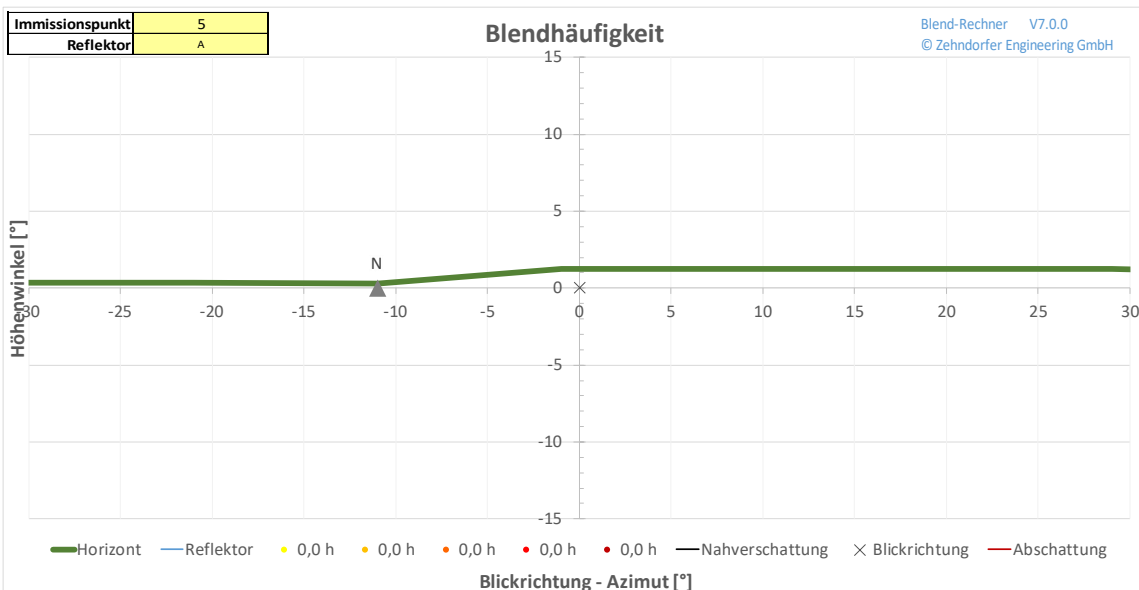
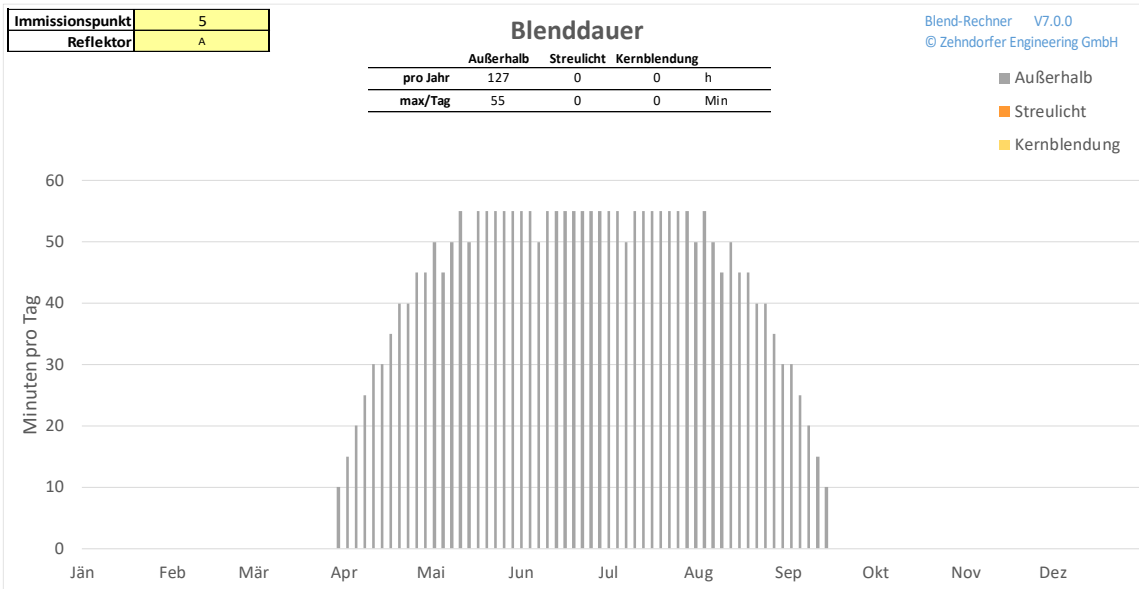
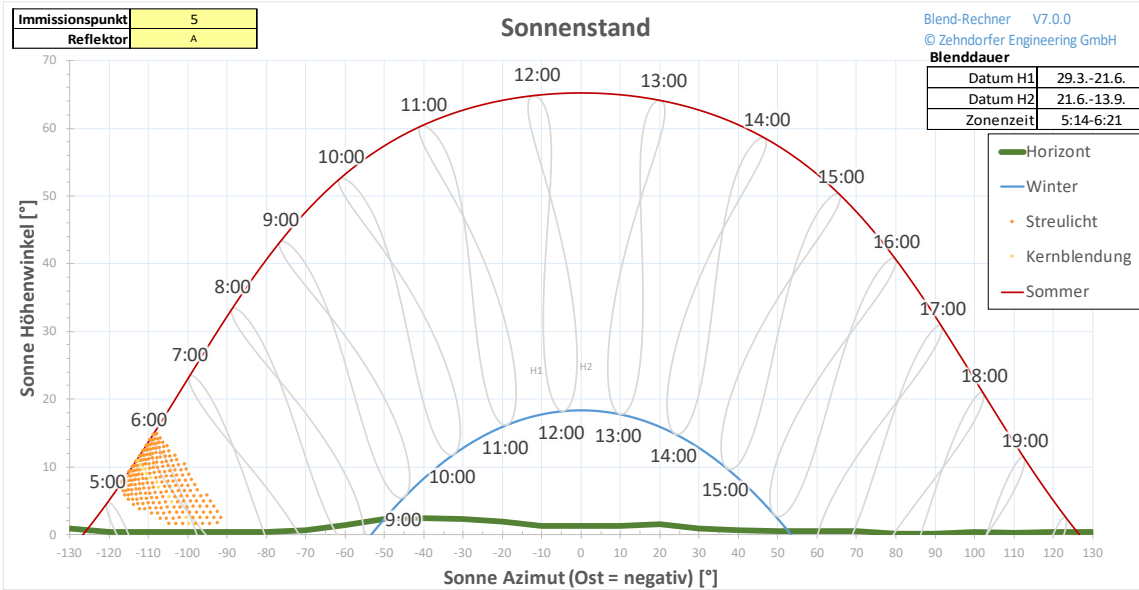
Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH

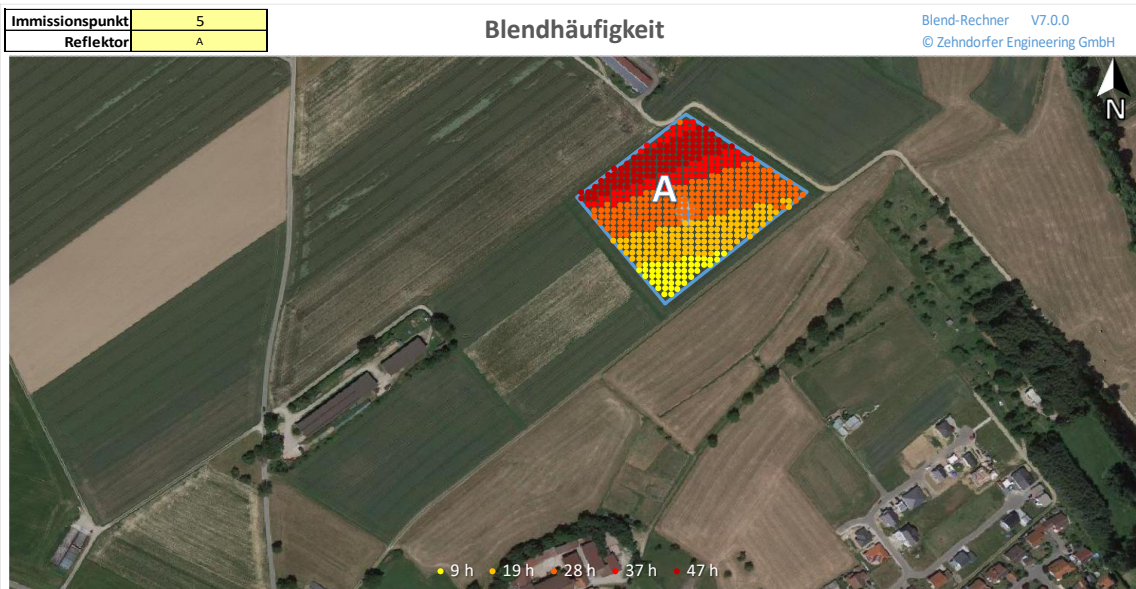
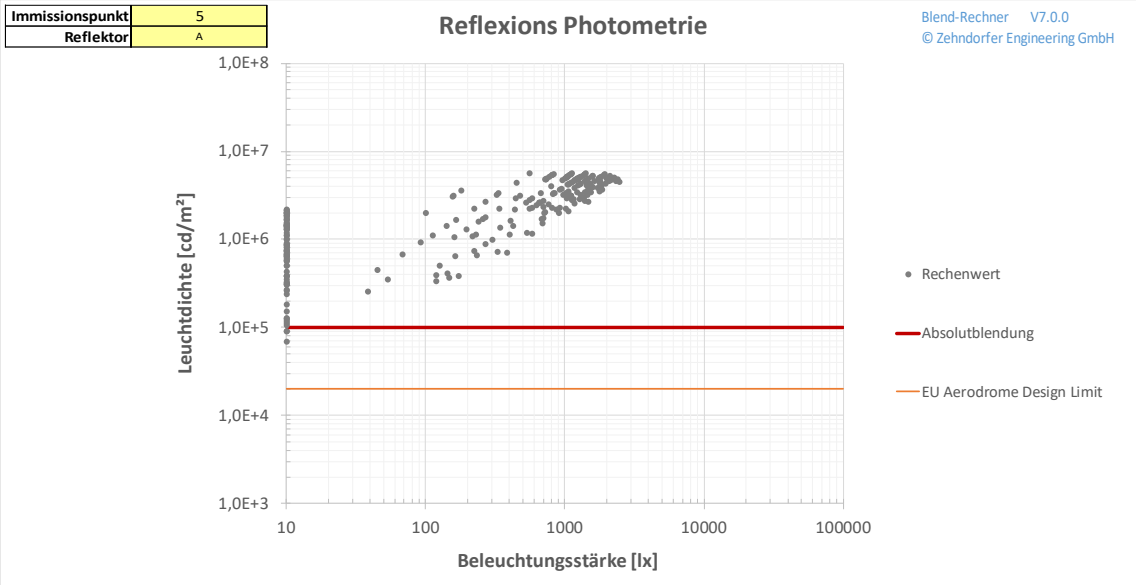


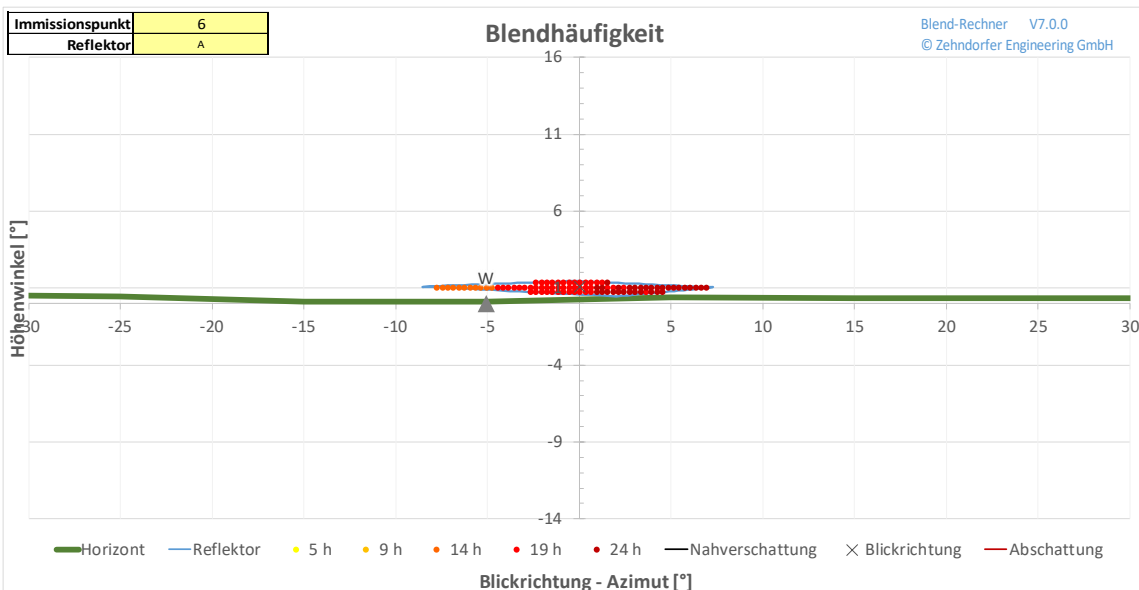
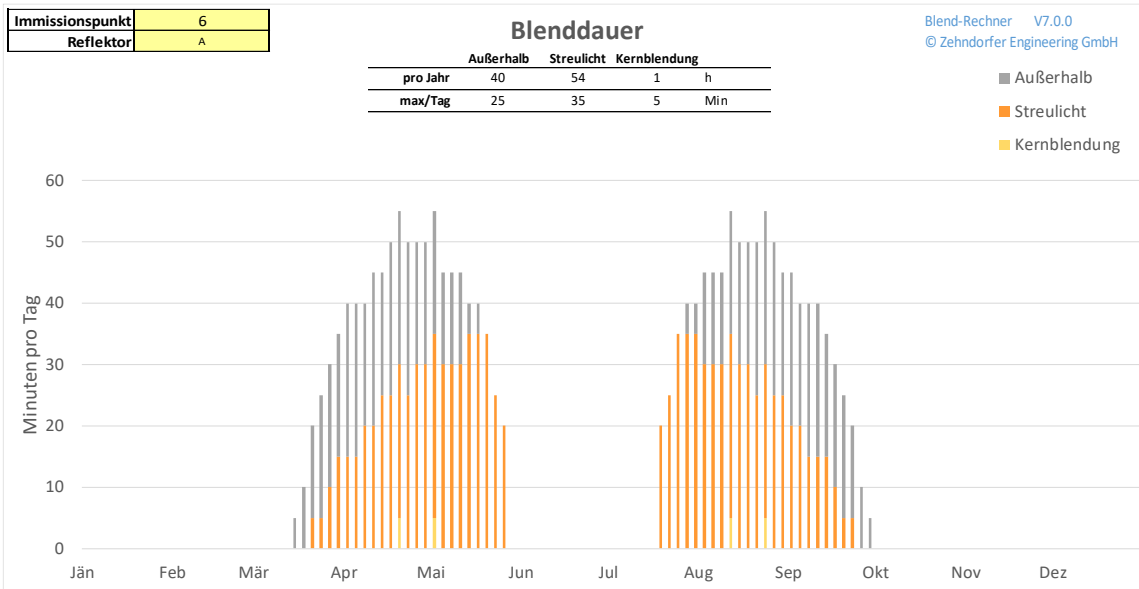
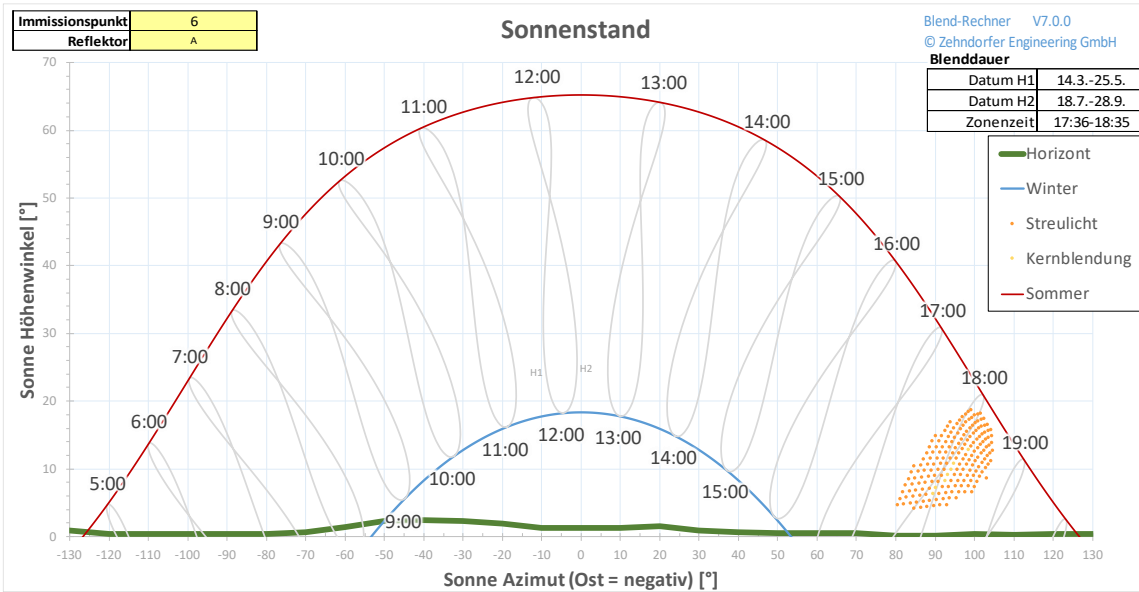
Sonnenreflexion

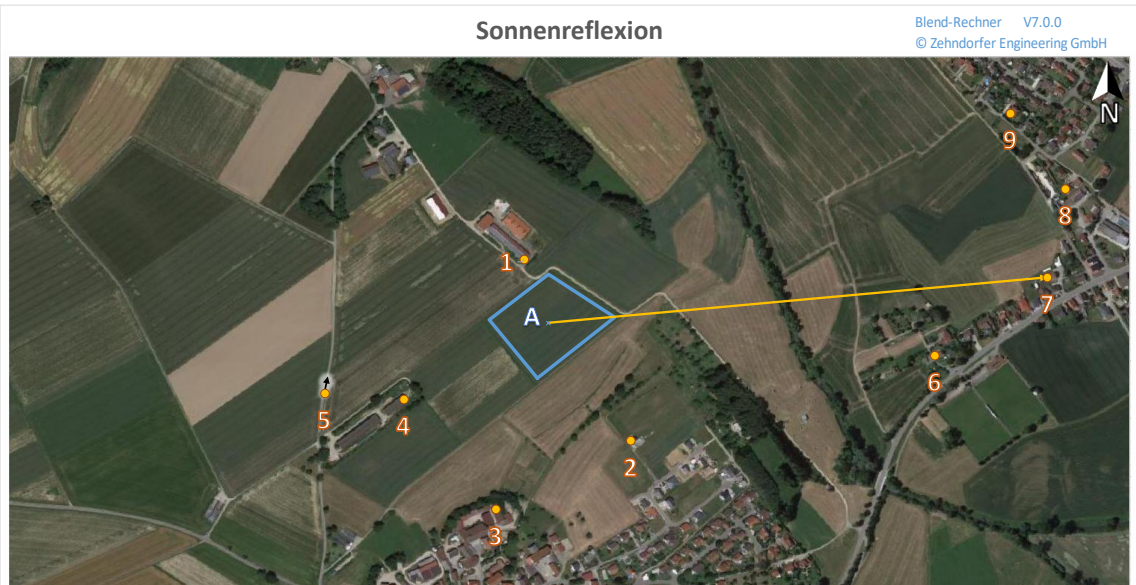
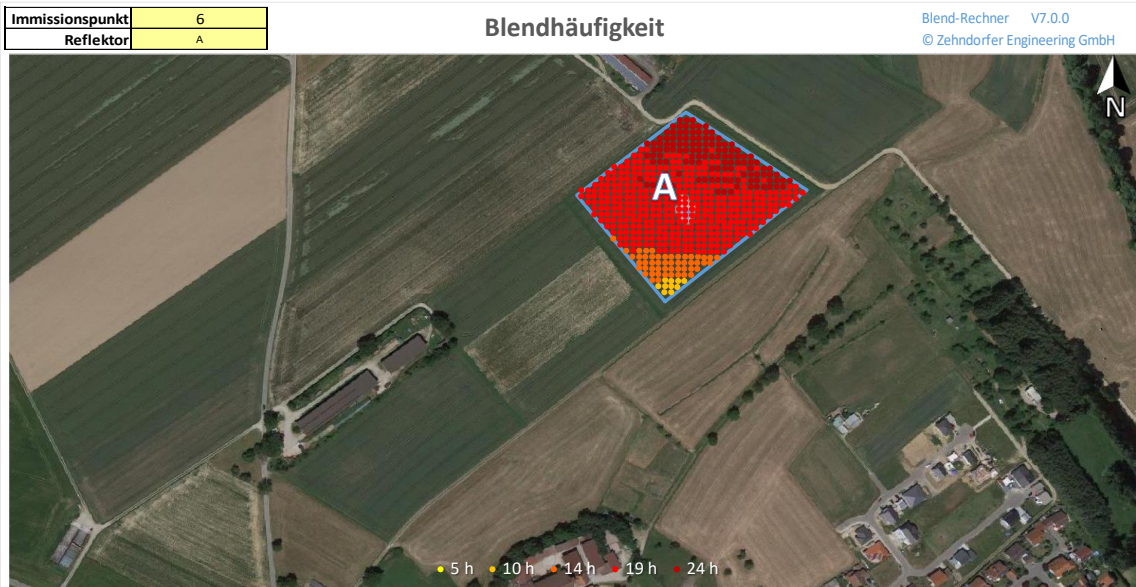
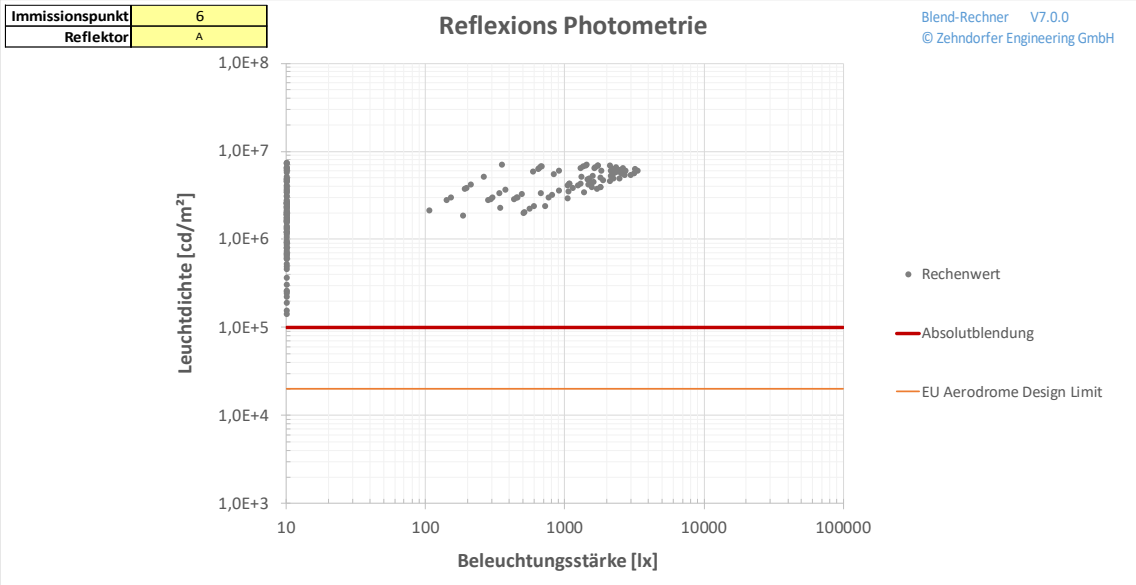
Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH

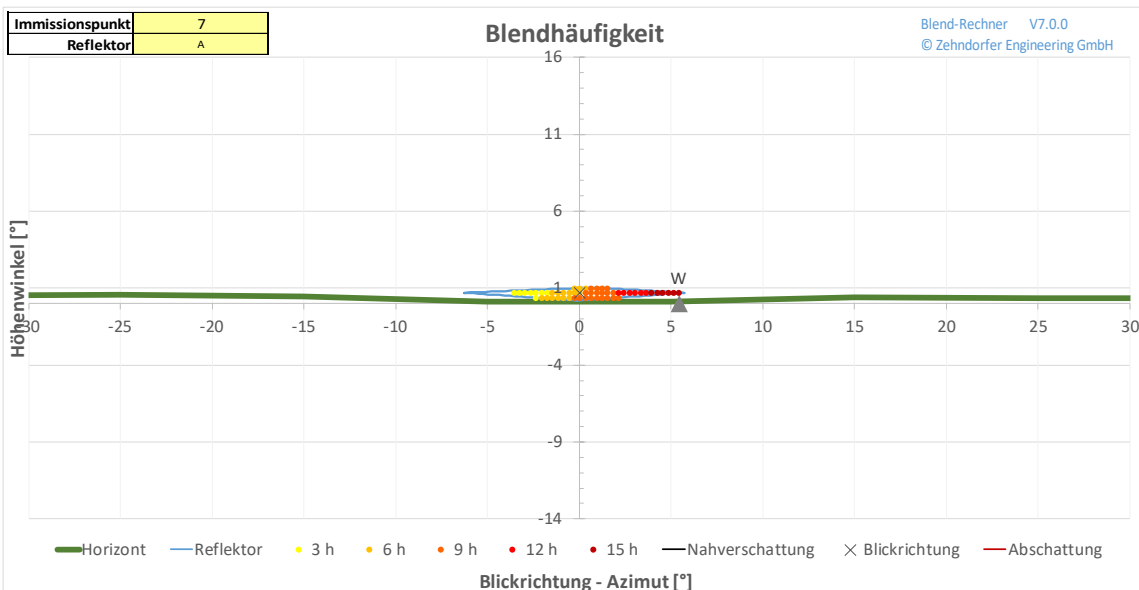
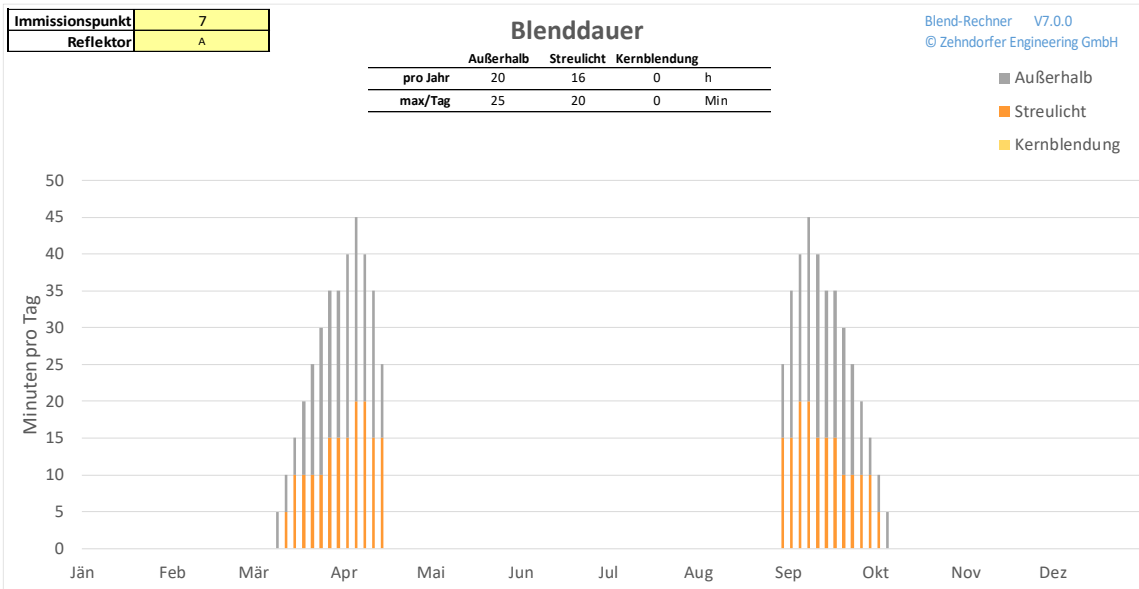
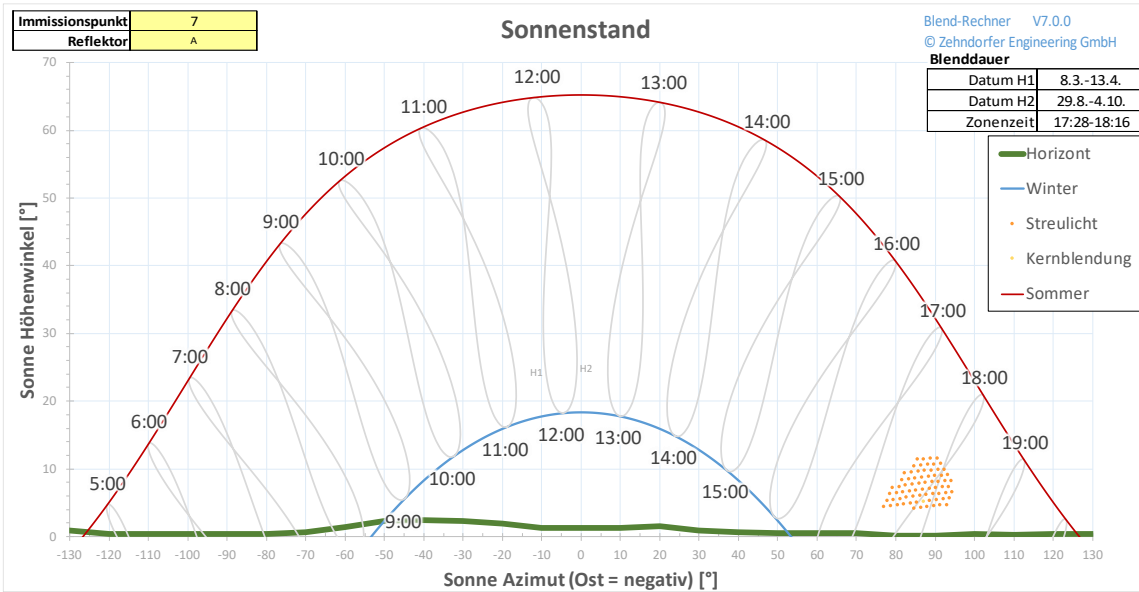








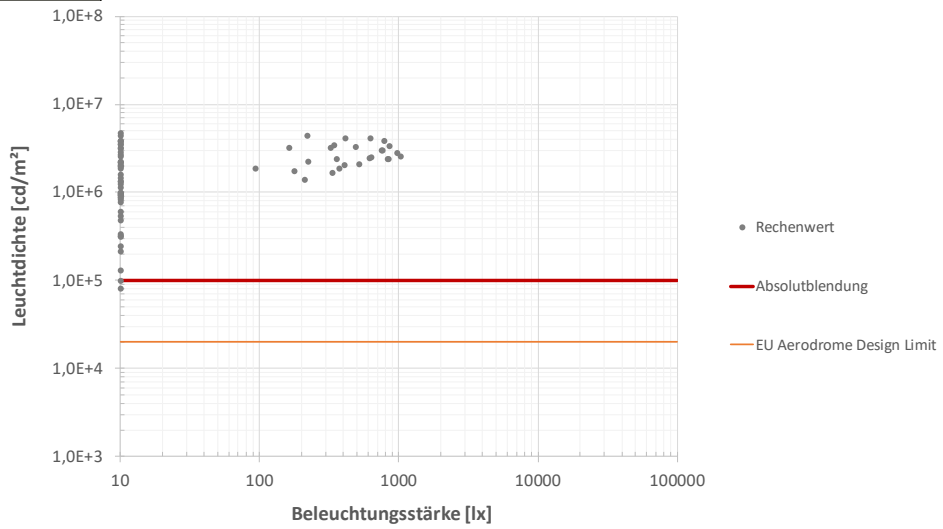




Immissionspunkt	7
Reflektor	A

Reflexions Photometrie

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	7
Reflektor	A

Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH

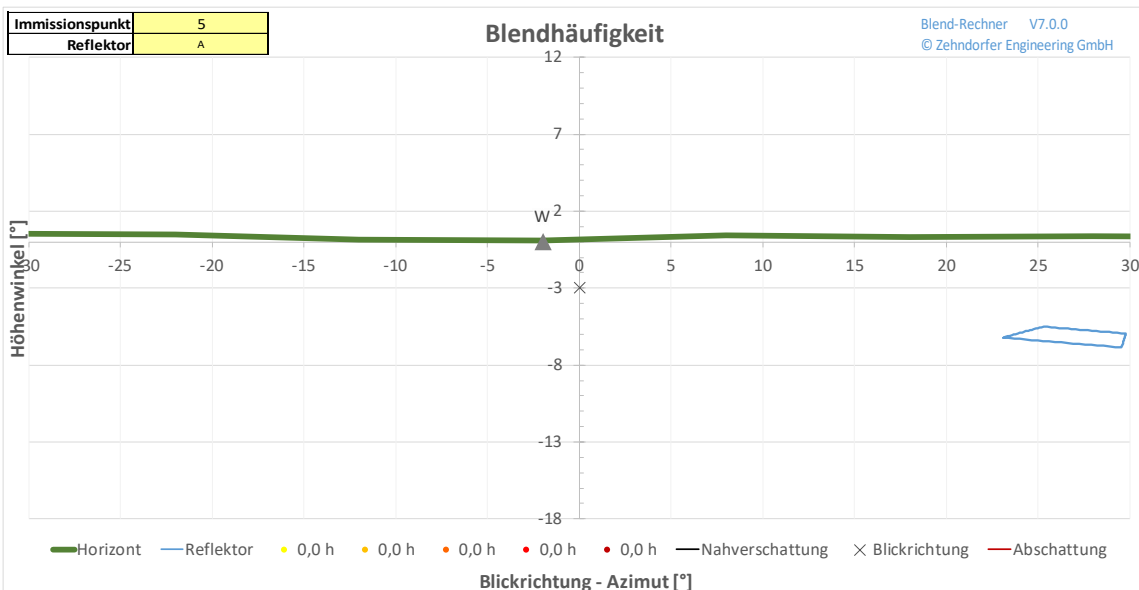
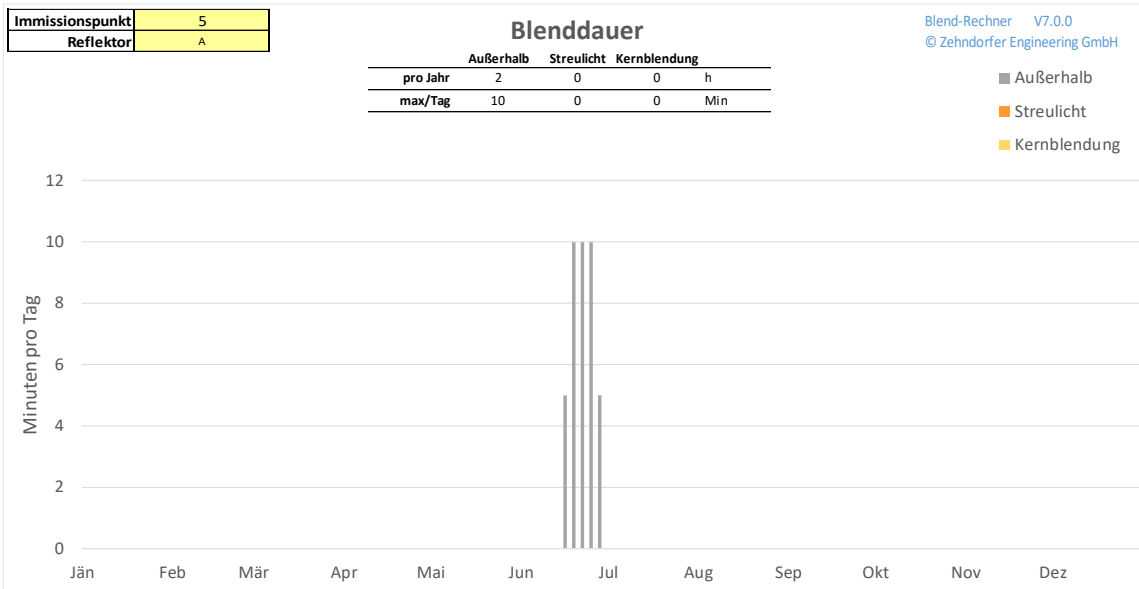
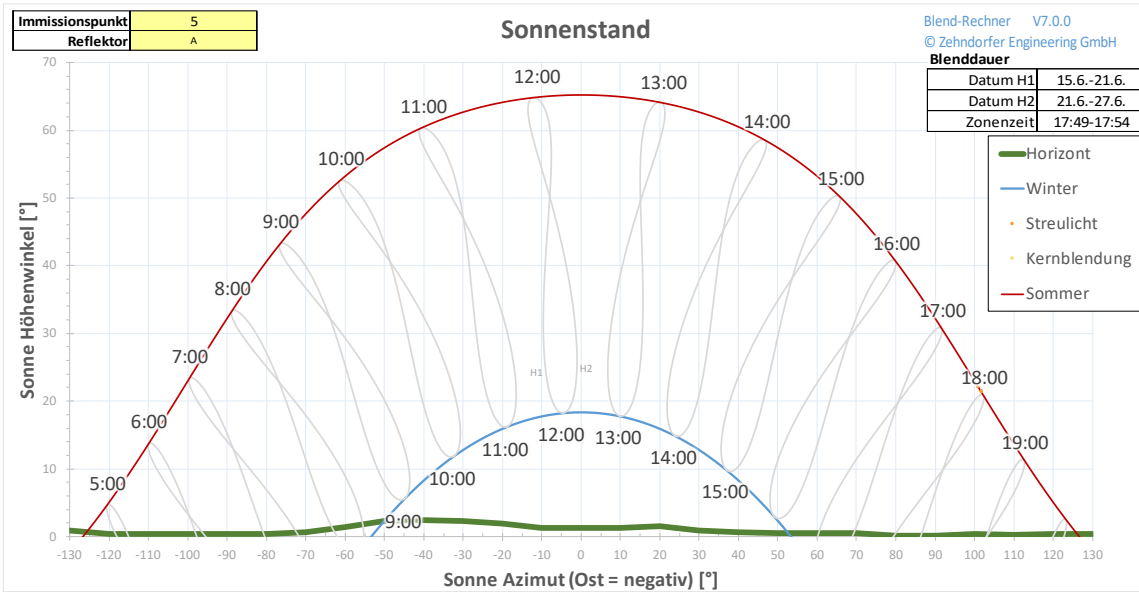


Anhang 5.2 Ferne Immissionspunkte

Reflektor	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distanz m	2.010	1.282	661	718	1.338	2.094	2.579	3.383	4.196	5.012
Höhenwinkel °	-1	-1	-5	-8	-6	-5	0	-1	-1	-2
Raumwinkel msr	0	0	1	6	1	1	0	0	0	0
Datum H1	-	-	-	-	15.6.-21.6.	15.-21.6.	-	-	-	-
Datum H2	-	-	-	-	21.6.-27.6.	21.6.-11.8.	-	-	-	-
Zeit	-	-	-	-	17:49-17:54	17:23-18:17	-	-	-	-
Kernblendung min / Tag	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kernblendung h / Jahr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Streulicht min / Tag	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0
Streulicht h / Jahr	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel) °	-	-	-	-	22	21	-	-	-	-
Sonnen Azimut (Mittel) °	-	-	-	-	101	99	-	-	-	-
Sonne-Reflektor Winkel (max) °	-	-	-	-	29	39	-	-	-	-
Blendung - Blickwinkel (min) °	-	-	-	-	23	15	-	-	-	-
Leuchtdichte (max) [k cd/m ²]	0	0	0	0	172	4.940	0	0	0	0
Retinale Einstrahlung (max) [mW/cm ²]	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
Beleuchtungsstärke (max) [lx]	0	0	0	0	0	1.073	0	0	0	0

Reflektor	A	A	A
Immissionspunkt	11	12	13
Distanz m	5.831	949	554
Höhenwinkel °	-2	-2	-8
Raumwinkel msr	0	0	6
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

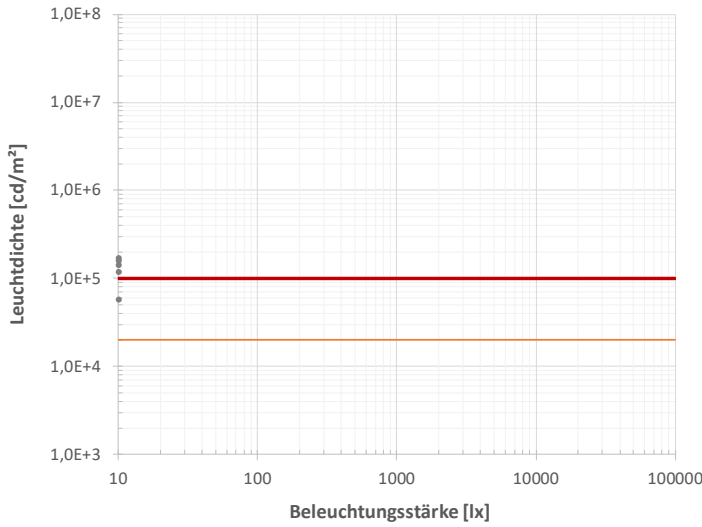




Immissionspunkt	S
Reflektor	A

Reflexions Photometrie

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



- Rechenwert
- Absolutblendung
- EU Aerodrome Design Limit

Sonnenreflexion

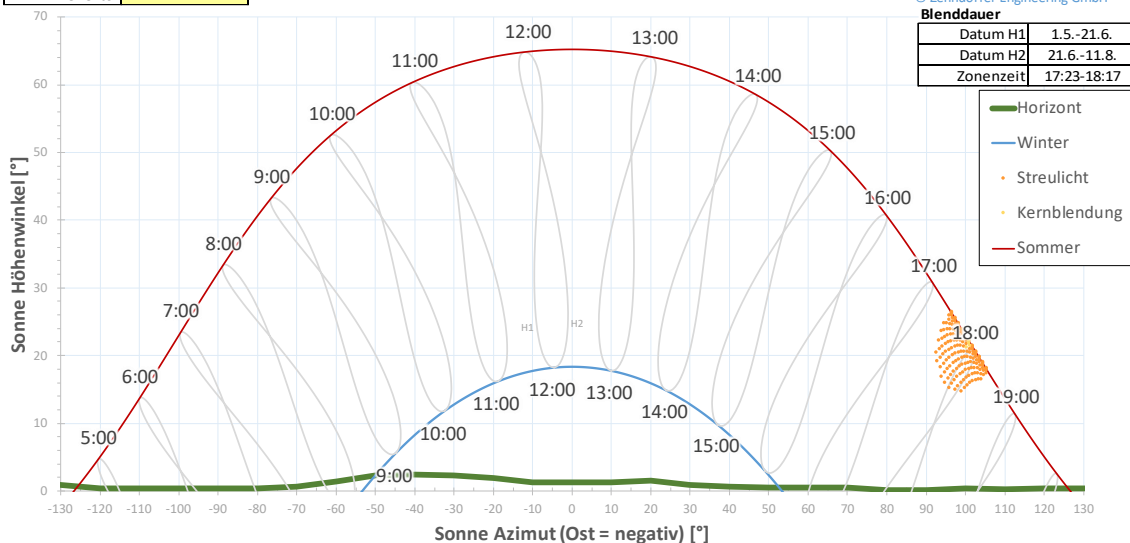
Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	6
Reflektor	A

Sonnenstand

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



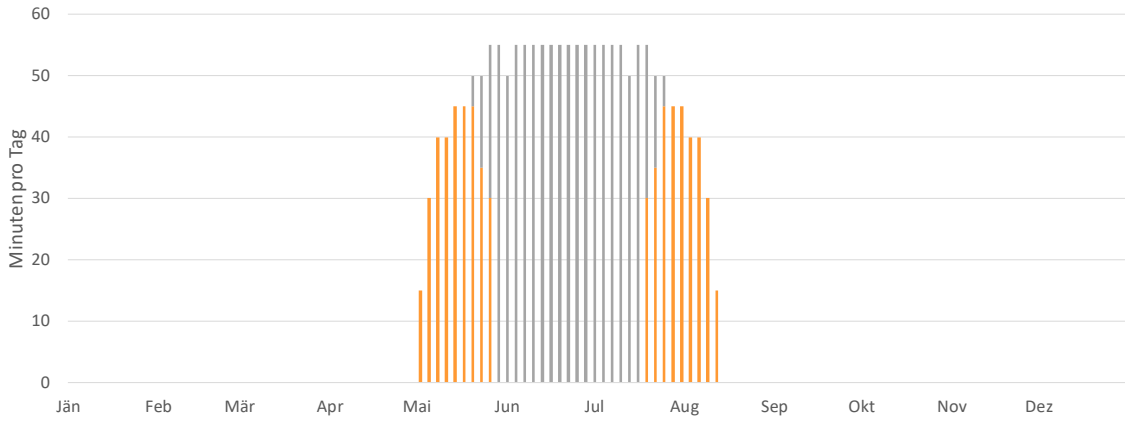
Immissionspunkt	6
Reflektor	A

Blenddauer

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	51	33	0	h
max/Tag	55	45	0	Min

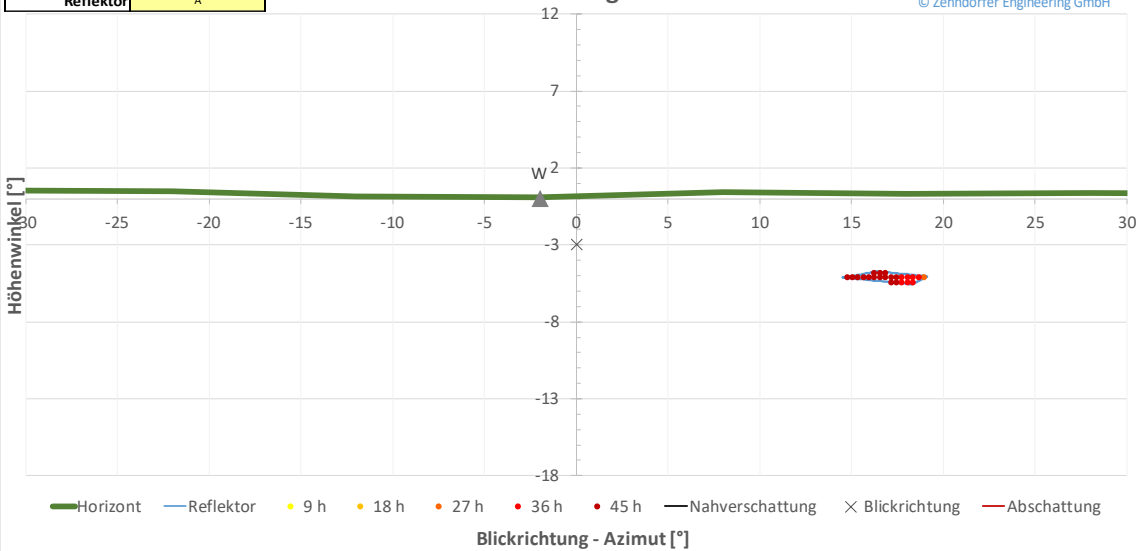
- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



Immissionspunkt	6
Reflektor	A

Blendhäufigkeit

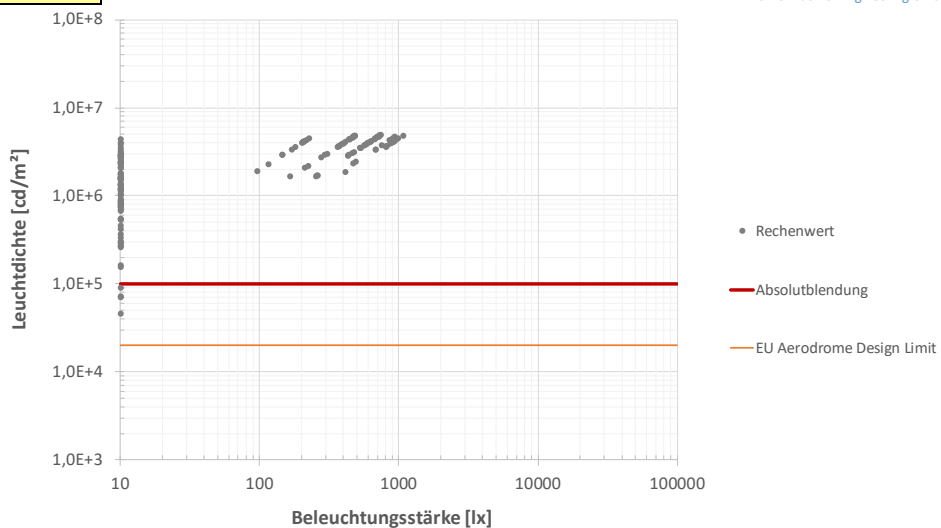
Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	6
Reflektor	A

Reflexions Photometrie

Blend-Rechner V7.0.0
© Zehndorfer Engineering GmbH



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

