

Analyse der Blendwirkung der Solaranlage Ziesar Köpernitz

Im Auftrag von

HDS-Schilling GmbH
z.H. Robert Schilling
Henriettenstraße 8
09112 Chemnitz

**Gutachten ZE21141-HDS
November 2021**



INHALT

1	Situationsbeschreibung.....	4
1.1	PROBLEMBESCHREIBUNG	4
1.2	ORTSBEZEICHNUNG UND LAGE DER PV-ANLAGE	4
1.3	UNTERSUCHTER RAUM	7
1.4	ABSCHATTUNGEN & VERDECKUNGEN	7
1.4.1	<i>Geländeprofil</i>	7
1.4.2	<i>Horizont</i>	8
1.4.3	<i>Bewuchs</i>	8
1.4.4	<i>Künstliche Abschattungen</i>	8
2	Blendberechnung.....	9
2.1	BEDINGUNGEN FÜR DIE BERECHNUNG.....	9
2.2	REFLEXIONSBERECHNUNG	9
2.3	ERKLÄRUNG DER ERGEBNISSE	11
2.4	SICHTBEZUG.....	12
2.5	BLEND-WIRKUNG.....	12
2.5.1	<i>Größenverhältnisse</i>	13
2.5.2	<i>Richtung der Blendung</i>	13
2.5.3	<i>Blendstärke</i>	13
2.5.4	<i>Blenddauer</i>	14
2.5.5	<i>Subjektive Faktoren</i>	15
2.5.6	<i>Verkehrskritische Punkte</i>	15
3	Beurteilung & Empfehlungen.....	16
3.1	BLENDREDUZIERENDE MAßNAHMEN.....	16
3.2	EVALUIERUNG DER BLENDREDUZIERENDEN MAßNAHMEN	17
	ANHANG 1 Definitionen.....	18
	ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze.....	19
	ANHANG 3 Methodik der Berechnung	21
	ANHANG 4 Vermessung der Umgebung.....	22
	ANHANG 5 Detail-Ergebnisse der Berechnungen.....	23
	ANHANG 5.1 ERGEBNISSE MIT BLENDREDUZIERENDEN MAßNAHMEN	34

Zusammenfassung

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

Es wird zu Blendungen des Fahrzeugverkehrs kommen. Daher sind blendreduzierende Maßnahmen zu empfehlen.

Mit den vorgeschlagenen blendreduzierenden Maßnahmen wird dann keine gefährliche Blendwirkung auf den Straßenverkehr mehr stattfinden.

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	3.11.2021	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

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 auf der Autobahn A2 von den Reflexionen der PV-Module geblendet werden könnten.

1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-Photovoltaik-Anlage besteht aus 2 Flächen und befindet sich in der Gemeinde 14793 Köpernitz, Landkreis Potsdam-Mittelmark (Gemarkung Köpernitz, GPS-Koordinaten 52°15'20"N, 12°19'7"O) südlich und nördlich der Autobahn A2.

Abbildung 1 Situation



Abbildung 2 Modulbelegungsplan



Abbildung 3 Modultischkonfiguration

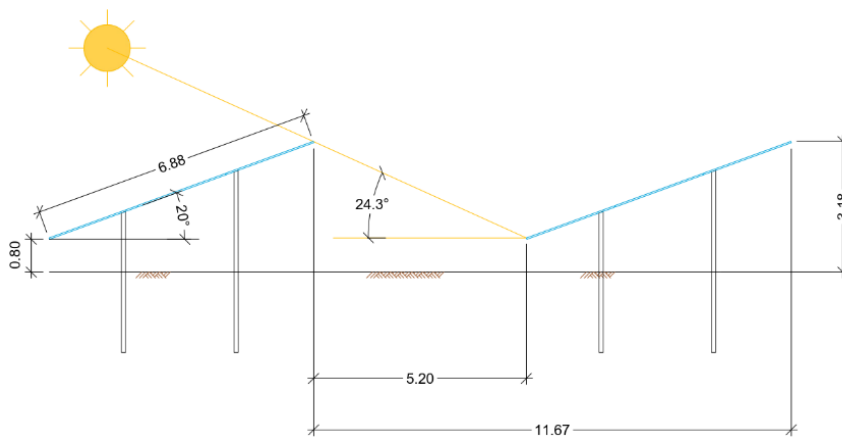
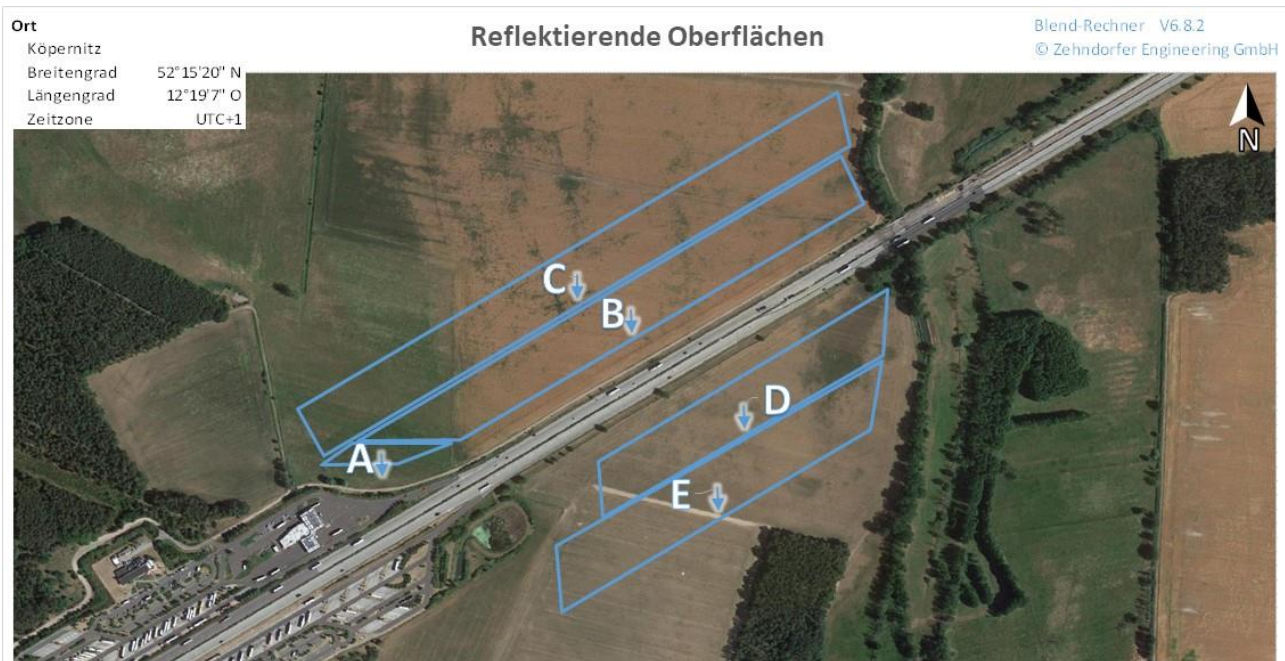


Abbildung 4 Ausrichtung der Anlage



Die reflektierenden Flächen werden für die Berechnung in mehreren Vierecken modelliert.

Abbildung 5 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)

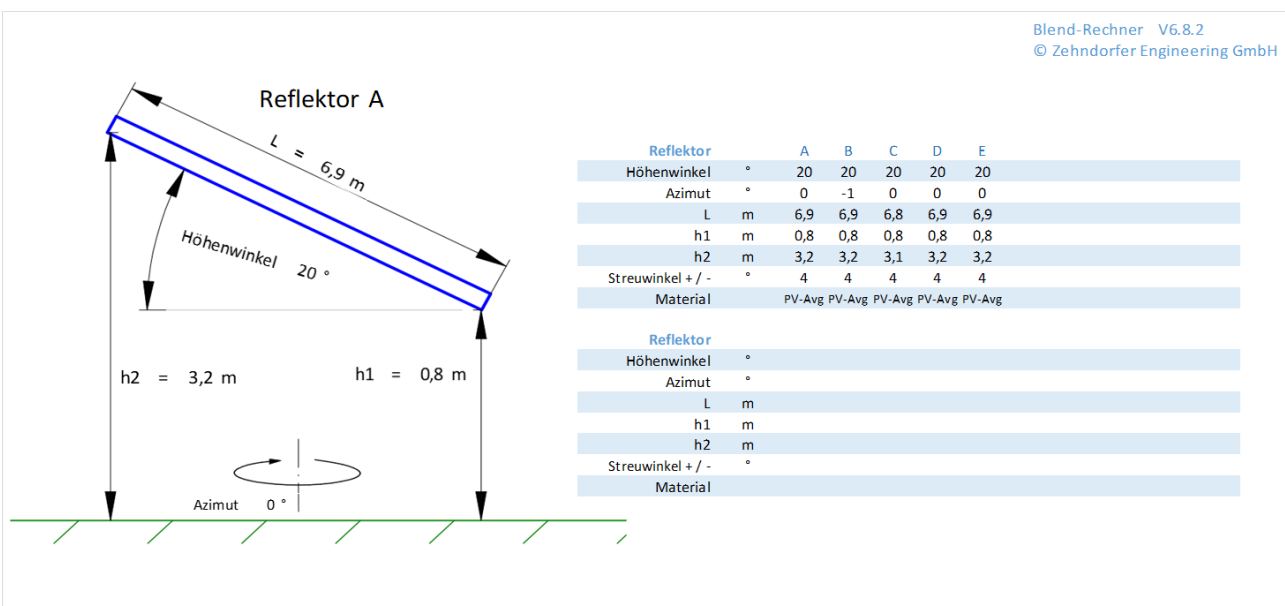


Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum¹. Die Module sind in Richtung - Süden mit 20° geneigt aufgeständert. Sie sind auf dreireihigen Modultischen, hochkant, mit der Oberkante

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.

bei ca. 3,2 m angeordnet. 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 A2 in beiden Richtungen (2,5m über der Fahrbahn), sowie an den Gebäuden der Raststation (Höchste Punkte).

Abbildung 6 Immissionpunkte

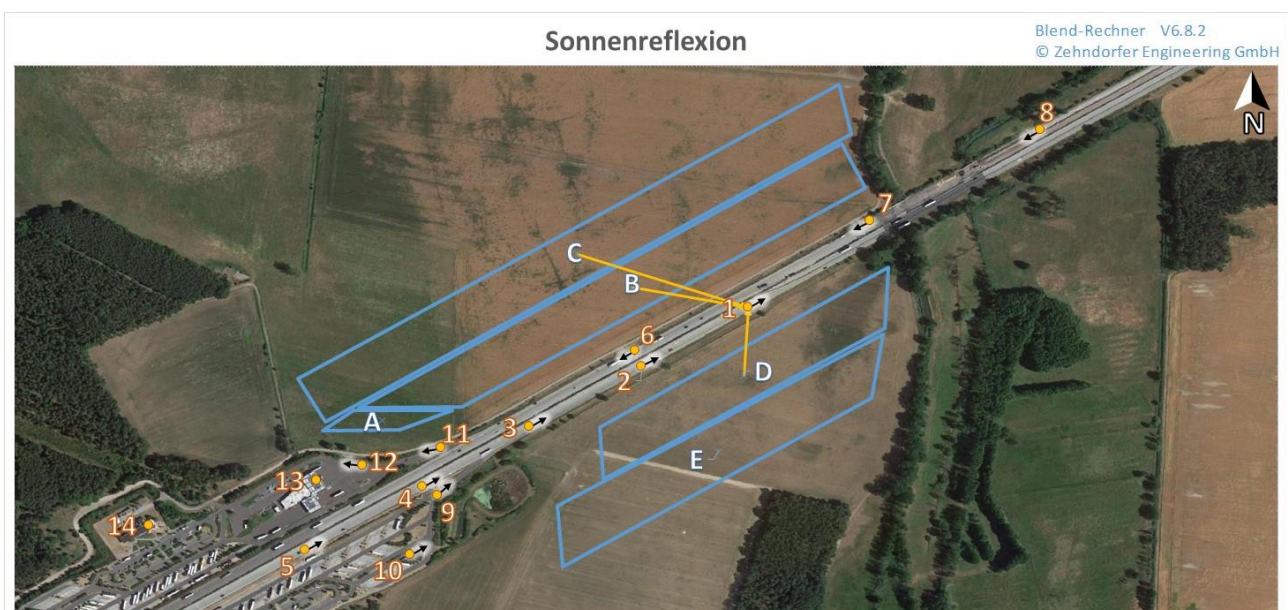


Abbildung 6 und zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und des PV-Feldes. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss.

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.

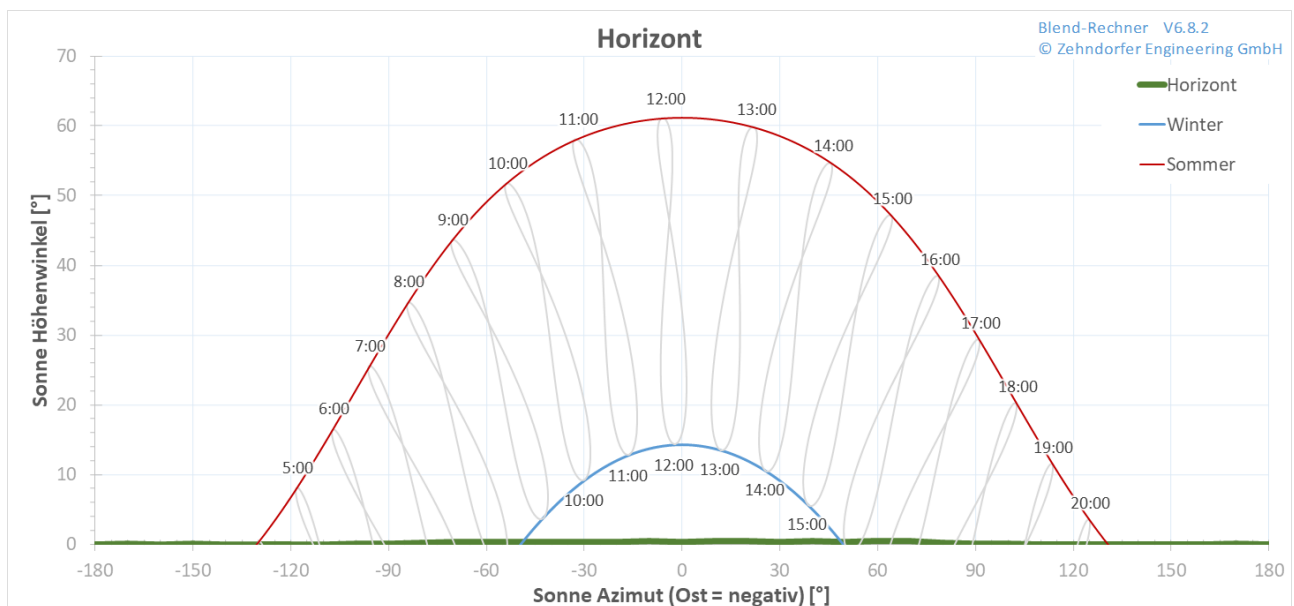
Abbildung 7 Gelände-schummerung



1.4.2 Horizont

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

Abbildung 8 Horizont



1.4.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und den IP stehen vereinzelt Bäume, die jedoch keine vollständig abschattende Wirkung haben. Die Blendberechnung wurde ohne die Wirkung von eventuellem Bewuchs durchgeführt.

1.4.4 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

2.2 Reflexionsberechnung

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

Abbildung 9 Reflexion der Solar Anlage zum IP4

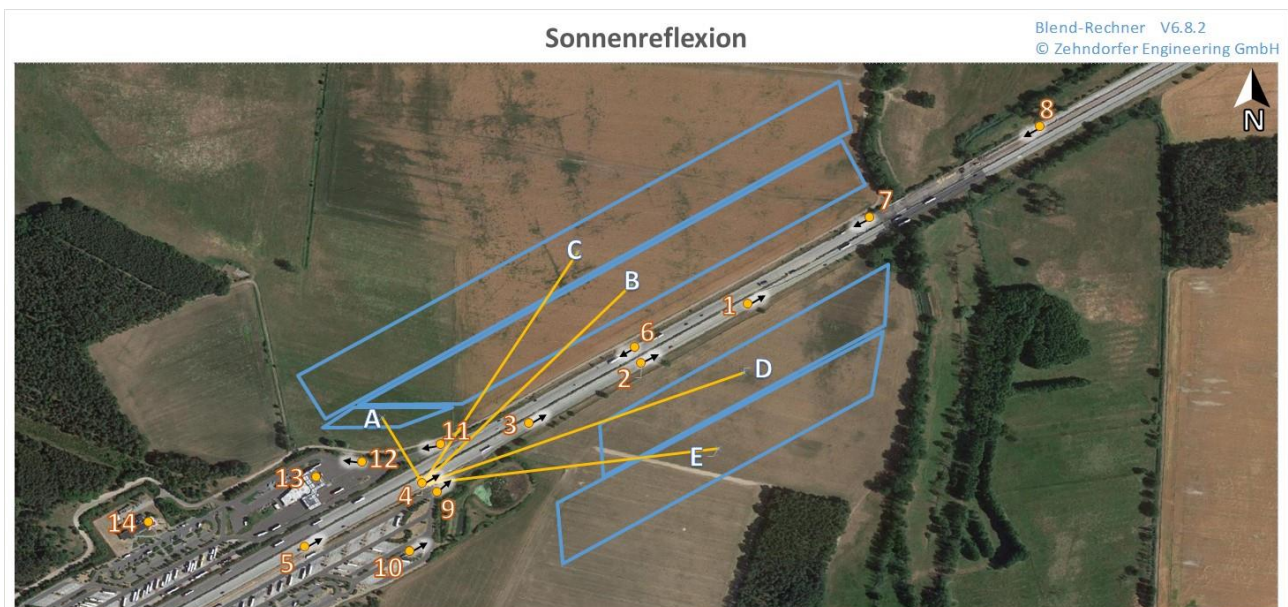
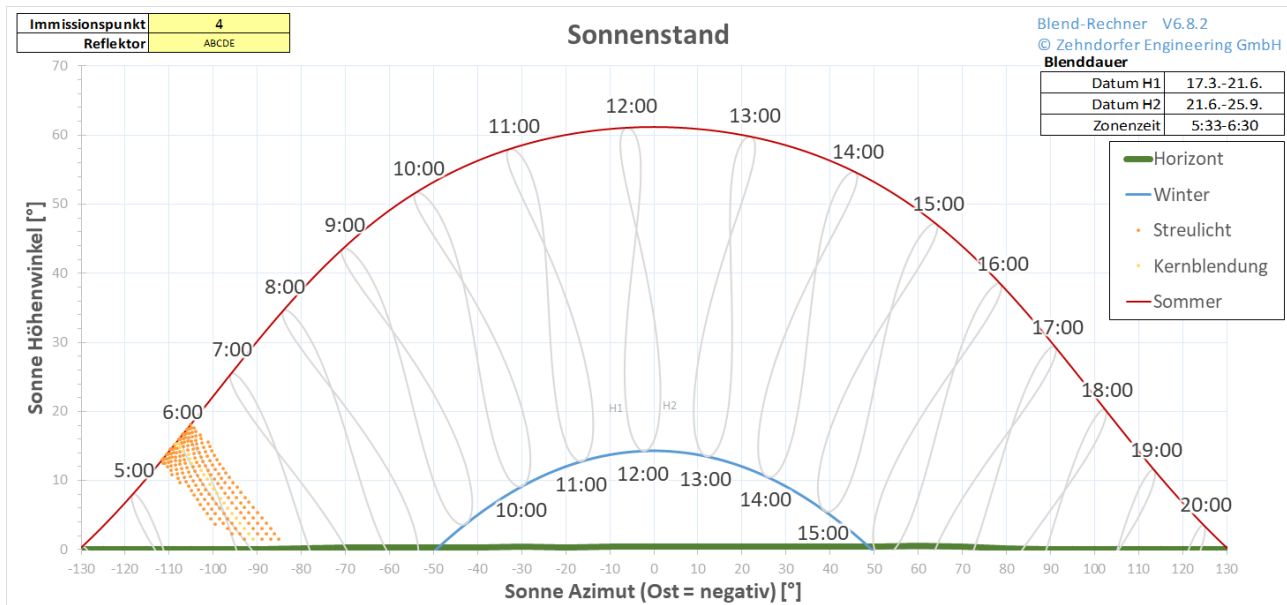


Abbildung 9 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 10 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 10 Sonnenwinkel bei Blendung am IP 4



Am IP 4 ist also morgens 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		ABCDE
Immissionspunkt		4
Distanz	m	92
Höhenwinkel	°	-1
Raumwinkel	msr	51
Datum H1		17.3.-21.6.
Datum H2		21.6.-25.9.
Zeit		5:33-6:30
Kernblendung	min / Tag	5
Kernblendung	h / Jahr	5
Streulicht	min / Tag	40
Streulicht	h / Jahr	45
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	10
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-98
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	24
Blendung - Blickwinkel (min)	°	7
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	6 313
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	45
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	5 886

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 11 Blickfeld am IP 4

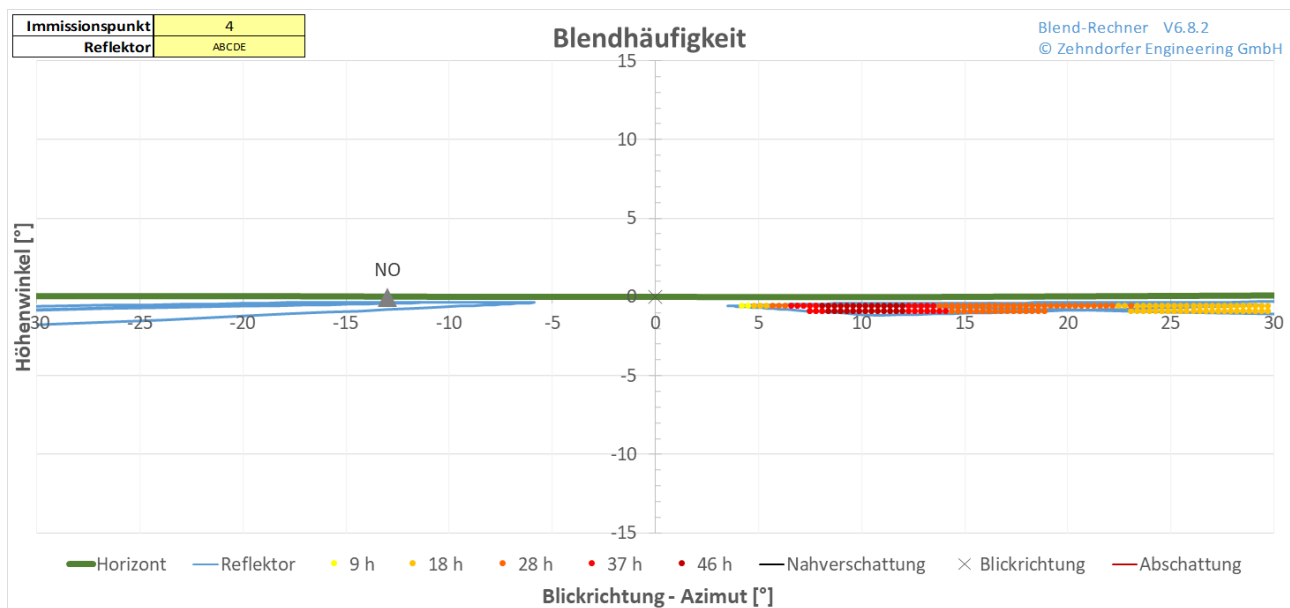


Abbildung 11 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr (inklusive Streublendung) farblich dargestellt. Alle weiteren Ansichten sind in Anhang 5 zu sehen.

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 4 (51 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-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.

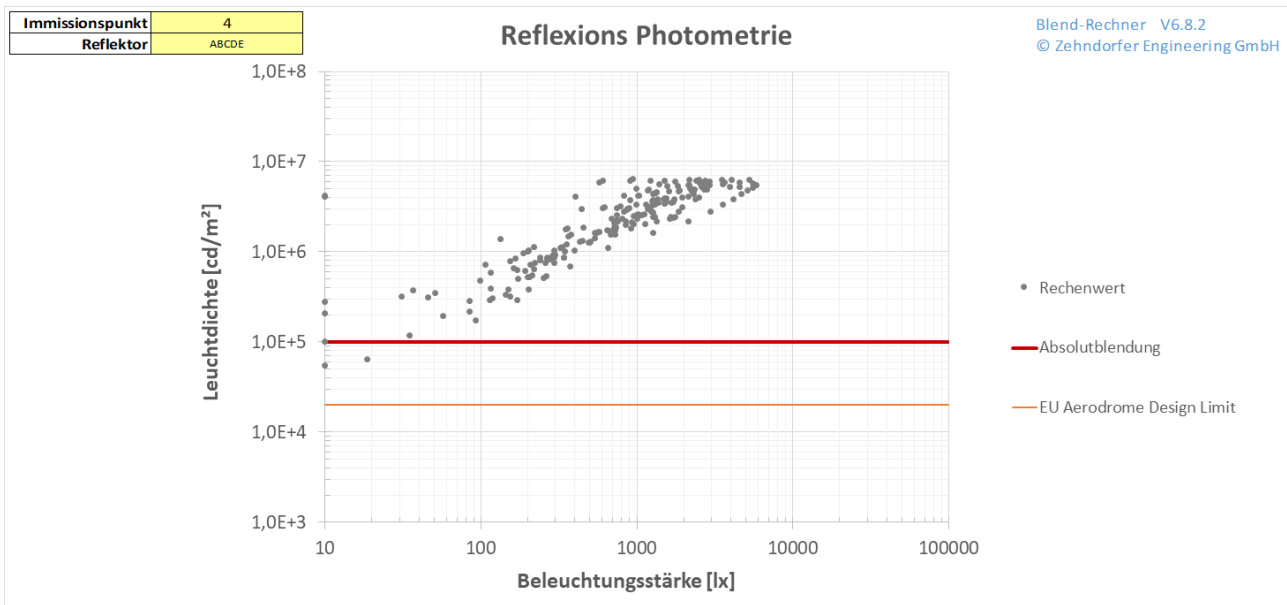
2.5.3 Blendstärke

Die Solar-Module haben bei rechtwinklig auf die Oberfläche eintreffendem Licht relativ kleine Reflexionsfaktoren, weshalb dabei nur ein Teil des Sonnenlichts reflektiert wird. 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 $1,6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ 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). In der Richtlinie LAI-2012 wird davon ausgegangen, dass Leuchtdichten in dieser Größenordnung bei Sonnenreflexionen immer erreicht werden. Die 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 Grenzen 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 12 Stärke der Reflexionen



Die Berechnung der Leuchtdichte in Abbildung 12 zeigt, dass bei einigen Sonnenständen Absolutblendung erreicht wird.

2.5.4 Blenddauer

Abbildung 13 Blenddauer am IP 4

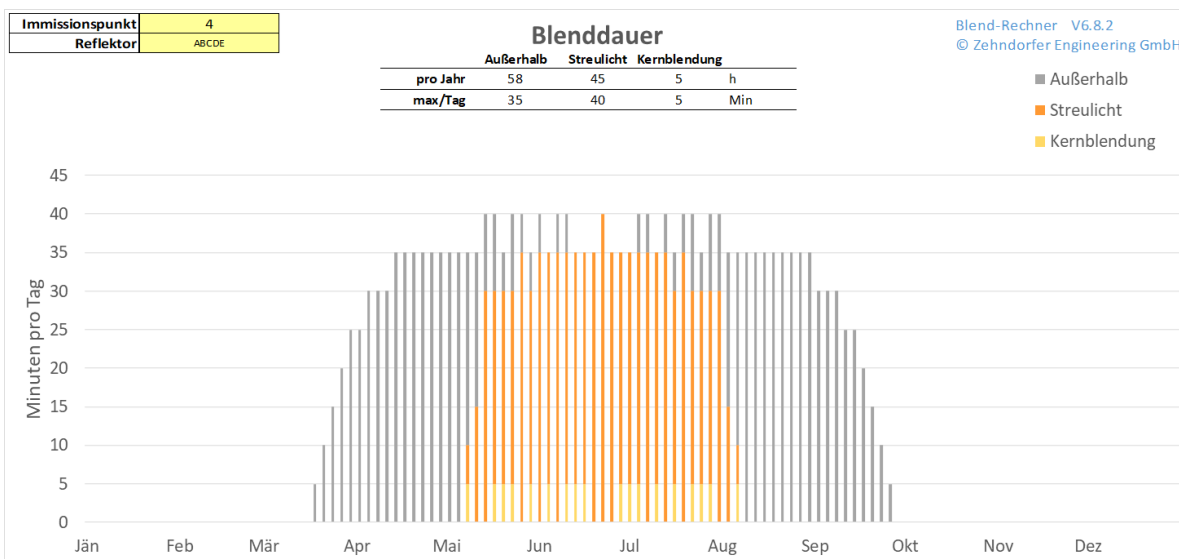


Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

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 Subjektive Faktoren

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

Dies ist bei den Nachbarn nicht der Fall. Allerdings liegen die reflektierenden Flächen so nahe und großflächig vor den Fenstern einiger Nachbarn, dass beim Blick aus dem Fenster dieser unweigerlich auf die Reflexionen trifft.

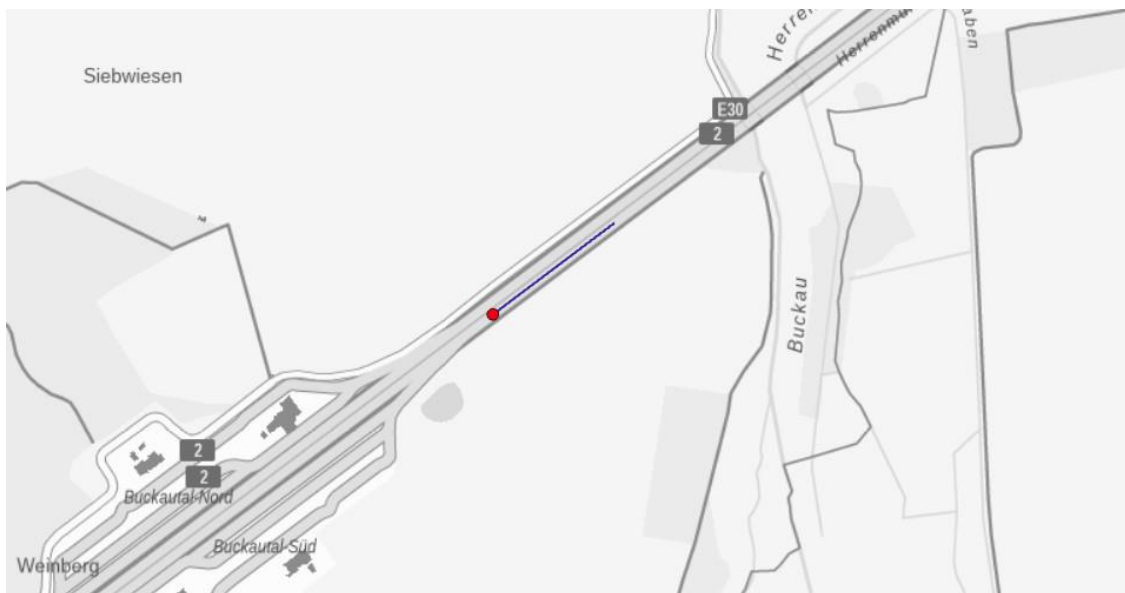
Bei Fahrzeuglenkern kann der Blick in Richtung der Reflexionen notwendig sein, falls diese in Fahrtrichtung liegen.

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 14 Unfälle 2020



Auf dem relevanten Straßenabschnitt wurden im Jahr 2020 ein Unfall gemeldet. Es liegt keine Stelle von Unfallhäufungen vor. Die Strecken entlang der Auf- und Abfahrten der Autobahn sind als kritisch zu bewerten.

3 Beurteilung & Empfehlungen

IP1 bis 8 (Autobahn)

Es wird zu Reflexionen in Richtung der IP kommen. Diese liegen an den IP 1 bis 5 auch im inneren Gesichtsfeld der Fahrzeuglenker. **Daher sind blendreduzierende Maßnahmen zu empfehlen.**

IP9 bis 12 (Auf und Abfahrten)

Am IP 10 (Parkplatzausfahrt) kann es zu Blendungen im inneren Gesichtsfeld kommen. **Daher sind blendreduzierende Maßnahmen zu empfehlen.**

IP 13 und 14 (Gebäude der Raststation)

Es wird zu Reflexionen in Richtung der Gebäude kommen. Die Dauer der direkt spiegelnden Kernblendung liegt jedoch immer unter den Grenzwerten der Richtlinie.

3.1 Blendreduzierende Maßnahmen

Als blendreduzierende Maßnahme ist die Verdrehung der Flächen E und D geeignet, sodass die PV-Module dort parallel zur Autobahn verlaufen.

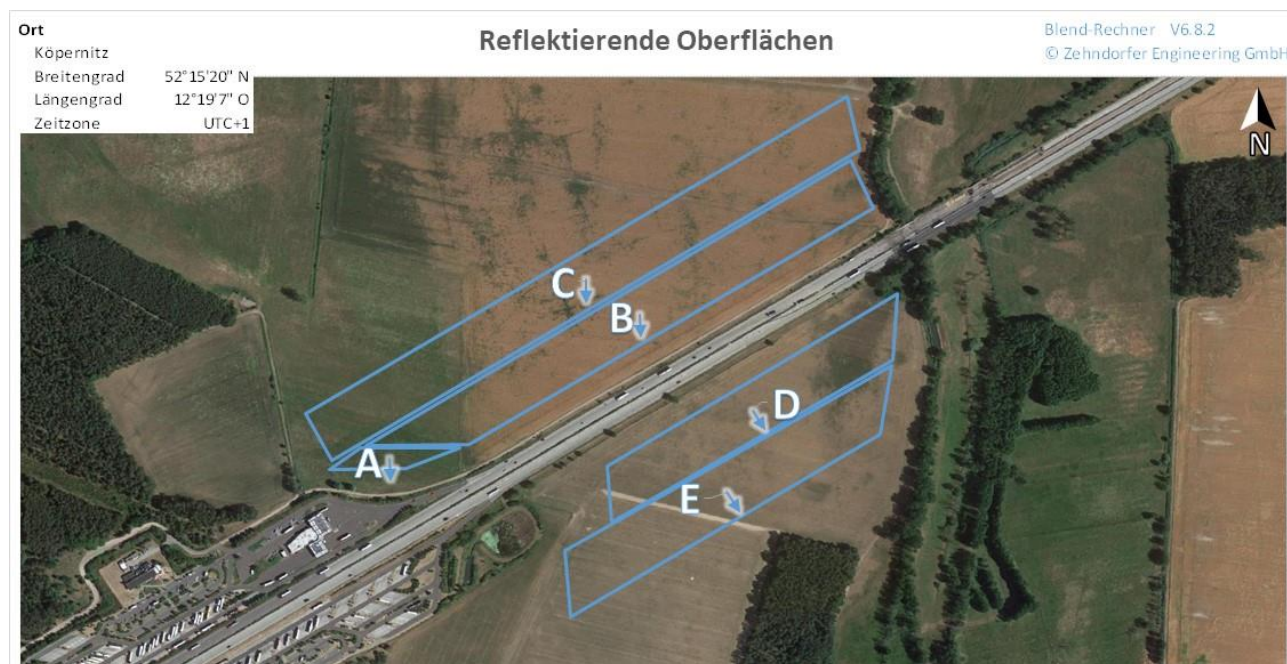
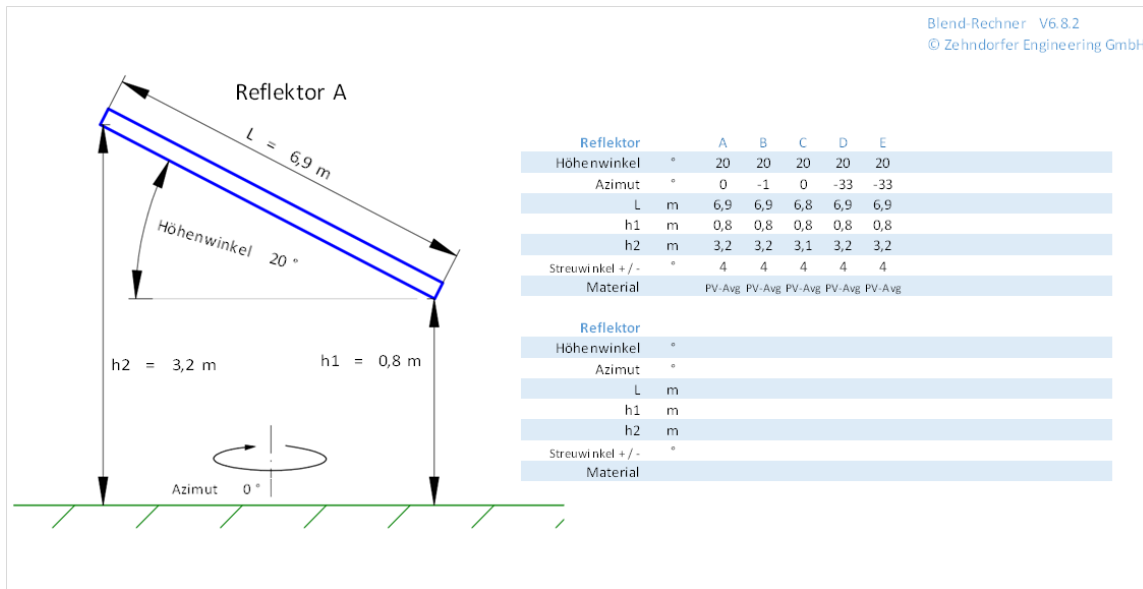


Abbildung 15 Verdrehte PV-Flächen (Detail)



3.2 Evaluierung der blendreduzierenden Maßnahmen

IP1 bis 8 (Autobahn)

Es wird zu Reflexionen in Richtung einiger der IP kommen. Diese liegen jedoch immer vollständig außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Fahrzeuglenker und stellen daher keine Gefahr für den Fahrzeugverkehr dar.

IP9 bis 12 (Auf und Abfahrten)

Es wird zu Reflexionen in Richtung der IP kommen. Diese liegen nur am IP10 noch zum Teil im inneren Gesichtsfeld der Fahrzeuglenker. Die Sonne steht zu diesem Zeitpunkt jedoch in einer ähnlichen Richtung (max. 11° Abweichung) und überstrahlt die Reflexionen daher.

IP 13 und 14 (Gebäude der Raststation)

Es wird zu Reflexionen in Richtung der Gebäude kommen. Die Dauer der direkt spiegelnden Kernblendung liegt jedoch immer unter den Grenzwerten der Richtlinie.

Mit den blendreduzierenden Maßnahmen wird also keine gefährliche Blendwirkung auf den Straßenverkehr stattfinden.

Datum: 3.11.2021

Gutachter:

Zehndorfer Engineering
 +43 (680) 244 3310 Zehndorfer Engineering GmbH
 office@zehndorfer.at Stift-Viktring-Straße 21/6
 www.zehndorfer.at 9073 Klagenfurt
 FN 518736k Austria
 UID-ATU74524829

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

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 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	316 419	316 521	316 591	316 460	316 467	316 604	317 140	317 108	316 387	316 422	317 121	317 104
y	792 654	792 655	792 686	792 686	792 689	792 690	793 025	793 092	792 733	792 667	793 107	793 183
z	58	58	57	58	58	57	55	55	57	58	55	55
h	0,8	0,8	3,2	3,2	0,8	0,8	3,2	3,2	0,8	0,8	3,2	3,2

Reflektor Eckpunkt	D				E			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	317 170	316 787	316 792	317 165	317 162	316 730	316 738	317 148
y	792 904	792 659	792 580	792 810	792 801	792 539	792 446	792 704
z	55	57	57	55	55	58	59	56
h	0,8	0,8	3,2	3,2	0,8	0,8	3,2	3,2

mit den folgenden Winkeln der reflektierenden Flächen

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	20	0	1	-167	20	0
B	20	0	0	-106	20	-1
C	20	0	0	179	20	0
D	20	0	0	-155	20	0
E	20	0	1	-175	20	0

Für diese Berechnung wurden folgende Immissionspunkte betrachtet

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bezeichnung	IP1	IP2	IP3	IP4	IP5	IP6	IP7	IP8	IP9	IP10	IP11
x	316 985	316 842	316 694	316 552	316 397	316 835	317 146	317 372	316 572	316 536	316 577
y	792 842	792 752	792 659	792 568	792 471	792 777	792 974	793 113	792 555	792 464	792 627
z	56	57	57	60	66	57	56	55	60	62	59
h	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Blickrichtung - Az	-122	-122	-122	-122	-122	58	58	58	-137	-122	77

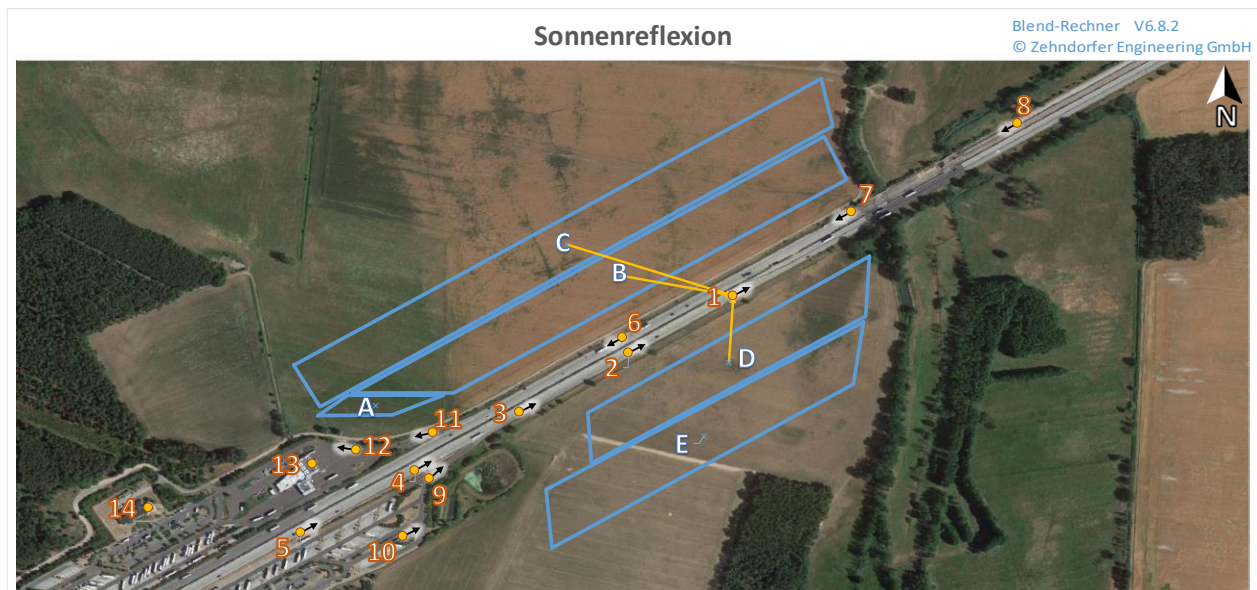
Immissionspunkt	12	13	14
Bezeichnung	IP12	IP13	IP14
x	316 472	316 412	316 189
y	792 600	792 578	792 510
z	61	63	67
h	2,5	2,0	5,0
Blickrichtung - Az	99		

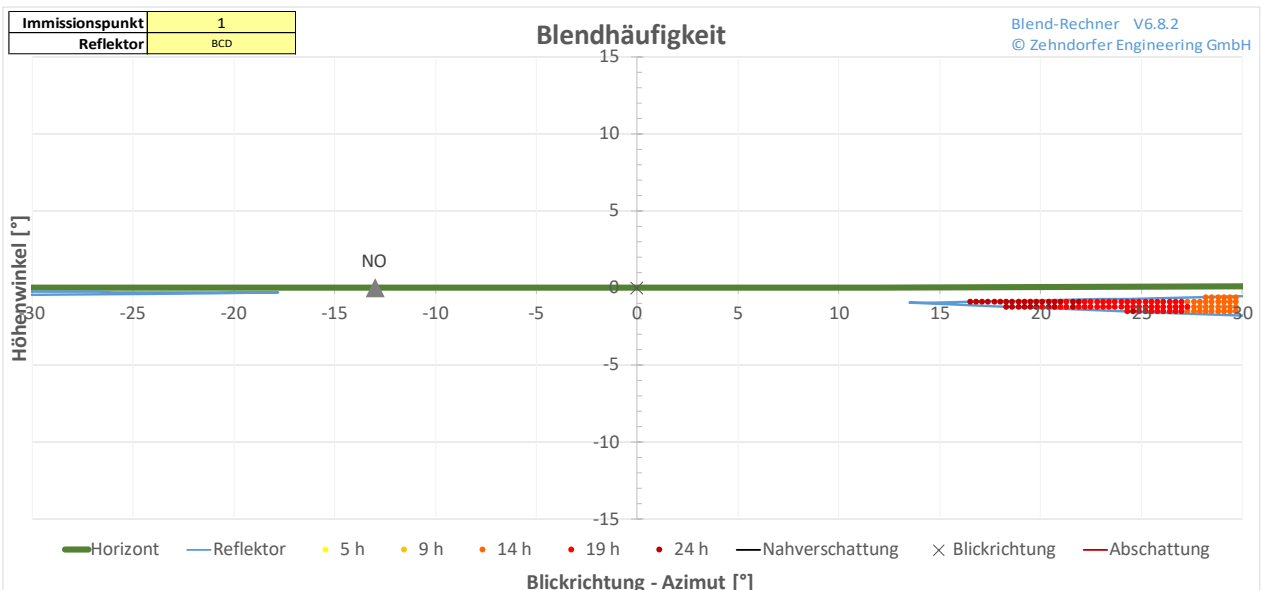
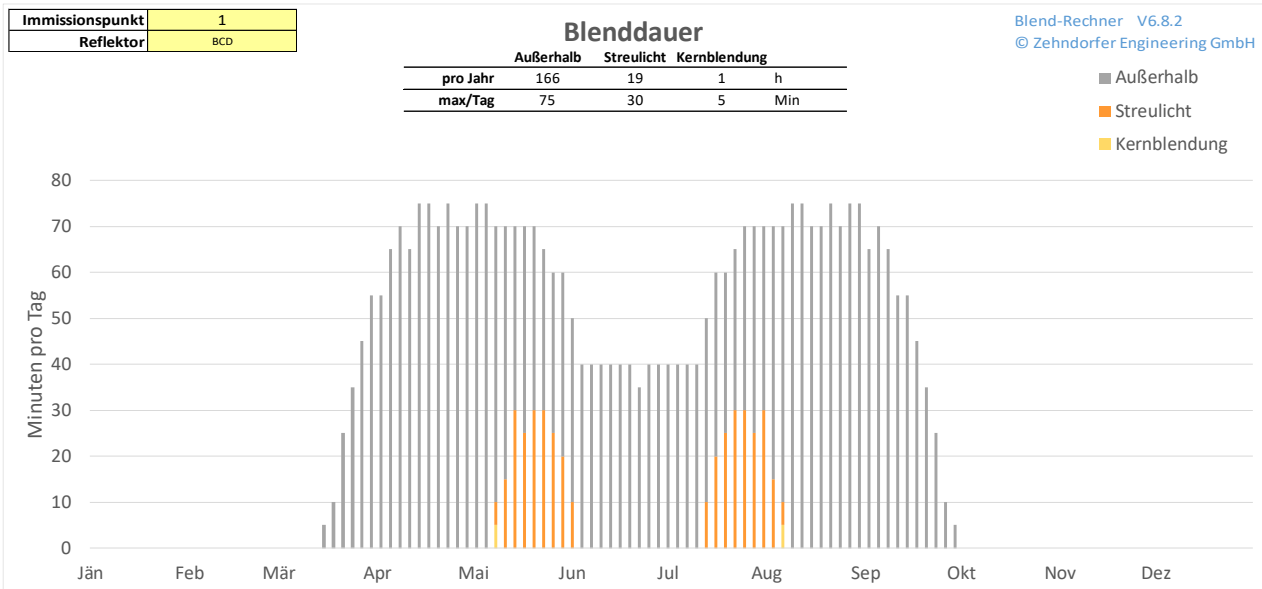
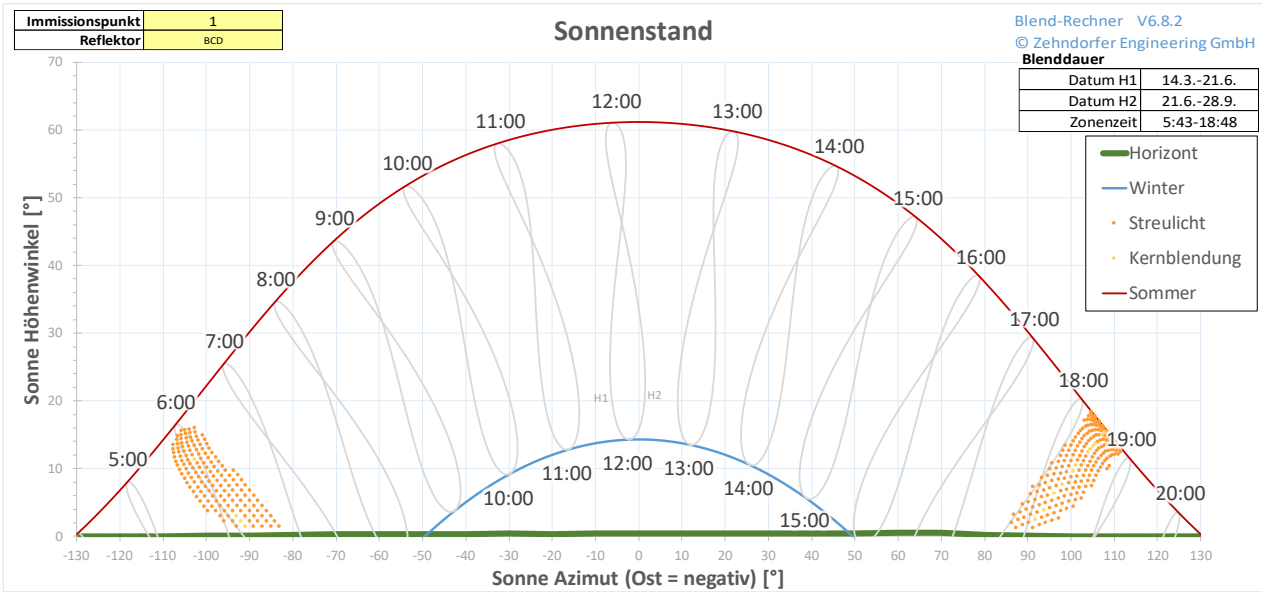
ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

Reflektor		BCD	BCD	BCDE	ABCDE	ABCDE	ABCDE	BCDE	BCDE	ABCDE
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Distanz	m	48	49	74	92	185	49	47	249	112
Höhenwinkel	°	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1
Raumwinkel	msr	124	117	63	51	22	109	40	0	42
Datum H1		14.3.-21.6.	17.3.-21.6.	17.3.-21.6.	17.3.-21.6.	17.3.-21.6.	17.3.-21.6.	20.3.-21.6.	-	17.3.-21.6.
Datum H2		21.6.-28.9.	21.6.-25.9.	21.6.-25.9.	21.6.-25.9.	21.6.-25.9.	21.6.-25.9.	21.6.-22.9.	-	21.6.-25.9.
Zeit		5:43-18:48	5:34-18:48	5:33-18:46	5:33-6:30	5:34-6:30	5:37-18:48	17:52-18:49	-	5:33-6:30
Kernblendung	min / Tag	5	5	5	5	5	0	0	0	0
Kernblendung	h / Jahr	1	1	1	5	3	0	0	0	0
Streulicht	min / Tag	30	35	35	40	40	0	0	0	0
Streulicht	h / Jahr	19	46	36	45	48	0	0	0	0
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	10	10	10	10	10	10	10	-	10
Sonnen Azimut (Mittel)	°	2	0	0	-98	-98	1	99	-	-98
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	24	25	25	24	25	25	25	-	24
Blendung - Blickwinkel (min)	°	14	7	7	7	7	29	31	-	22
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	6 396	6 384	6 422	6 313	6 149	6 384	6 450	0	6 318
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	46	46	47	45	22	46	47	0	45
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	3 494	3 494	4 479	5 886	5 151	4 695	4 133	0	5 886

Reflektor		DE	A	A	ABCDE	ABCDE
Immissionspunkt		10	11	12	13	14
Distanz	m	191	48	55	77	272
Höhenwinkel	°	-1	0	-1	-1	-1
Raumwinkel	msr	6	40	70	42	15
Datum H1		20.3.-21.6.	7.4.-21.6.	-	20.3.-21.6.	17.3.-21.6.
Datum H2		21.6.-22.9.	21.6.-4.9.	-	21.6.-22.9.	21.6.-25.9.
Zeit		5:34-6:28	17:58-18:46	-	5:34-6:28	5:37-6:30
Kernblendung	min / Tag	5	0	0	5	5
Kernblendung	h / Jahr	7	0	0	2	2
Streulicht	min / Tag	40	0	0	35	40
Streulicht	h / Jahr	48	0	0	62	68
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	10	11	-	10	10
Sonnen Azimut (Mittel)	°	-99	102	-	-99	-98
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	25	27	-	23	26
Blendung - Blickwinkel (min)	°	7	23	-	2	1
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	6 272	6 337	0	6 214	5 988
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	43	46	0	24	22
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	5 850	8 010	0	5 025	3 177

Es folgt ein Auszug der Ergebnisse einiger Punkte, an denen Reflexionen auftreten können.

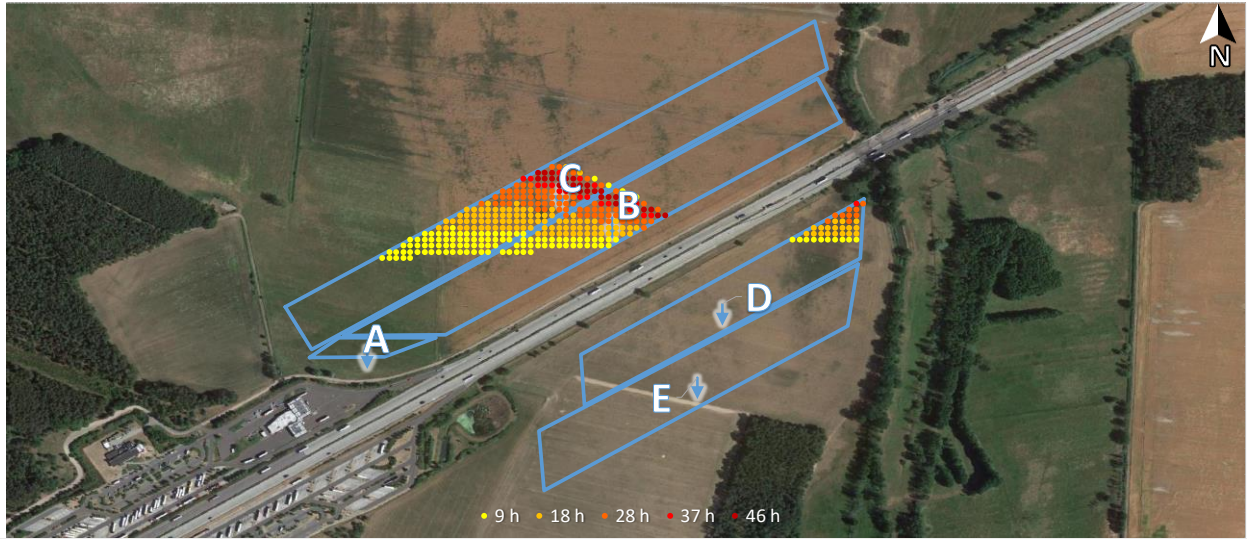




Immissionspunkt	1
Reflektor	BCD

Blendhäufigkeit

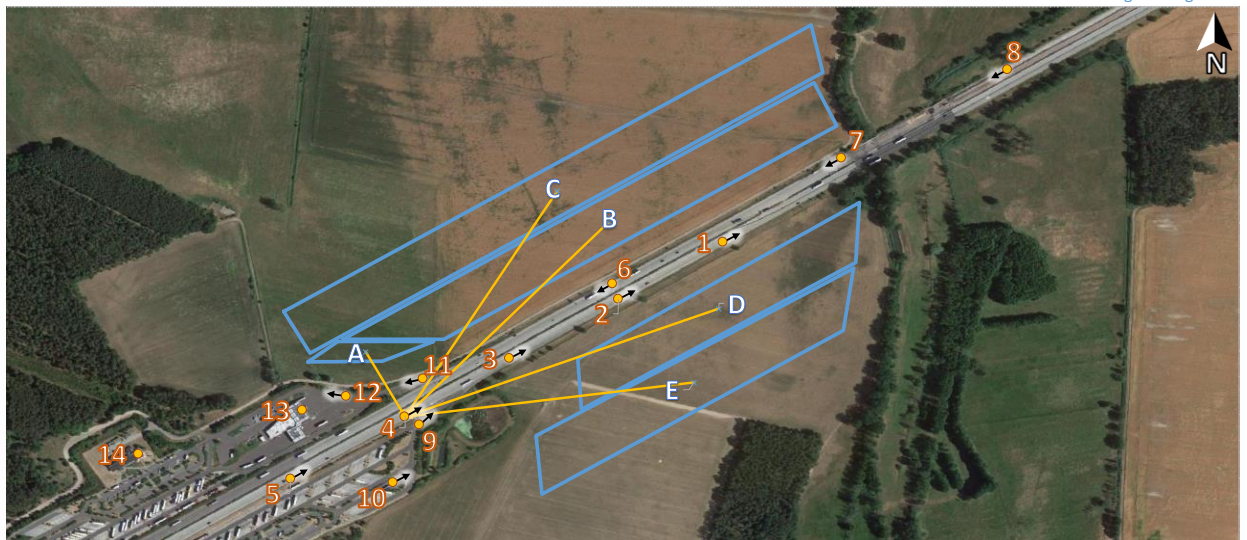
Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	4
Reflektor	ABCDE

Sonnenreflexion

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

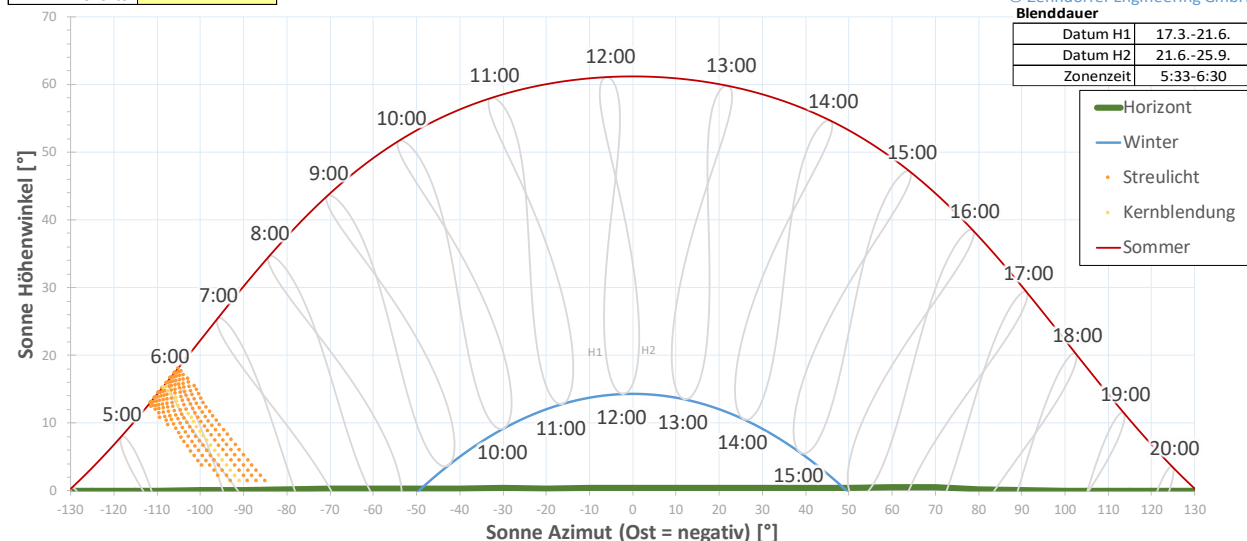


Immissionspunkt	4
Reflektor	ABCDE

Sonnenstand

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH
Blenddauer

Datum H1	17.3.-21.6.
Datum H2	21.6.-25.9.
Zonenzeit	5:33-6:30



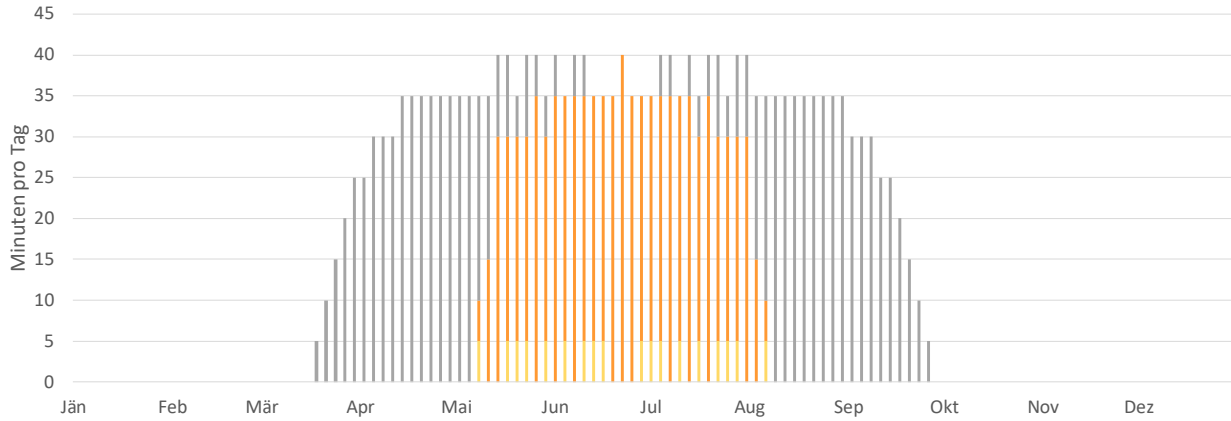
Immissionspunkt	4
Reflektor	ABCDE

Blenddauer

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	58	45	5	h
max/Tag	35	40	5	Min

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

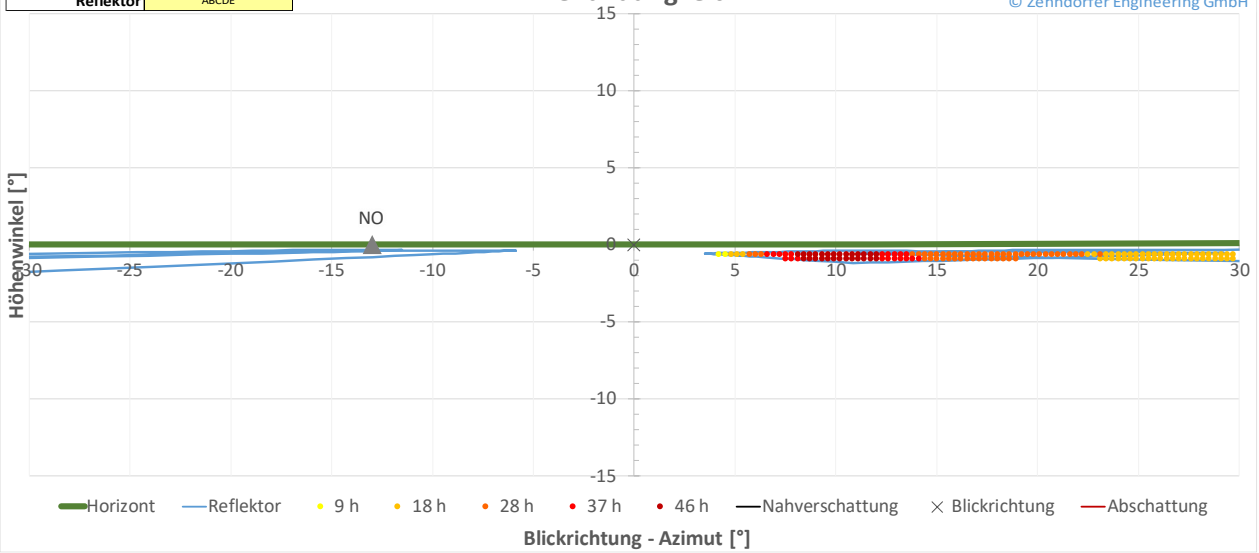
- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



Immissionspunkt	4
Reflektor	ABCDE

Blendhäufigkeit

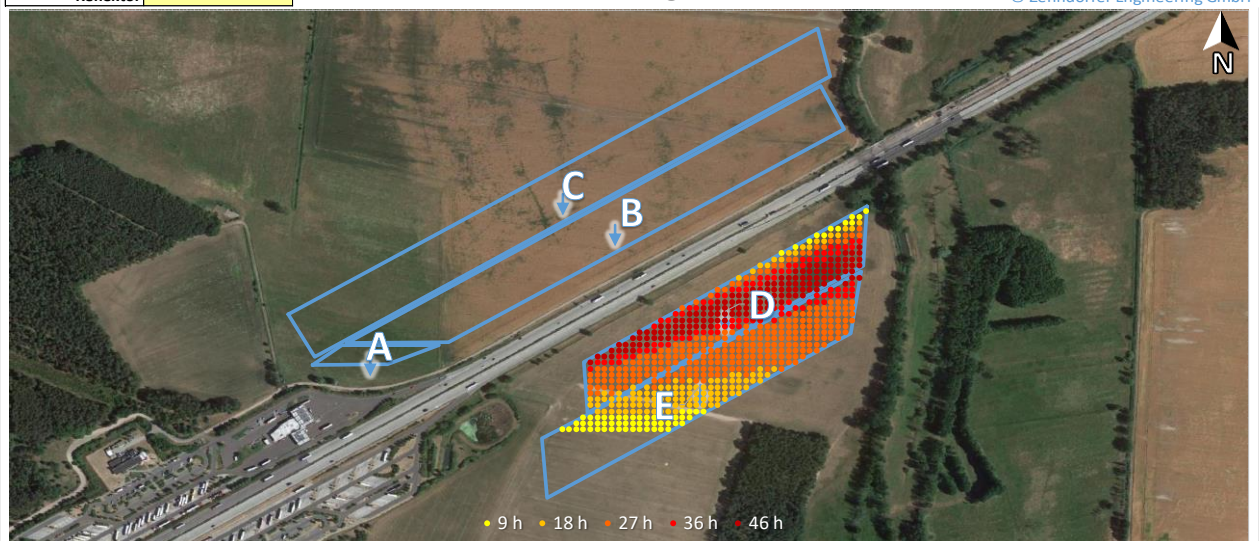
Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	4
Reflektor	ABCDE

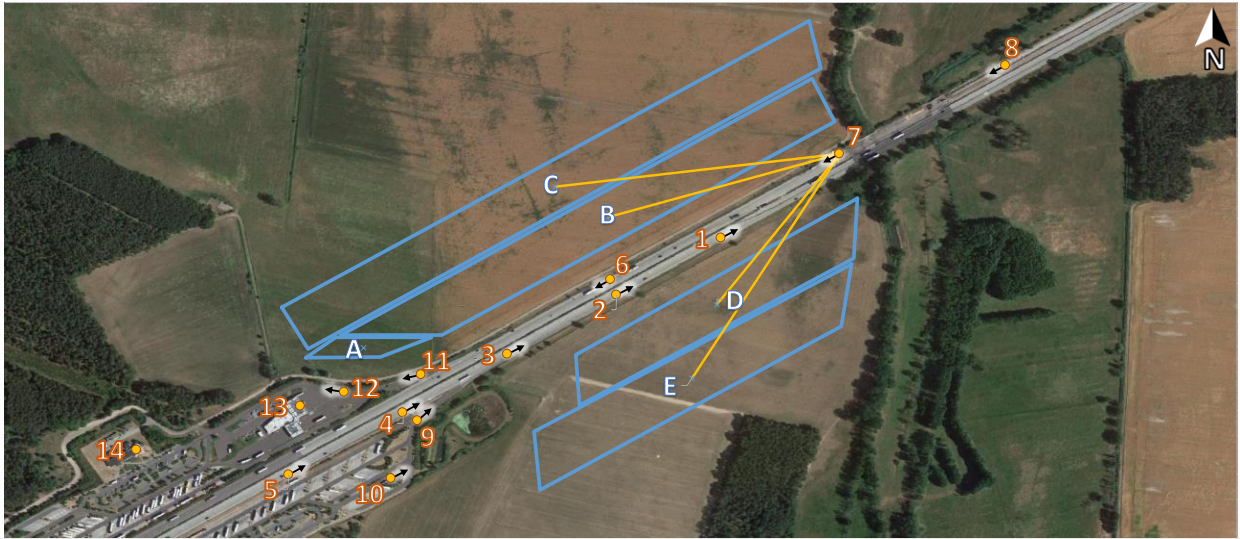
Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

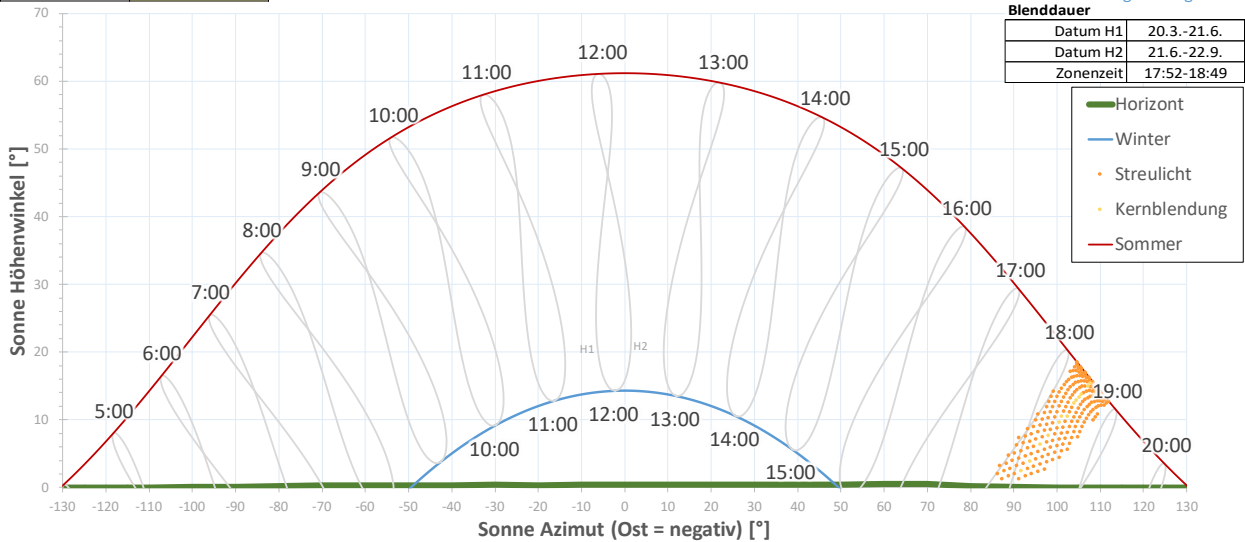
Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	7
Reflektor	BCDE

Sonnenstand

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Blenddauer

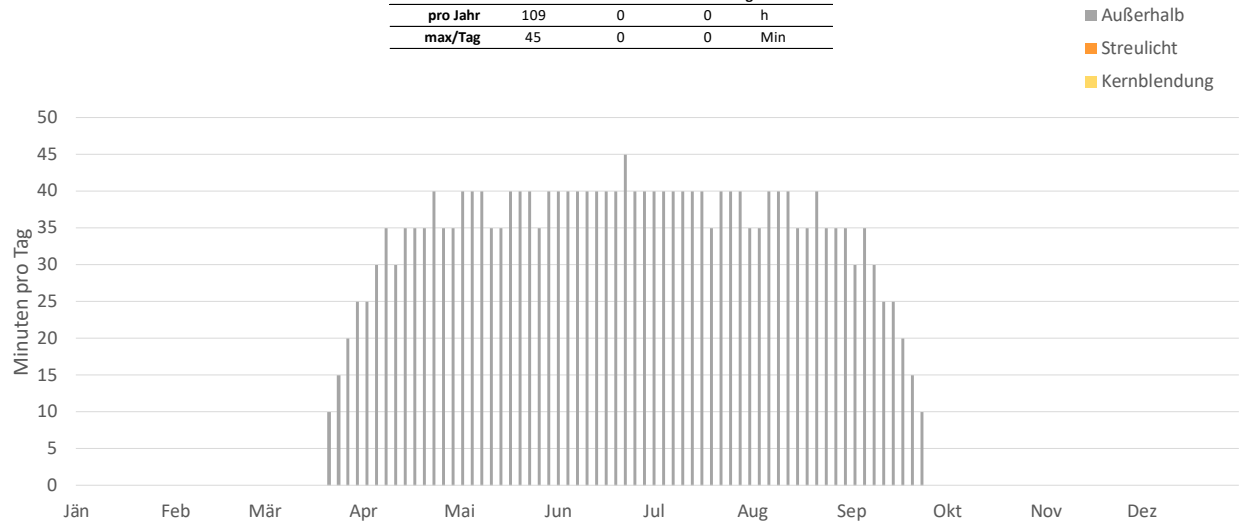
Datum H1	20.3.-21.6.
Datum H2	21.6.-22.9.
Zonenzeit	17:52-18:49

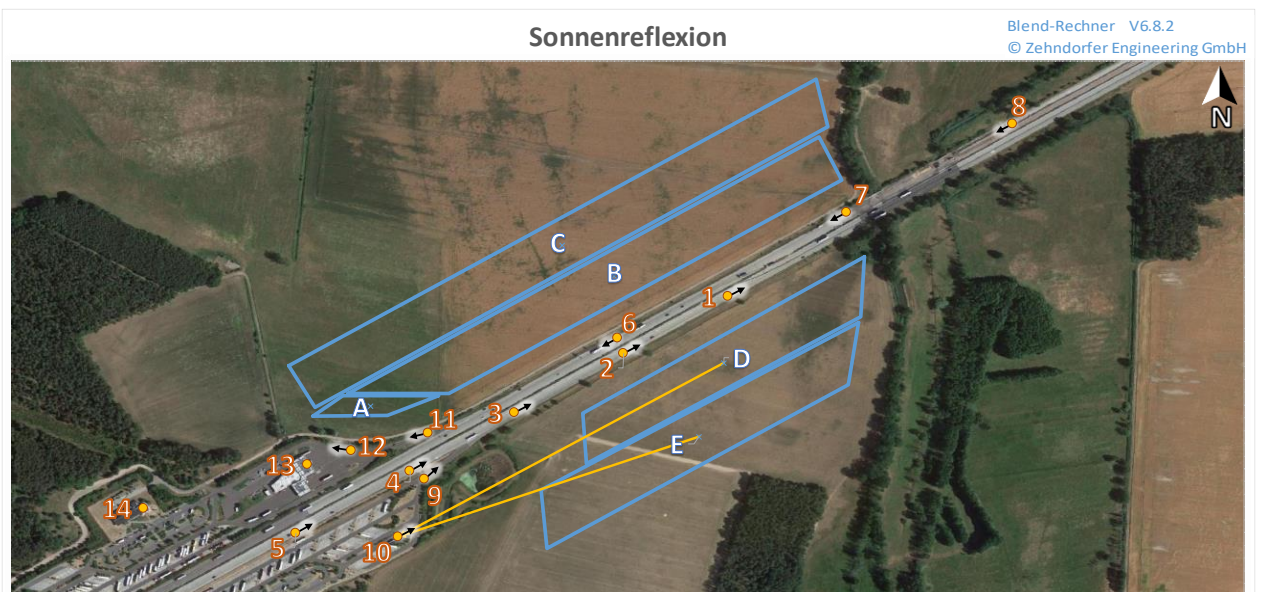
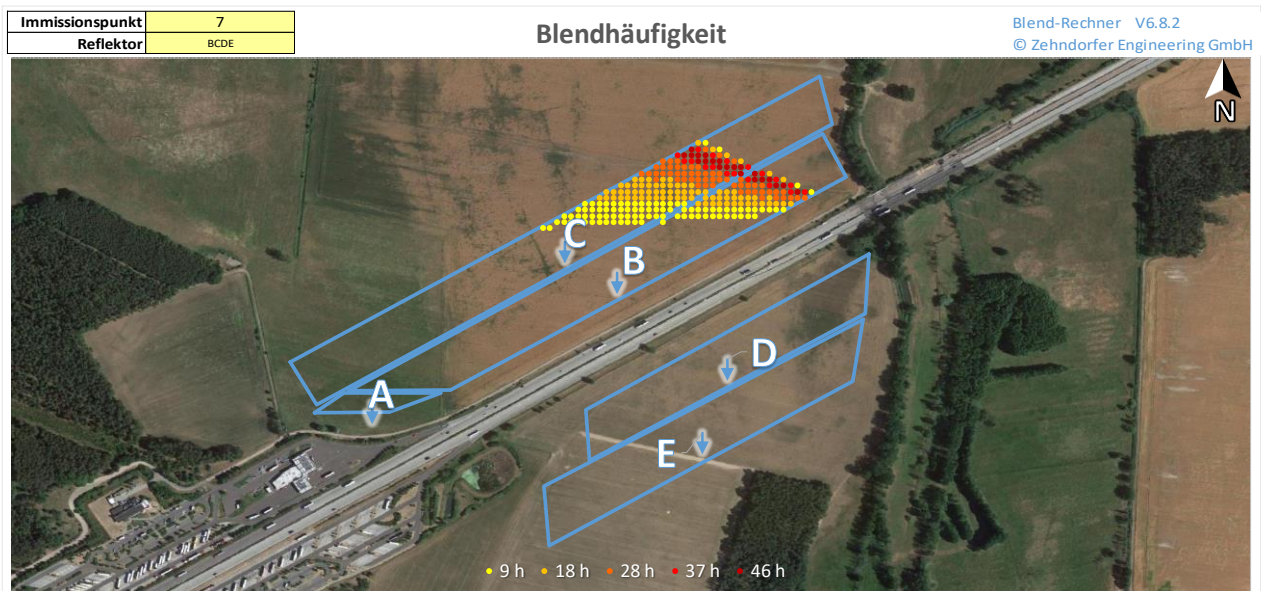
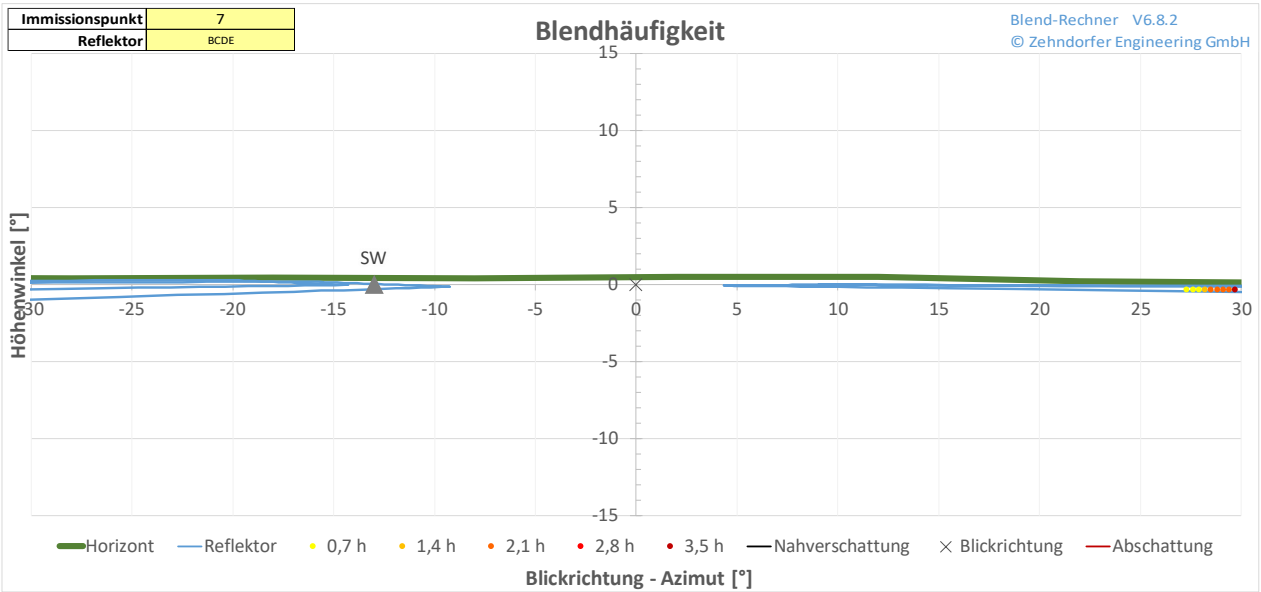
Immissionspunkt	7
Reflektor	BCDE

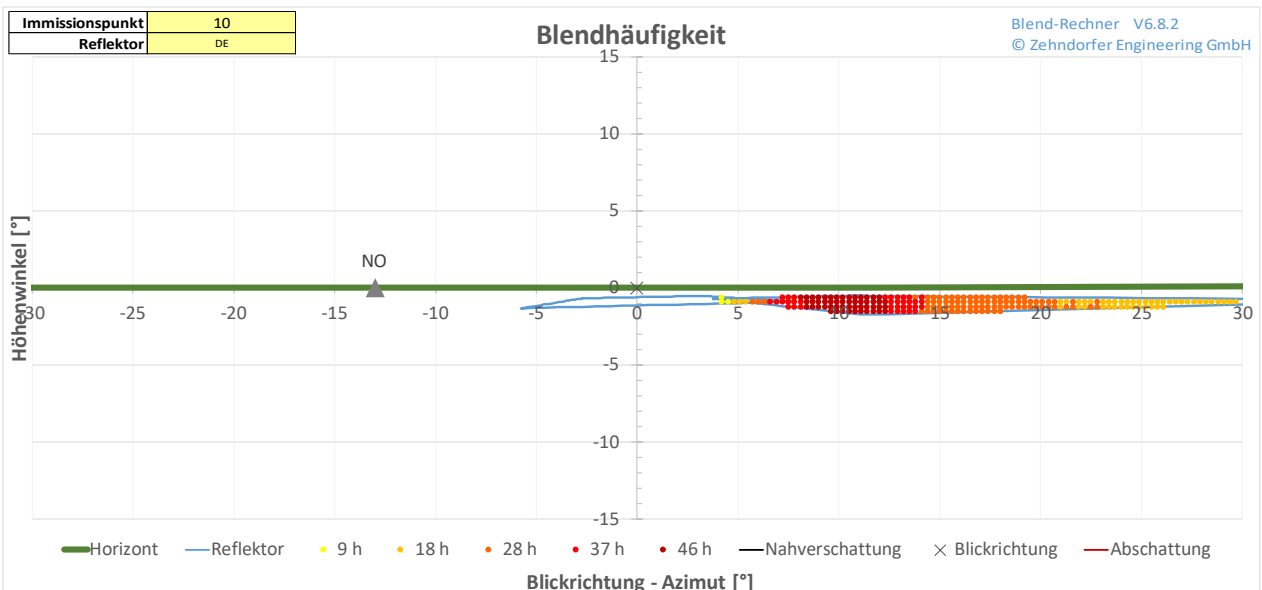
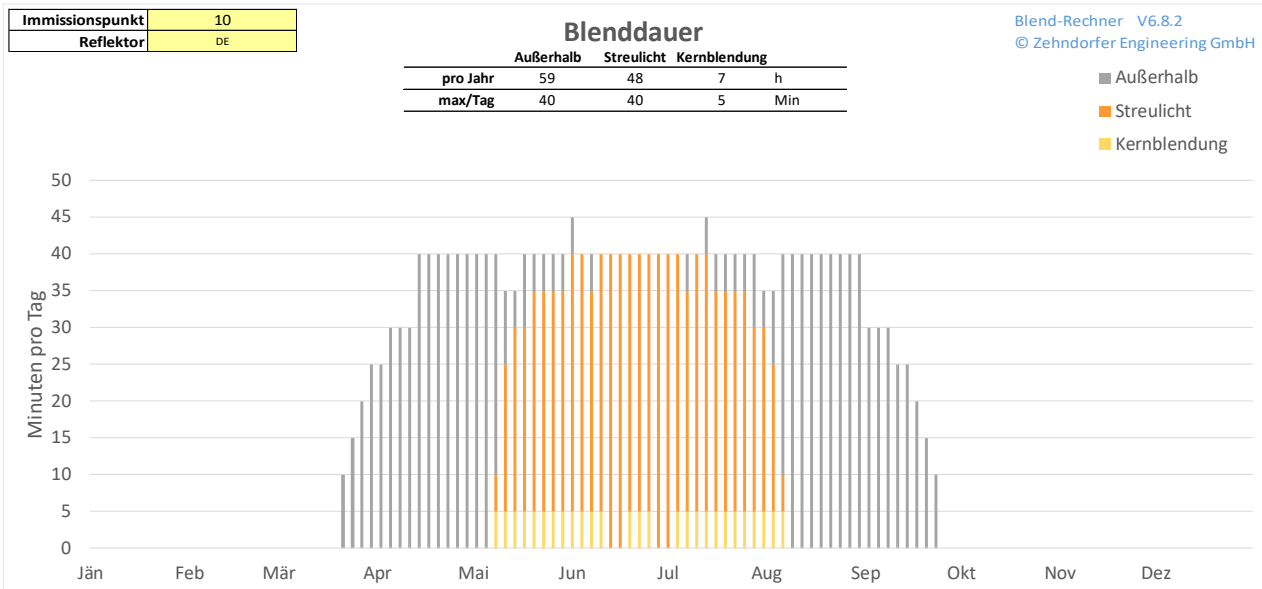
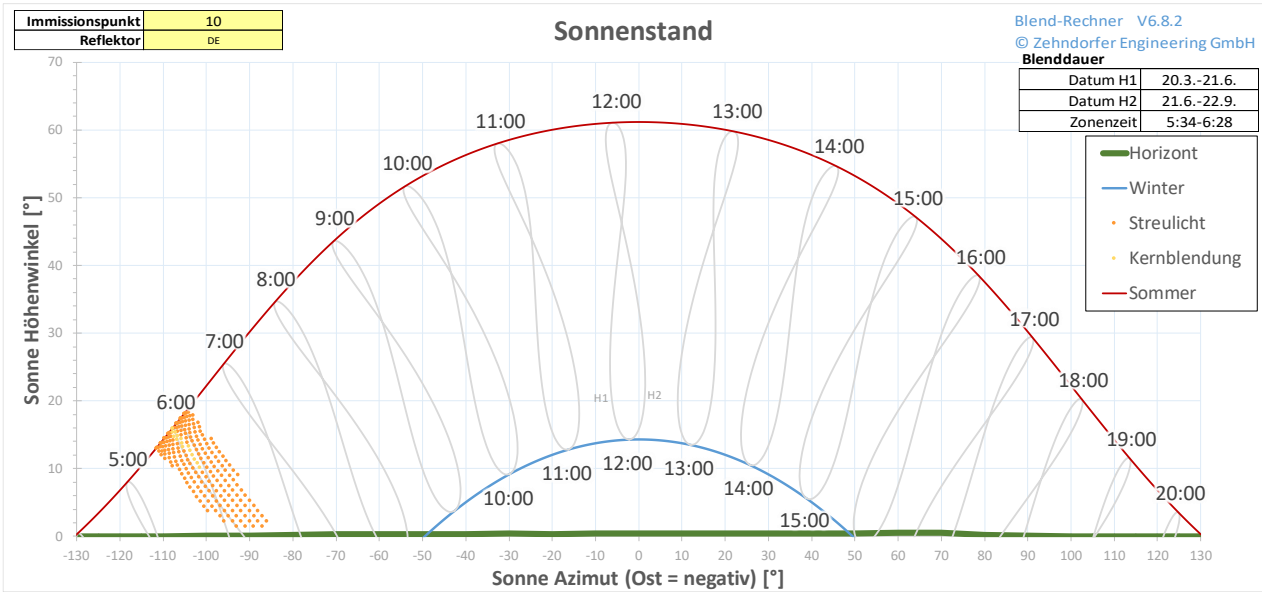
Blenddauer

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	109	0	0	h
max/Tag	45	0	0	Min



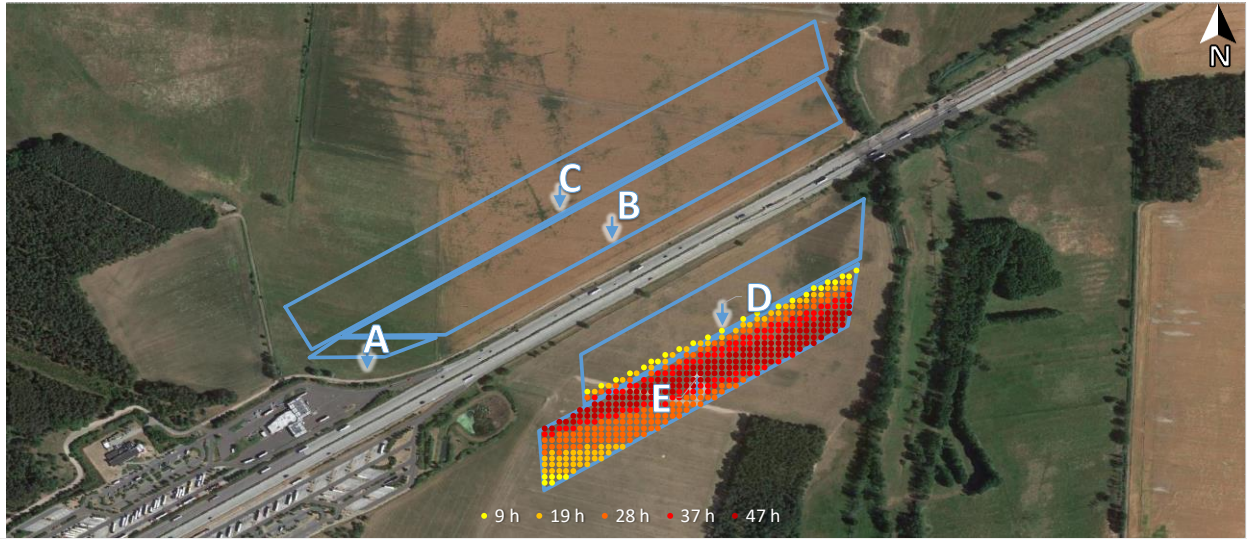




Immissionspunkt	10
Reflektor	DE

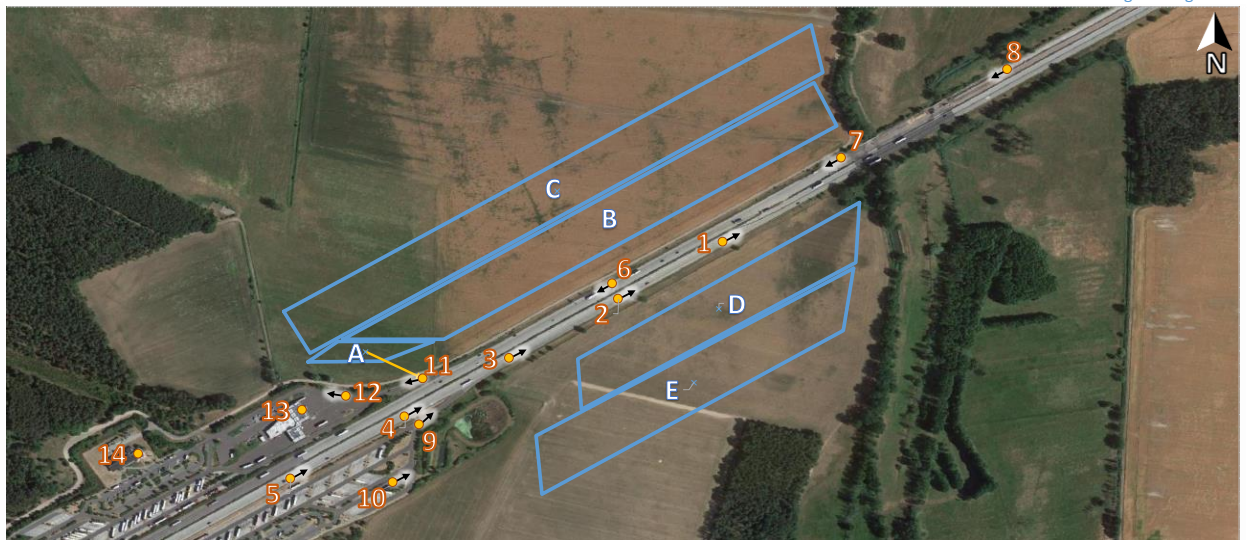
Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

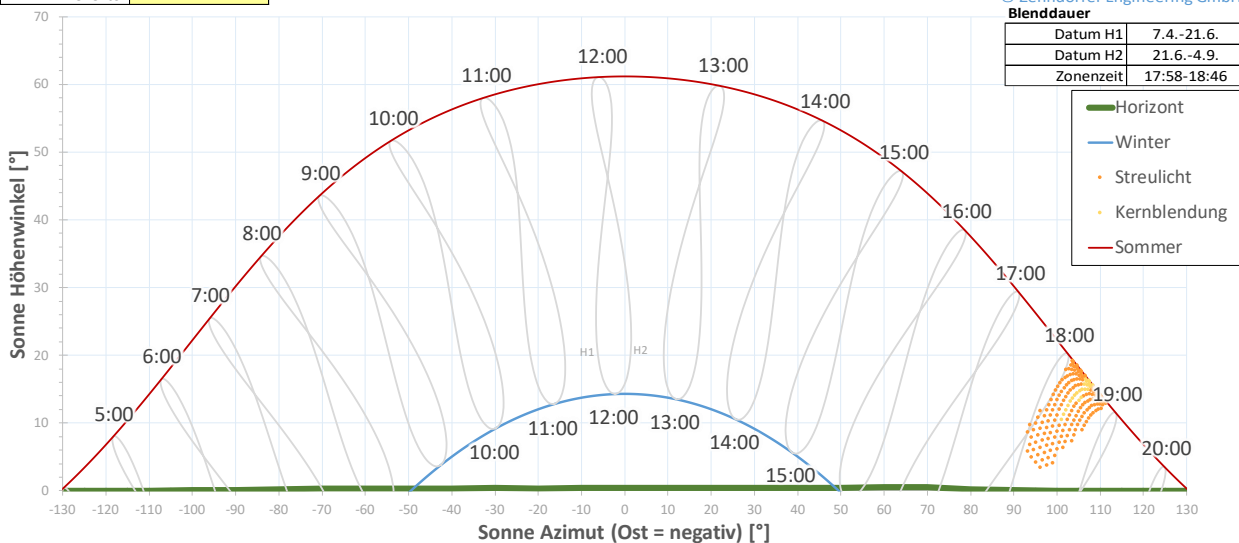


Immissionspunkt	11
Reflektor	A

Sonnenstand

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH
Blenddauer

Datum H1	7.4.-21.6.
Datum H2	21.6.-4.9.
Zonenzeit	17:58-18:46



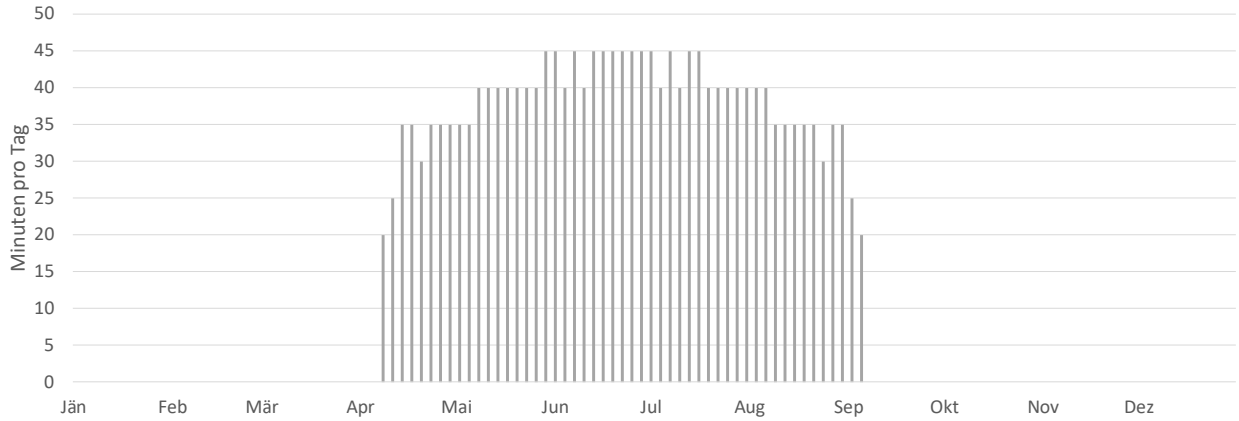
Immissionspunkt	11
Reflektor	A

Blenddauer

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	97	0	0	h
max/Tag	45	0	0	Min

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

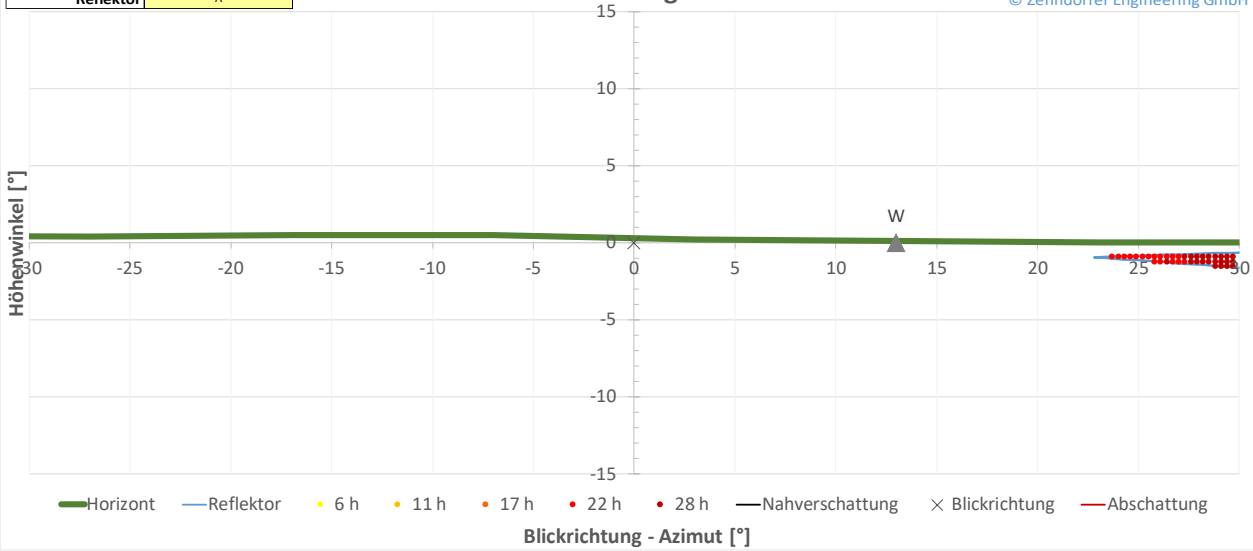
- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



Immissionspunkt	11
Reflektor	A

Blendhäufigkeit

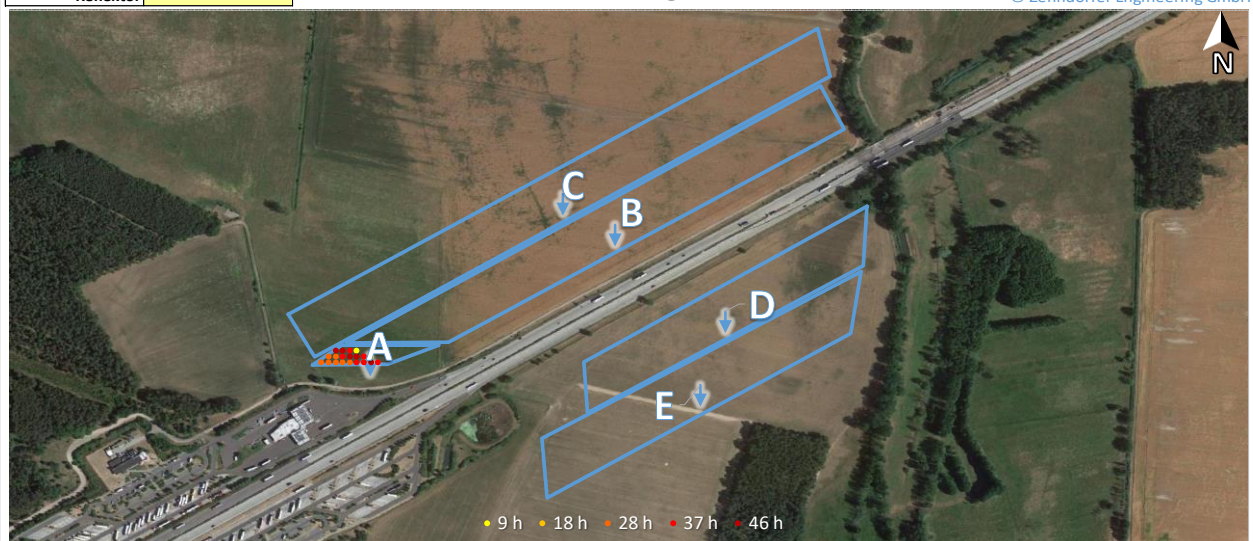
Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Immissionspunkt	11
Reflektor	A

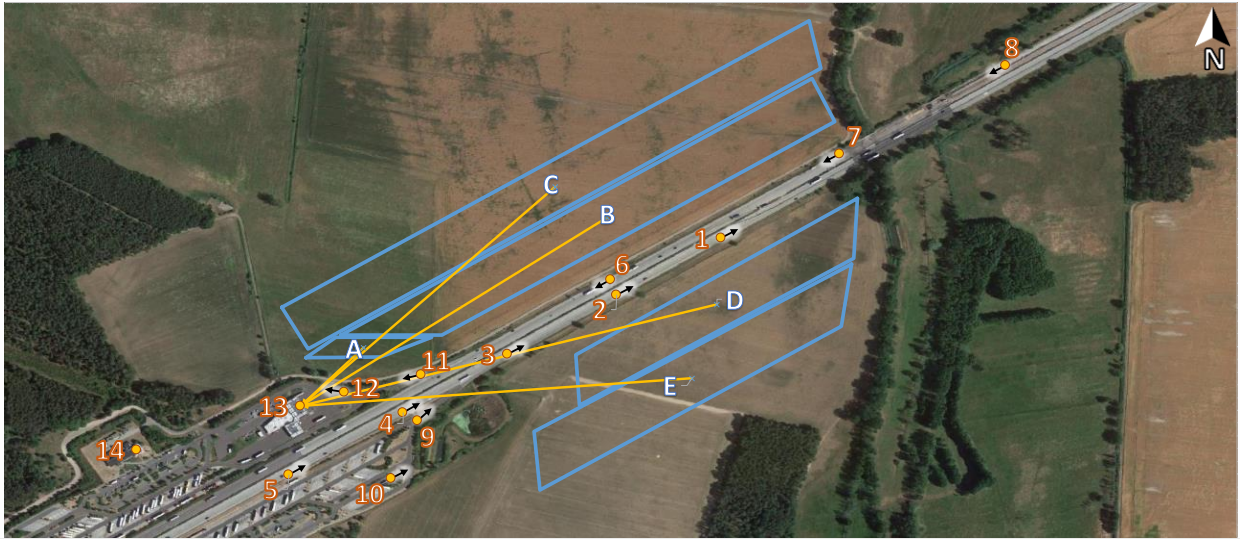
Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



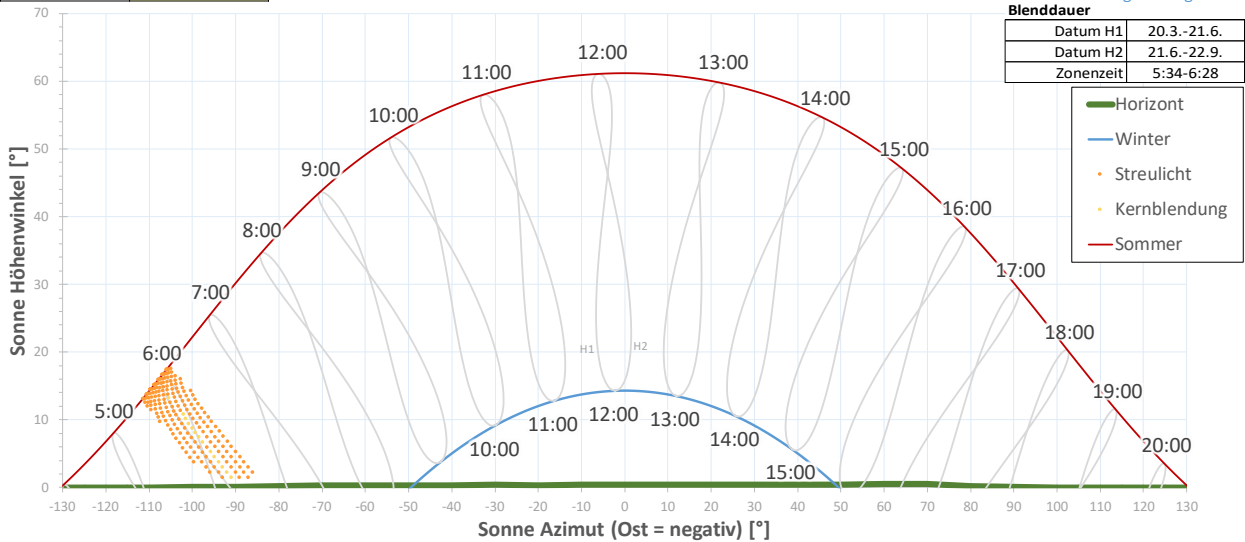
Immissionspunkt	13
Reflektor	ABCDE

Sonnenstand

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

Blenddauer

Datum H1	20.3.-21.6.
Datum H2	21.6.-22.9.
Zonenzeit	5:34-6:28



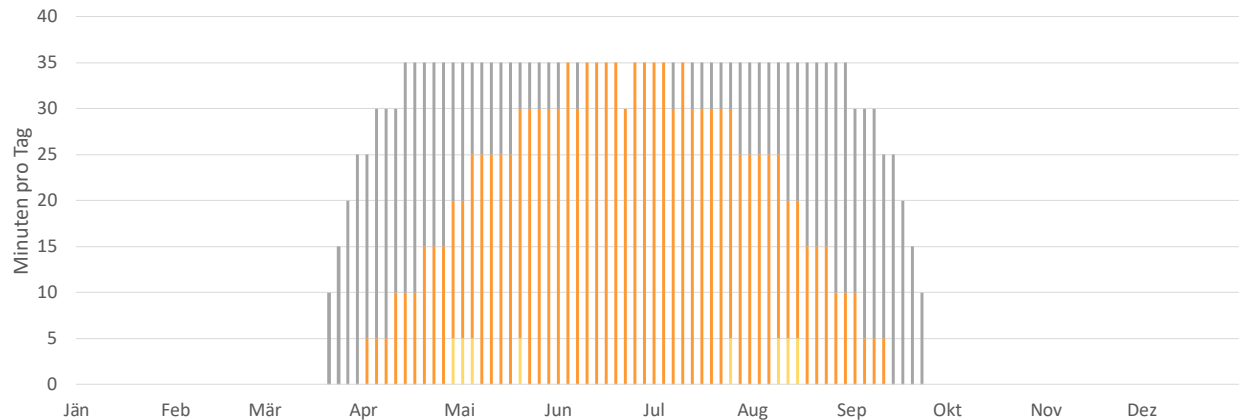
Immissionspunkt	13
Reflektor	ABCDE

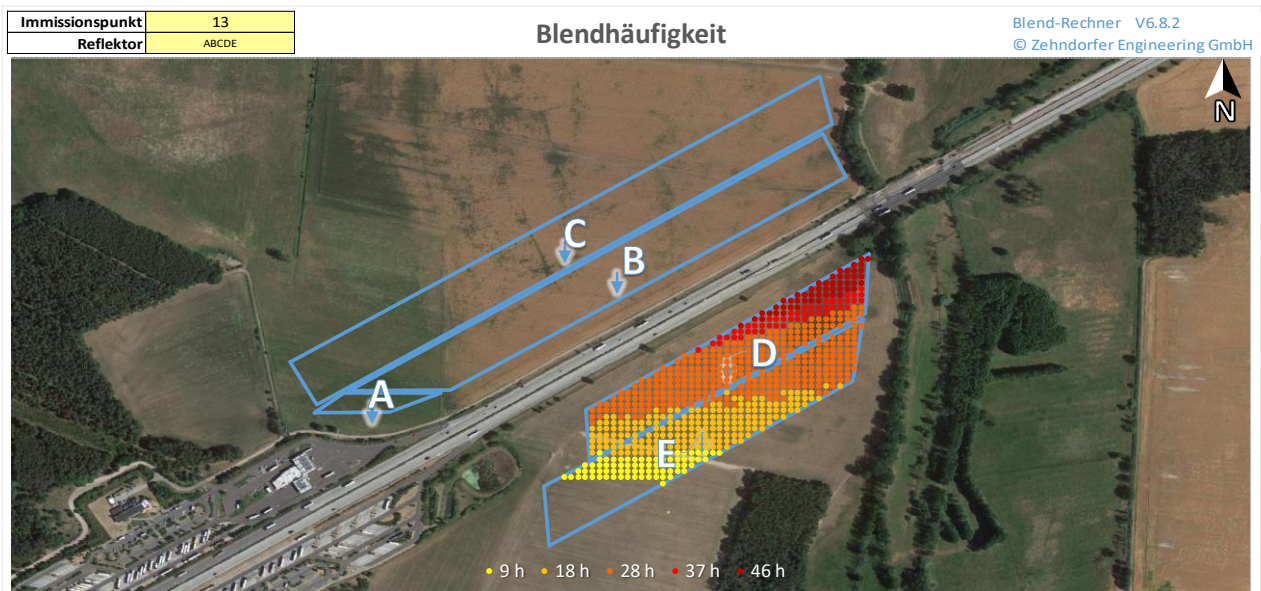
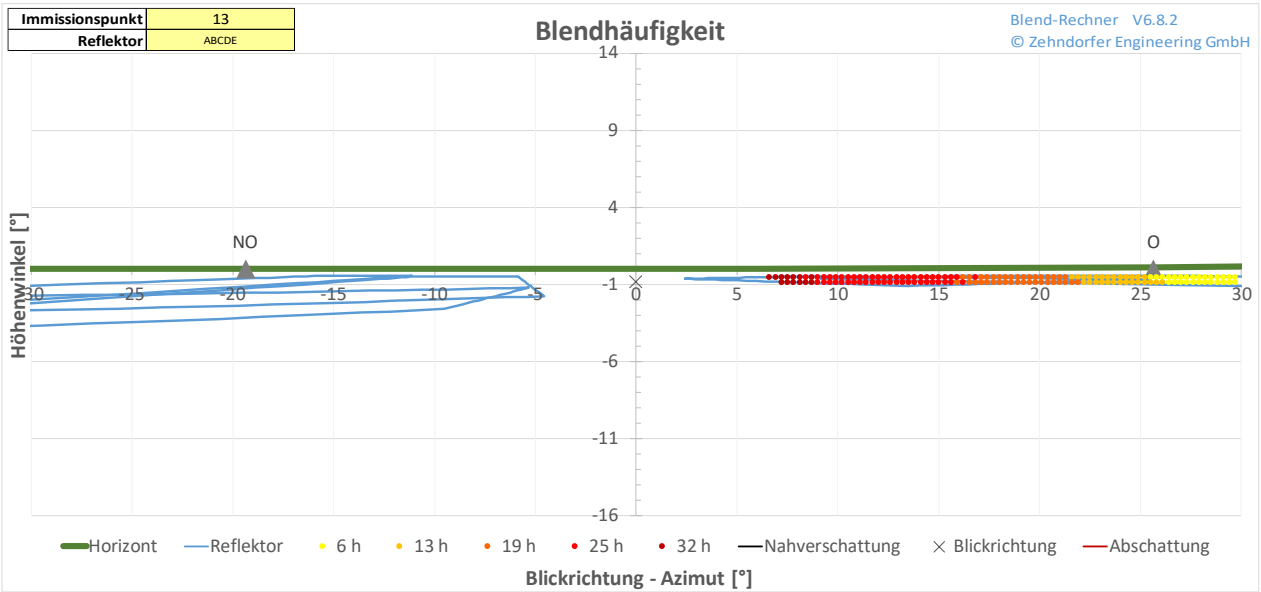
Blenddauer

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

	Außerhalb	Streulicht	Kernblendung	
pro Jahr	38	62	2	h
max/Tag	25	35	5	Min

- Außerhalb
- Streulicht
- Kernblendung



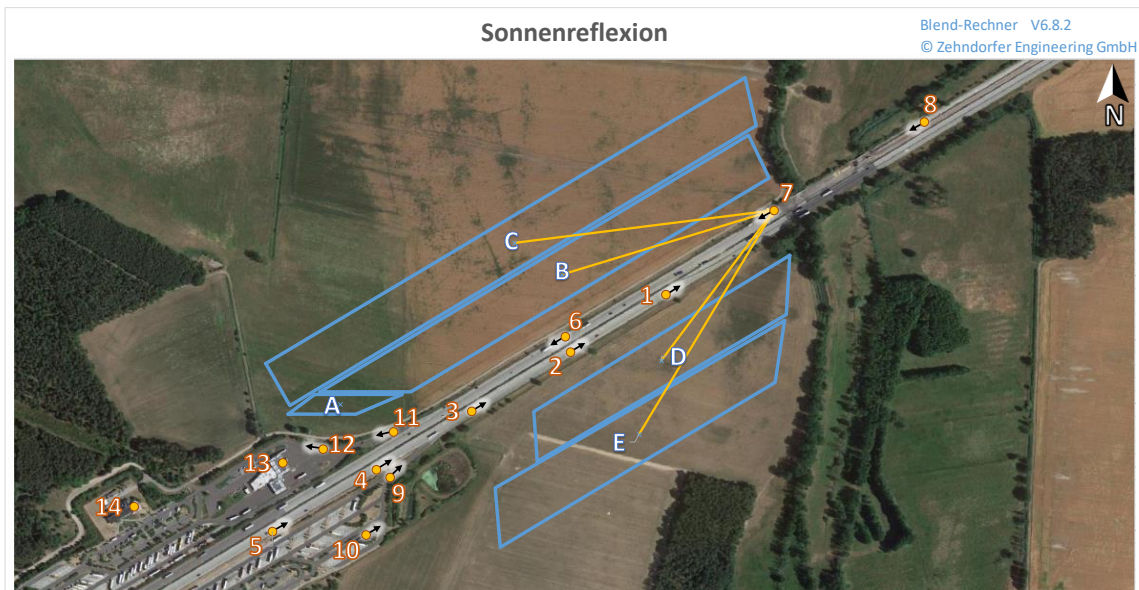


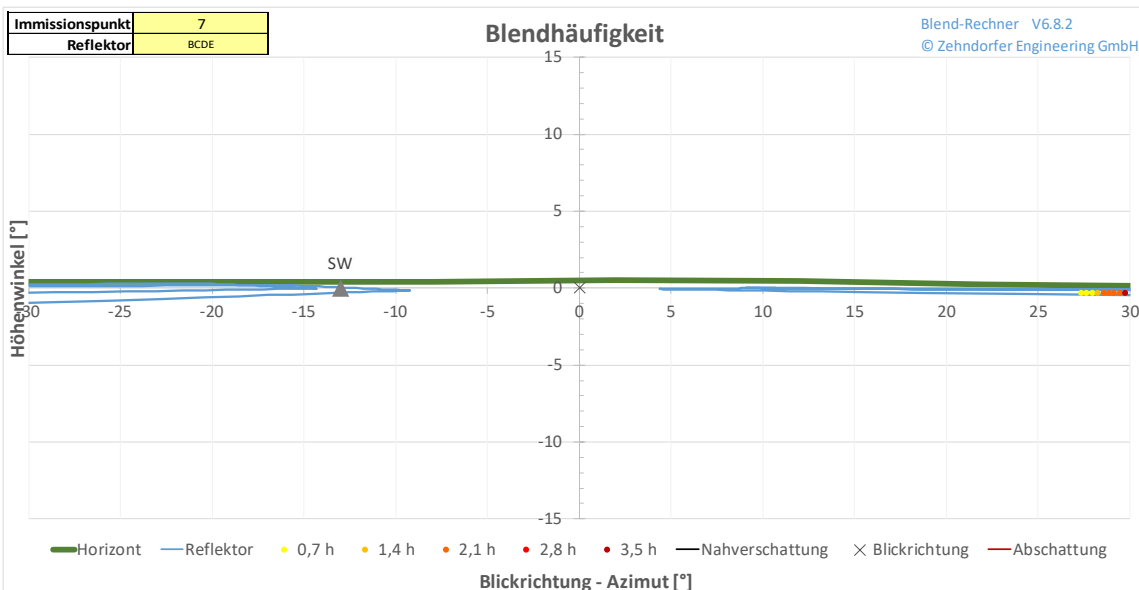
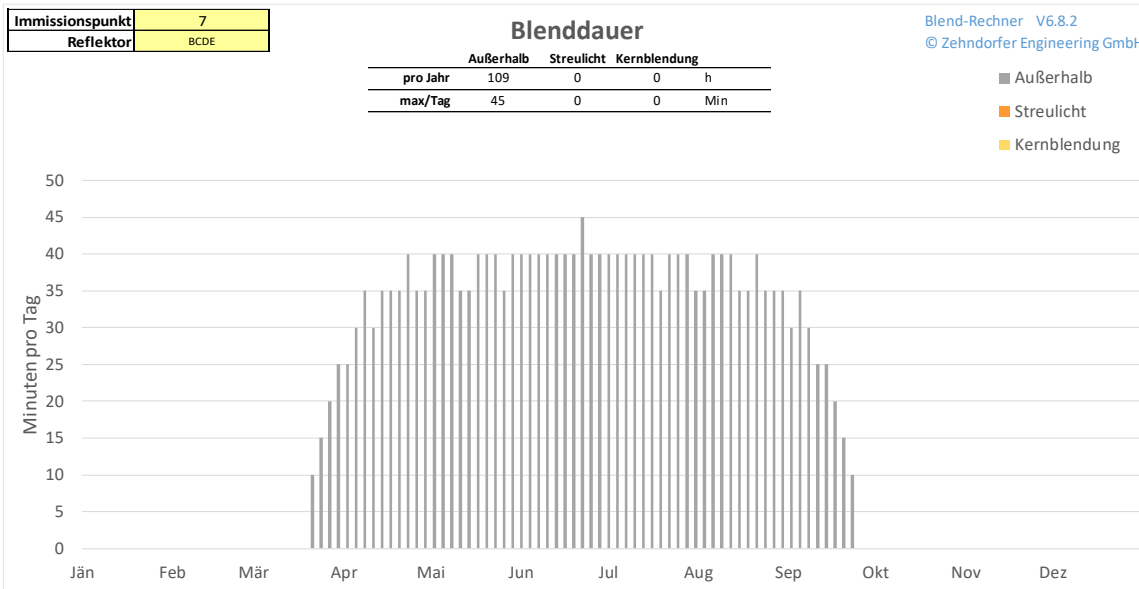
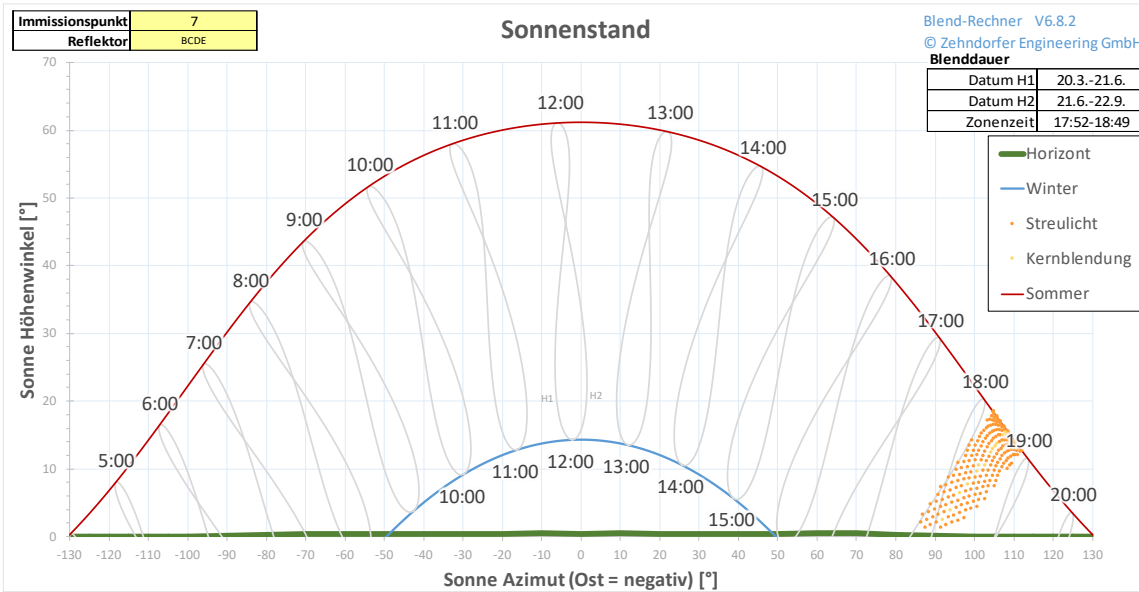
Anhang 5.1 Ergebnisse mit blendreduzierenden Maßnahmen

Reflektor		BCD	BCD	BCDE	ABCDE	ABCDE	ABCDE	BCDE	BCDE	ABCDE	DE
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distanz	m	48	49	74	92	185	49	47	249	112	191
Höhenwinkel	°	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1
Raumwinkel	msr	124	117	63	51	22	109	40	0	42	6
Datum H1		20.3.-21.6.	20.3.-21.6.	20.3.-21.6.	-	-	17.3.-21.6.	20.3.-21.6.	-	-	13.5.-21.6.
Datum H2		21.6.-22.9.	21.6.-22.9.	21.6.-22.9.	-	-	21.6.-25.9.	21.6.-22.9.	-	-	21.6.-30.7.
Zeit		17:52-18:48	17:52-18:48	17:56-18:46	-	-	17:50-18:48	17:52-18:49	-	-	4:09-4:45
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	0	0	0	0	5
Streulicht	h / Jahr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	10	10	10	-	-	10	10	-	-	3
Sonnen Azimut (Mittel)	°	99	99	99	-	-	98	99	-	-	-123
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	24	25	25	-	-	25	25	-	-	11
Blendung - Blickwinkel (min)	°	123	123	123	-	-	29	31	-	-	1
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	6.396	6.384	6.365	0	0	6.384	6.450	0	0	1.354
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	46	46	46	0	0	46	47	0	0	2
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	3.494	3.494	3.869	0	0	4.695	4.133	0	0	323

Reflektor		A	A	ABCDE	ABCDE
Immissionspunkt		11	12	13	14
Distanz	m	48	55	77	272
Höhenwinkel	°	0	-1	-1	-1
Raumwinkel	msr	40	70	42	15
Datum H1		7.4.-21.6.	-	-	19.5.-21.6.
Datum H2		21.6.-4.9.	-	-	21.6.-24.7.
Zeit		17:58-18:46	-	-	5:38-6:14
Kernblendung	min / Tag	0	0	0	5
Kernblendung	h / Jahr	0	0	0	1
Streulicht	min / Tag	0	0	0	40
Streulicht	h / Jahr	0	0	0	40
Sonnen Höhenwinkel (Mittel)	°	11	-	-	16
Sonnen Azimut (Mittel)	°	102	-	-	-107
Sonne-Reflektor Winkel (max)	°	27	-	-	26
Blendung - Blickwinkel (min)	°	23	-	-	1
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	6.337	0	0	5.488
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	46	0	0	22
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	8.010	0	0	2.435

Es folgt ein Auszug der Ergebnisse einiger Punkte, an denen Reflexionen auftreten können.

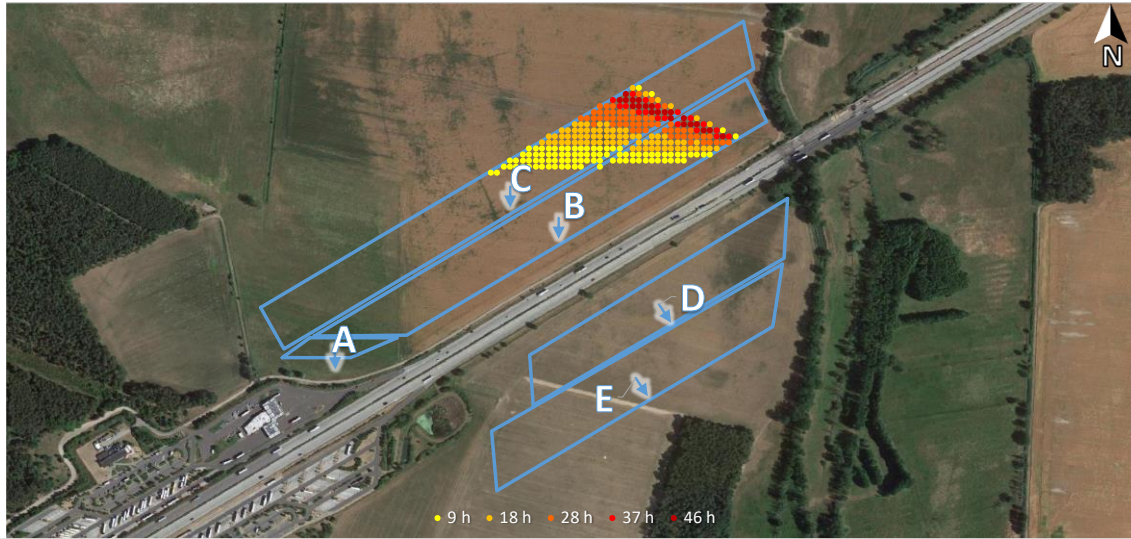




Immissionspunkt	7
Reflektor	BCDE

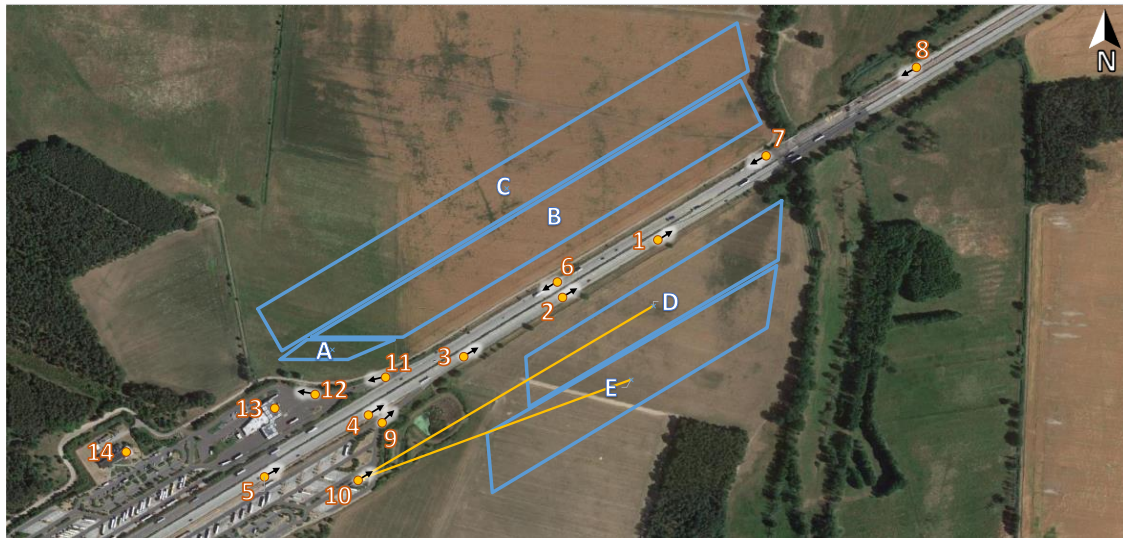
Blendhäufigkeit

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH



Sonnenreflexion

Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

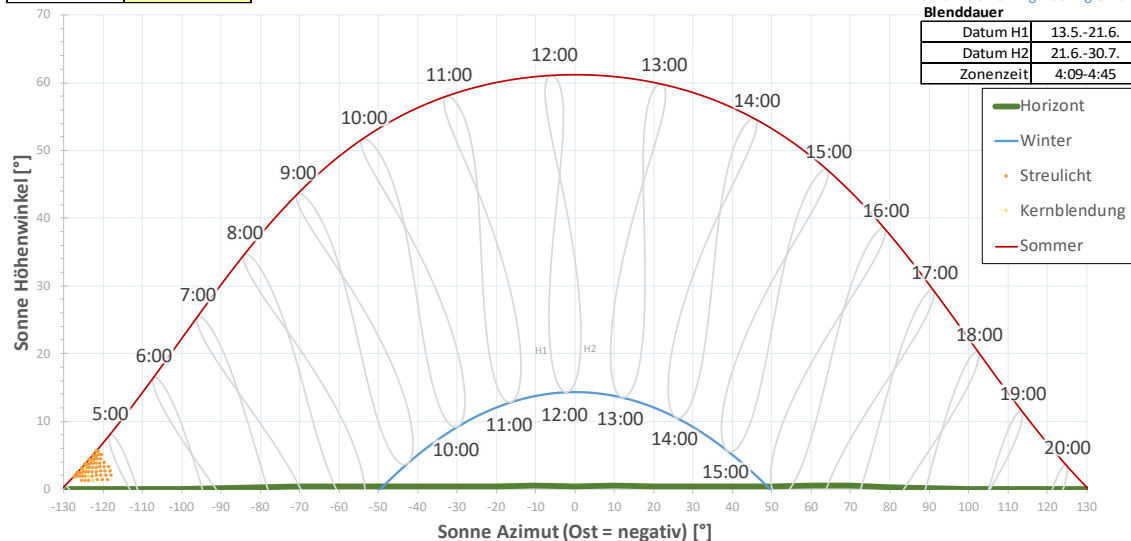


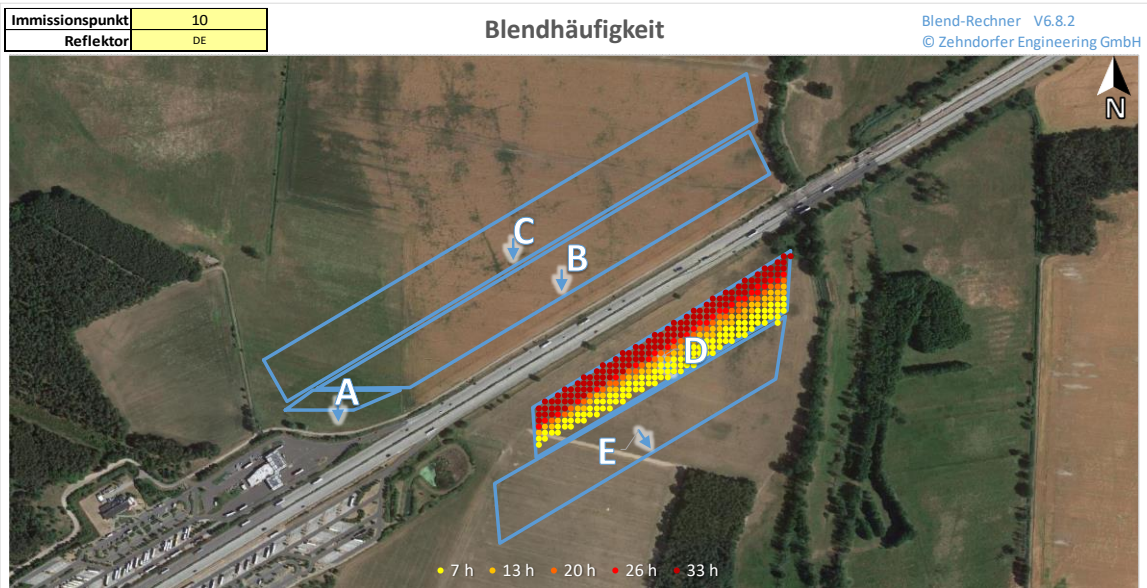
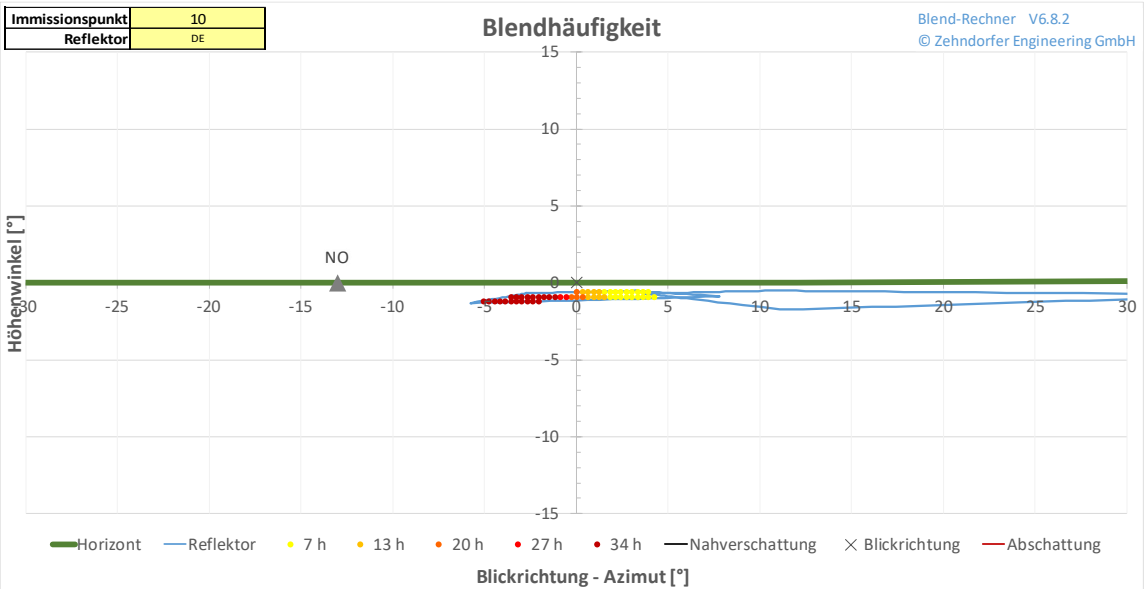
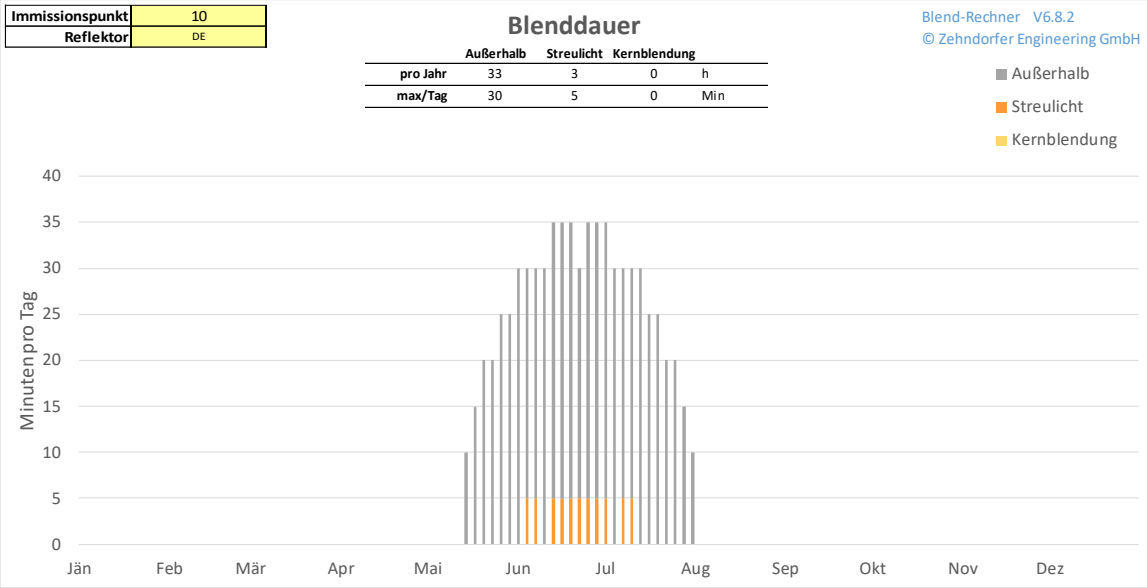
Immissionspunkt	10
Reflektor	DE

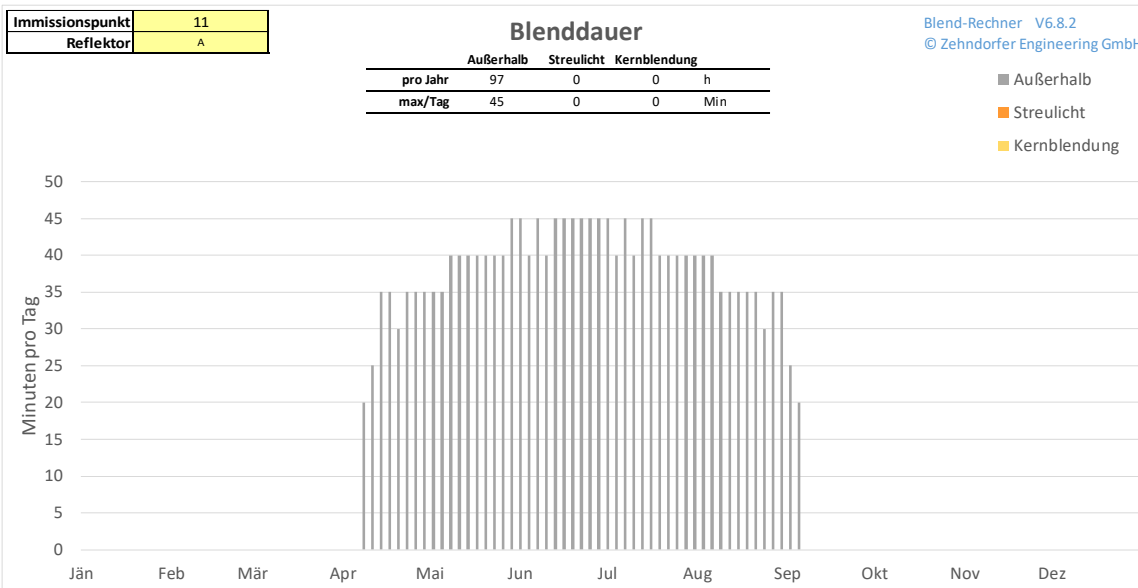
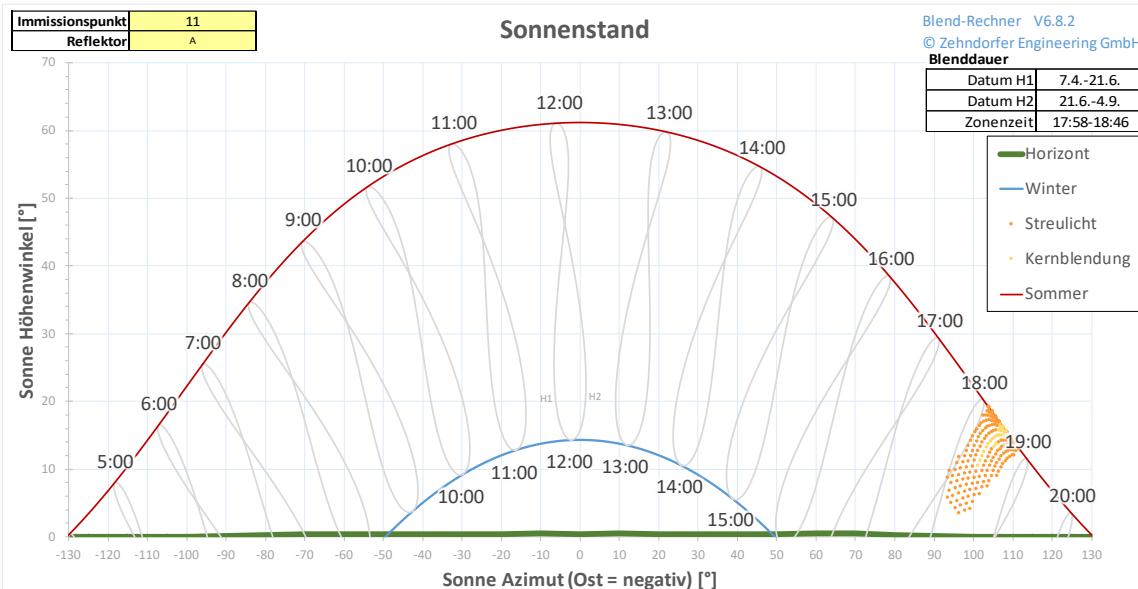
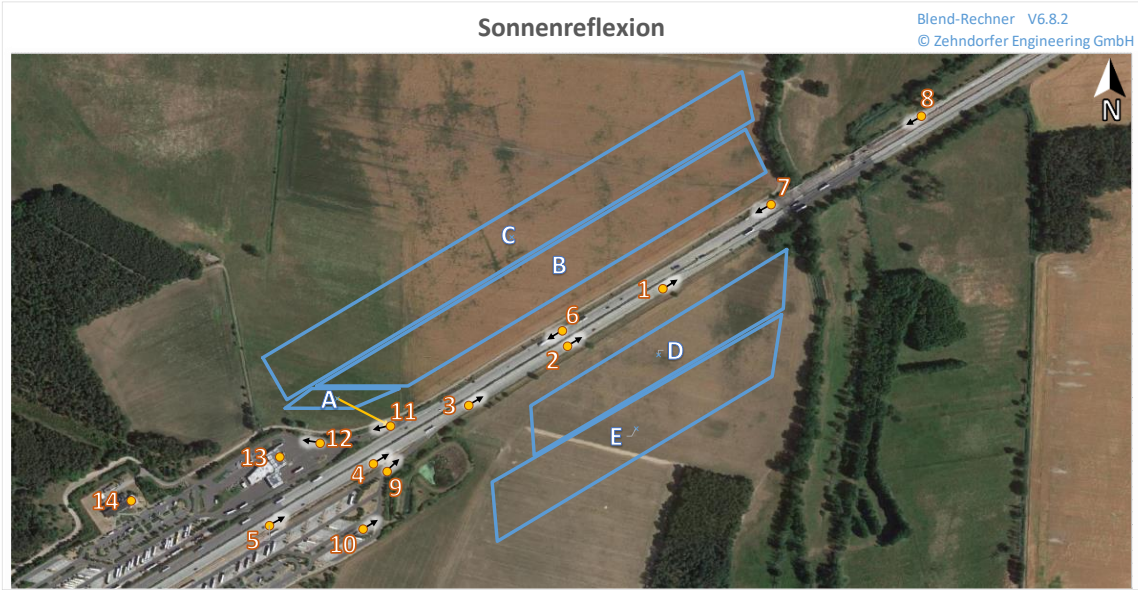
Sonnenstand

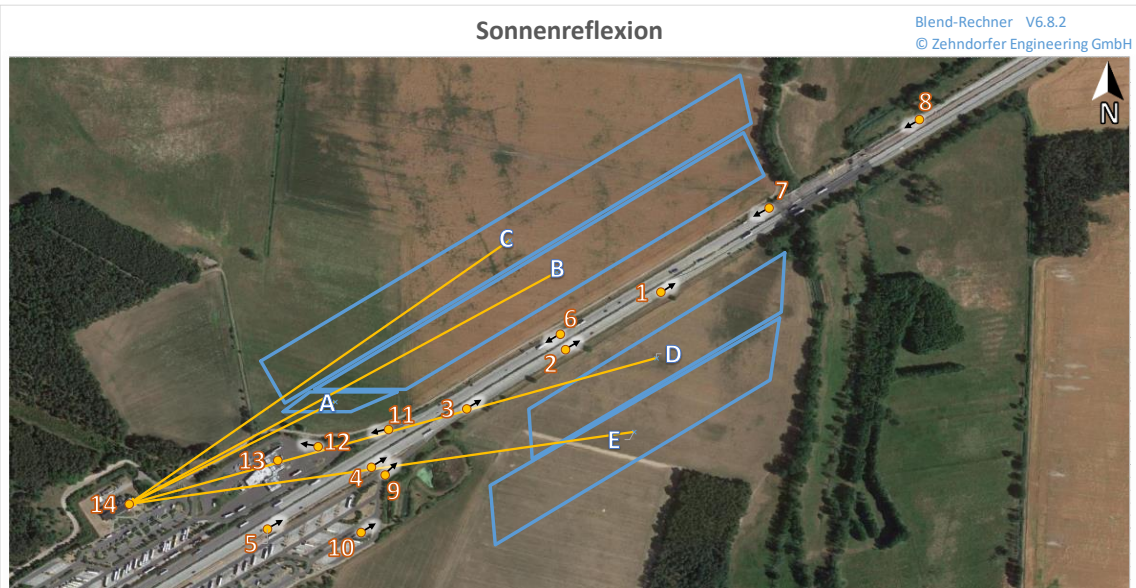
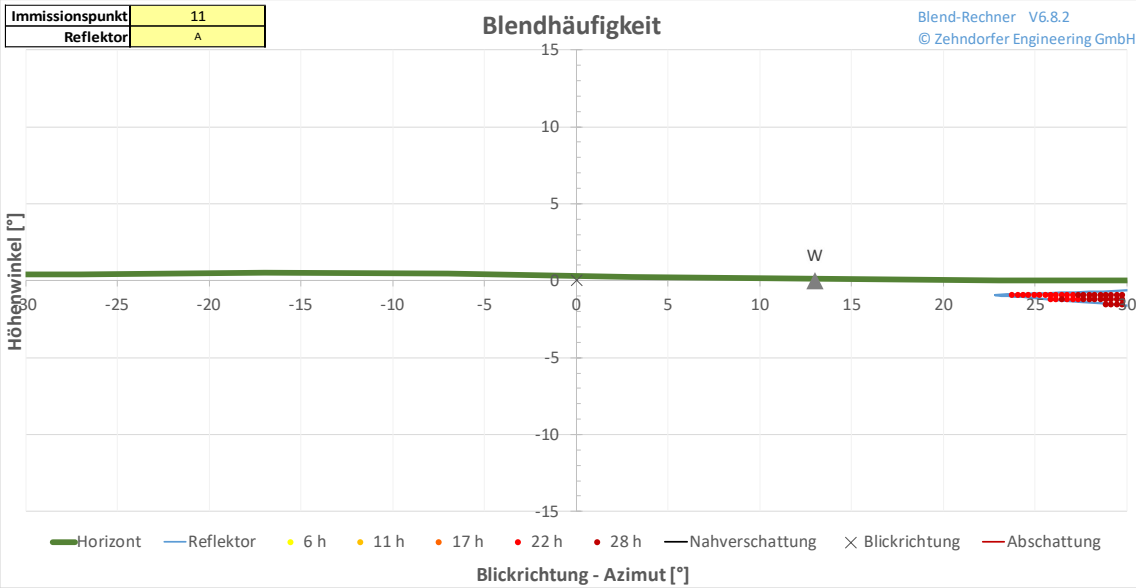
Blend-Rechner V6.8.2
© Zehndorfer Engineering GmbH

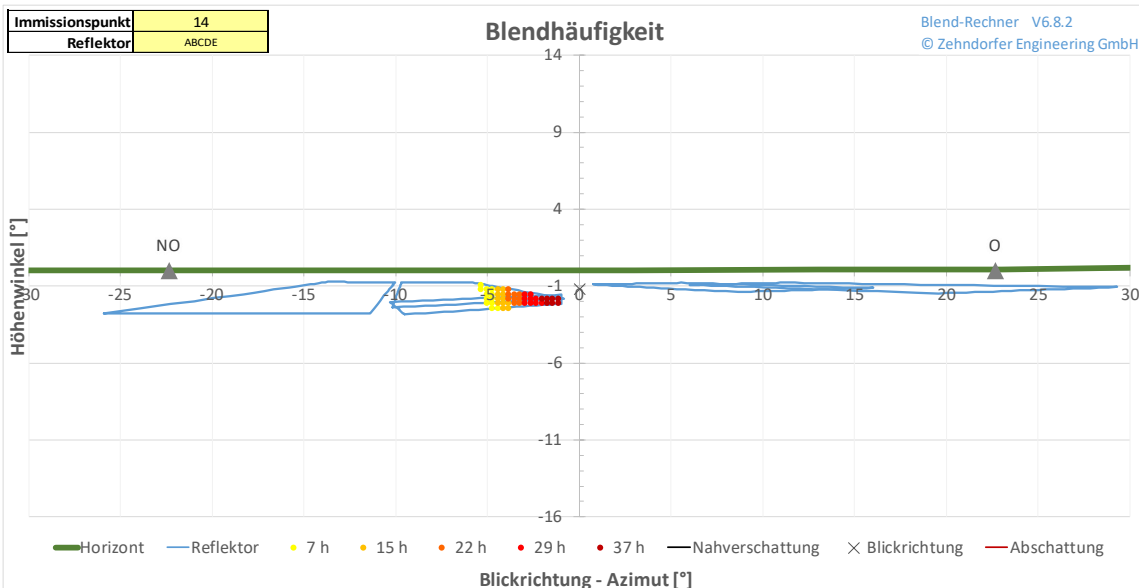
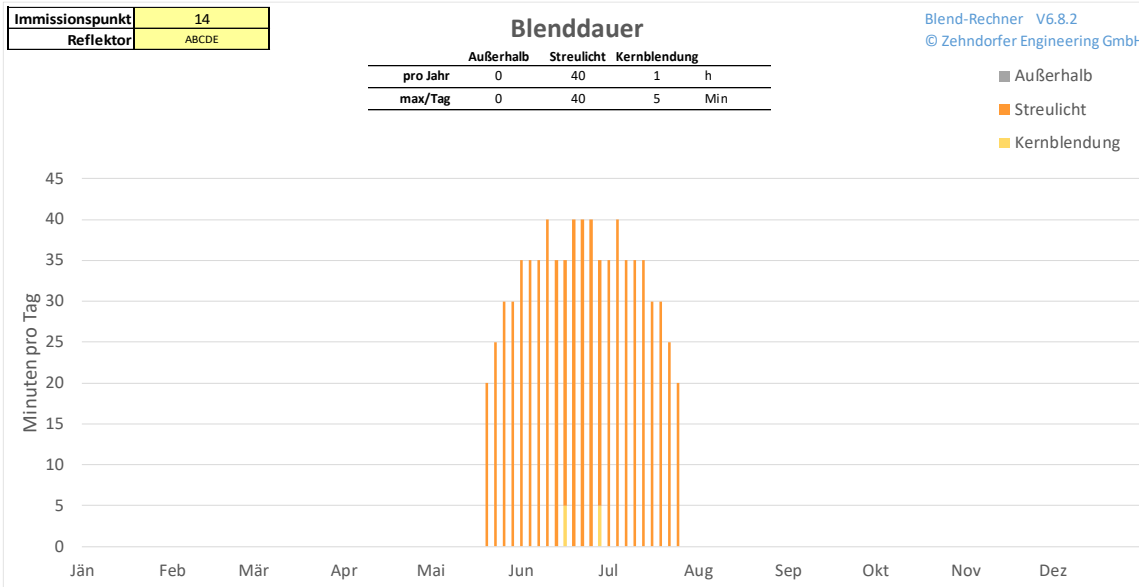
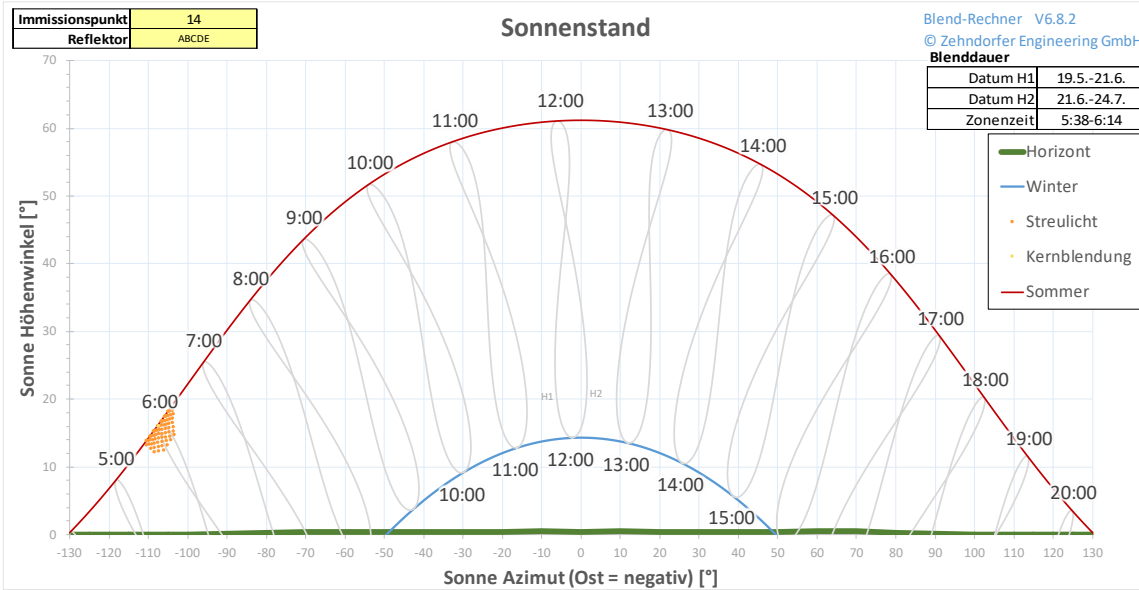
Blenddauer	
Datum H1	13.5.-21.6.
Datum H2	21.6.-30.7.
Zonenzeit	4:09-4:45

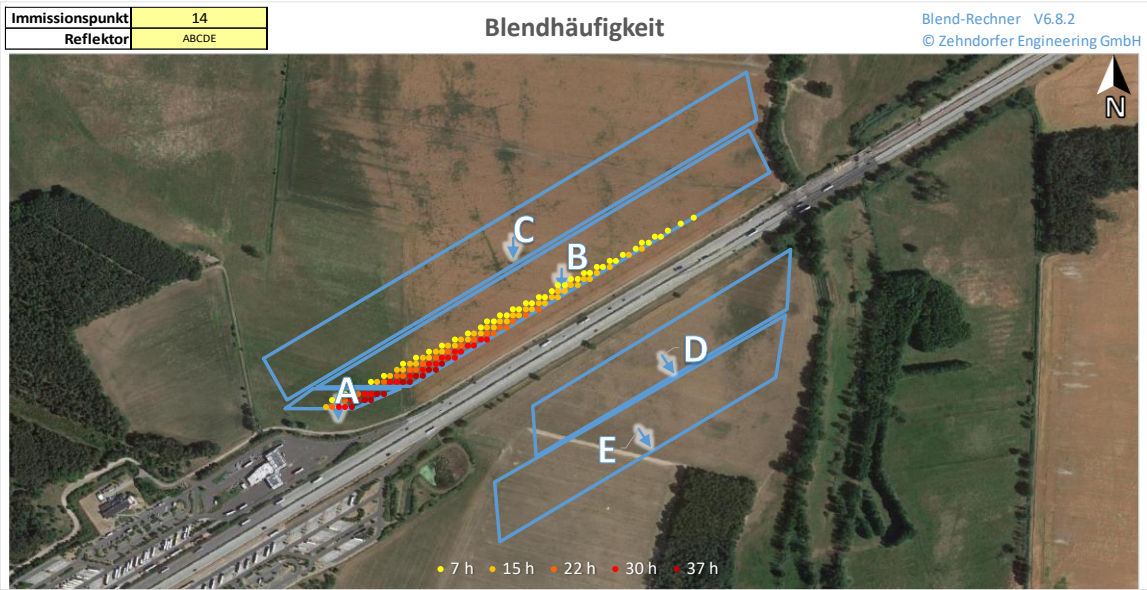












Allgemeine Hintergründe, gesetzliche Regelungen und Fallbeispiele zum Thema Blendung finden Sie auf www.zehndorfer.at

