

Blendgutachten

Analyse der Blendwirkung
für die Photovoltaikanlage Teningen

Im Auftrag von

BürgerEnergiegenossenschaft Teningen
z.H. Hr. Heinrich Höfler
Hans-Sachs-Str. 37
79331 Teningen

Gutachten ZE25137
August 2025



INHALT

1 Situationsbeschreibung.....	4
1.1 PROBLEMBESCHREIBUNG	4
1.2 ORTSBEZEICHNUNG UND LAGE DER PV-ANLAGE	4
1.3 MODELLIERUNG	4
1.4 PLANUNGS-ÄNDERUNGEN	7
1.5 MODULTYPE	7
1.6 UNTERSUCHTER RAUM	7
1.7 ABSCHATTUNGEN & VERDECKUNGEN	8
1.7.1 <i>Geländeprofil</i>	8
1.7.2 <i>Horizont</i>	8
1.7.3 <i>Bewuchs</i>	9
1.7.4 <i>Künstliche Abschattungen</i>	9
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 BLENDWIRKUNG	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
2.5.7 <i>Ursprung der Reflexionen</i>	16
3 Beurteilung & Empfehlungen.....	17
3.1 OST/WEST-VARIANTE	17
3.2 SÜD-VARIANTE.....	18
ANHANG 1 Definitionen	19
ANHANG 2 Richtlinien, Vorschriften und Gesetze.....	20
ANHANG 3 Methodik der Berechnung	22
ANHANG 4 Vermessung der Umgebung.....	23
ANHANG 5 Detail-Ergebnisse der Berechnungen.....	24
ANHANG 5.1 OST/WEST-VARIANTE.....	24
ANHANG 5.2 SÜD-VARIANTE	31

Zusammenfassung

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

Durch die Ost-West-Anlage würden also Blendungen des Straßenverkehrs auftreten, welche mit der Süd-Anlage vermieden wird. Zur Blendreduzierung kann also die gesamte Anlage als Süd-Anlage ausgeführt werden, oder zumindest die ersten beiden Modulreihen als Süd-Anlage (und der Rest als OW-Anlage).

Versionsverlauf

Version	Datum	Beschreibung
1.0	19.08.2025	ursprüngliche Fassung

Vorlage: DE03-09

Haftungsausschluss

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

Copyright

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

1 Situationsbeschreibung

1.1 Problembeschreibung

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

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

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

1.2 Ortsbezeichnung und Lage der PV-Anlage

Die geplante Freiflächen-Photovoltaik-Anlage befindet sich in der Gemeinde 793331 Teningen, Landkreis Emmendingen (Gemarkung Teningen, Flurstück 1561).

Abbildung 1 Situation



1.3 Modellierung

Für die Simulation werden die reflektierenden Flächen modelliert (d.h. mathematisch beschrieben). Je nach Nähe und Sichtbeziehung der Immissionspunkte, kommen dabei ebene Vierecke, oder Prismen (mit Höhe), in unterschiedlicher Lage im Raum, zum Einsatz. Falls es für den Gutachter relevant erscheint, werden auch

Abschattungen (z.B. Geländekanten oder Häuser) und Fernverschattungen (z.B. durch nahe Berge) modelliert.

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

In diesem Gutachten werden zwei unterschiedliche Varianten der Modulbelegung betrachtet. Eine Süd-Variante und eine Varianten mit Neigung nach Nordost und Südwest, der Einfachheit halber Ost/West-Variante genannt.

Abbildung 2 Ost/West-Variante (Ausrichtung NO-SW)



Abbildung 3 Süd-Variante



Die Berechnung wird Anhand der Ost-West Variante erklärt. Die Beurteilung und der Anhang enthalten die Ergebnisse beider Varianten.

Abbildung 4 Modellierung der reflektierenden Flächen



Abbildung 5 Ausrichtung der PV-Module (nicht maßstabsgetreu)

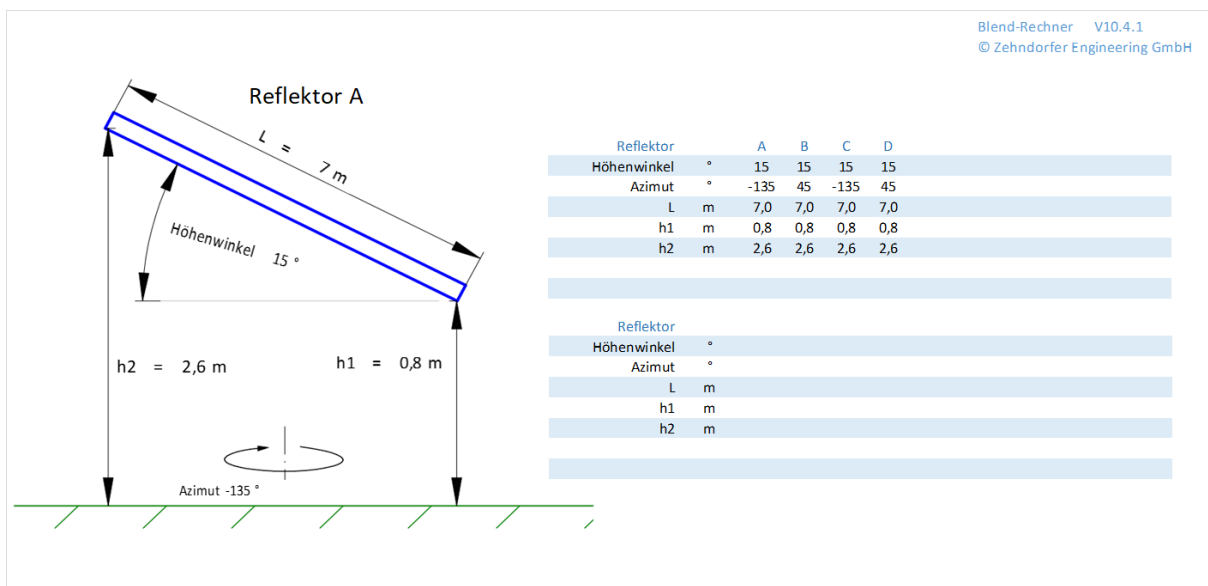


Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die Ausrichtung des PV-Feldes im Raum¹.

Die tatsächliche Neigung und Ausrichtung der reflektierenden Flächen ergeben sich aus den Winkeln der Modultische und des Untergrunds. Sie wurden mit entsprechenden Drehmatrizen berechnet und sind in

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.

Anhang 4 zu sehen. Für die Ausrichtung der PV-Modul-Unterkonstruktion Tabelle 2 (Anhang 4) heranzuziehen.

1.4 Planungs-Änderungen

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

Beispiele für kleine Änderungen:

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

1.5 Modultype

Für die Blendberechnung wird a priori von durchschnittlichen PV-Modulen ausgegangen, sodass die tatsächliche Wahl der PV-Module durch das Gutachten nicht wesentlich eingeschränkt wird. Eine mögliche Streuung der Lichtstrahlen an der Oberfläche der PV-Module wird gemäß Richtlinie nicht berücksichtigt.

1.6 Untersucher Raum

Die Immissionspunkte (IP) sind jene Punkte, für die die Blendberechnung durchgeführt wird. Die zu untersuchenden Punkte liegen in diesem Fall:

- im Kreisverkehr
- auf der Kreisstraße K5140
- auf der Landesstraße L114

Abbildung 6 Immissionspunkte

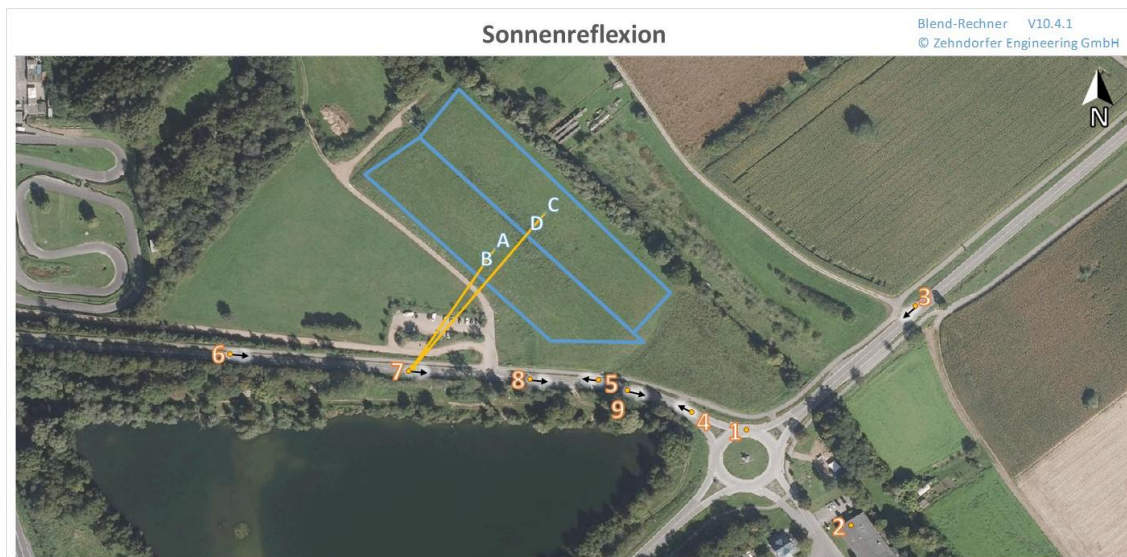


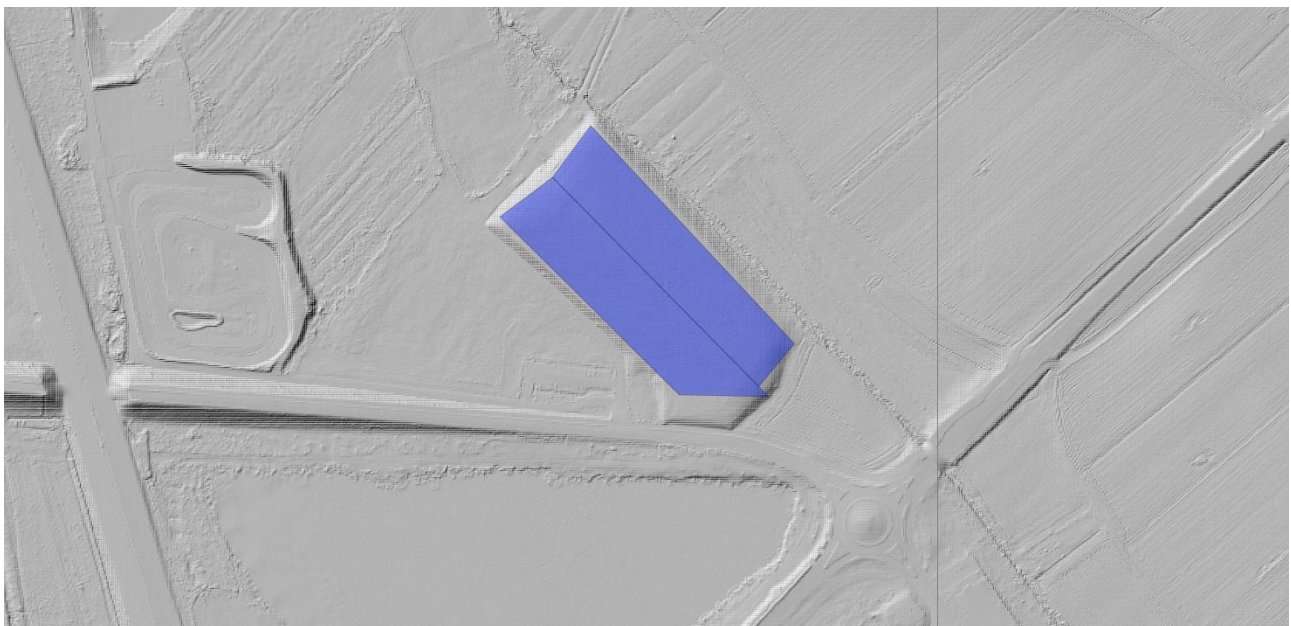
Abbildung 6 zeigt die Lage der Immissionspunkte (IP) und des PV-Feldes. Die Immissionspunkte wurden unter dem Kriterium ausgewählt, dass eine Sichtverbindung zur Vorderseite der PV-Module gegeben sein muss. Die detaillierte Vermessung der relevanten Umgebung ist in Anhang 4 zu finden.

1.7 Abschattungen & Verdeckungen

1.7.1 Geländeprofil

Die PV-Anlage liegt auf einem Hügel. Auch die Straßen liegen teilweise etwas erhöht. Es gibt keine Geländekanten, die den Blick auf die PV-Anlage verhindern würden.

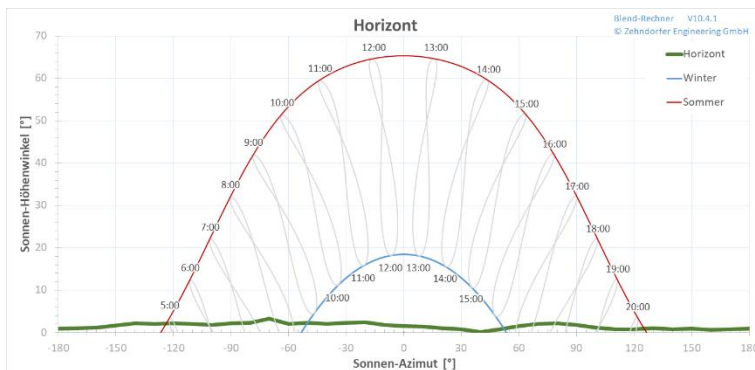
Abbildung 7 Gelände-schummerung



1.7.2 Horizont

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

Abbildung 8 Horizont



1.7.3 Bewuchs

Zwischen der Reflexionsfläche und einigen IP steht eine Vegetation, die den Blick auf die PV-Anlage zu einem Teil verhindern würden. Die Blendberechnung wurde jedoch ohne die Wirkung von eventuellem Bewuchs durchgeführt.

1.7.4 Künstliche Abschattungen

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

2 Blendberechnung

2.1 Bedingungen für die Berechnung

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

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

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

2.2 Reflexionsberechnung

Die Reflexionsberechnung basiert auf der Methode Raytracing (siehe Anhang 3). Die Reflexionen werden für jeden Immissionspunkt einzeln berechnet. Beispielhaft werden hier die Ergebnisse der Berechnungen für den IP6 betrachtet.

Abbildung 9 Reflexion der Solar Anlage

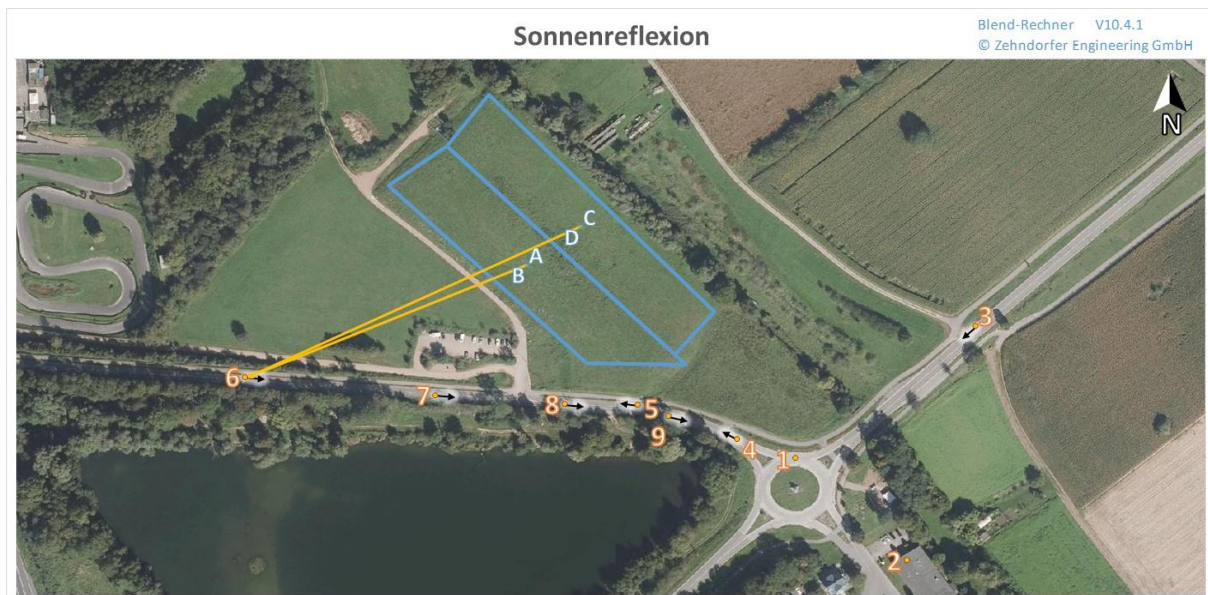
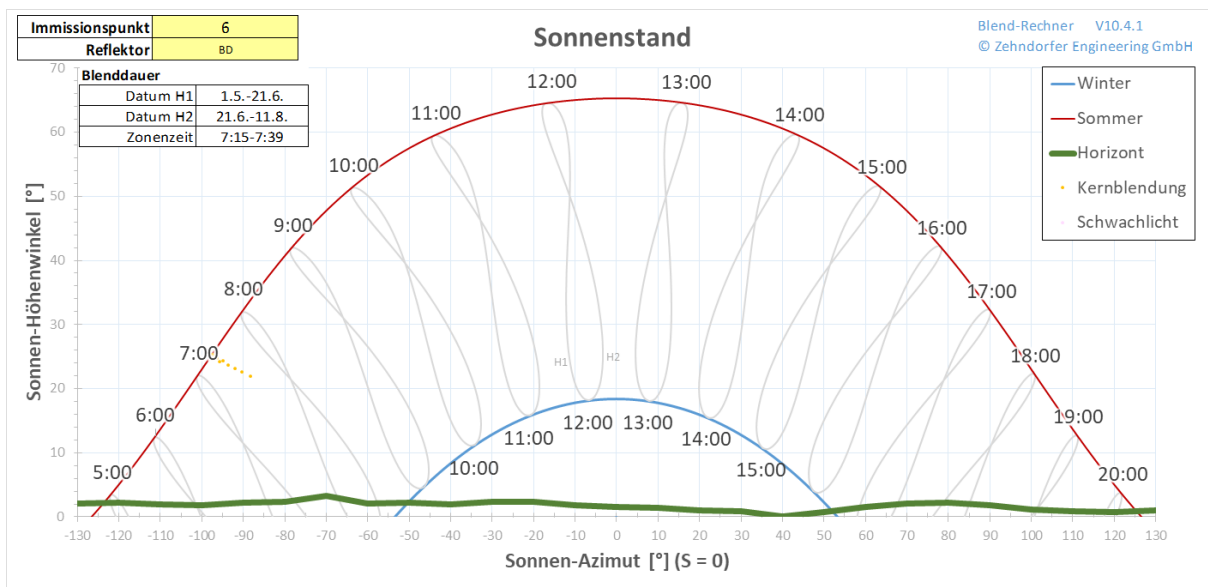


Abbildung 9 stellt die Immissionspunkte und den Strahlengang von eventuellen Reflexionen dar.

Abbildung 10 zeigt zu welchem Zeitpunkt (Jahres- und Uhrzeit) Reflexionen auftreten. An den Achsen sind jene Sonnenhöhenwinkel und Sonnenseitenwinkel ablesbar, bei welchen Reflexionen am Immissionspunkt auftreten.

Abbildung 10 Sonnenwinkel bei Blendung



Die Resultate der Berechnung sind in folgender Tabelle zusammengefasst. Alle weiteren Ergebnisse sind in Anhang 5 zu finden.

Reflektor		BD
Immissionspunkt		6
Distanz	m	149
Höhenwinkel	°	0
Raumwinkel	msr	13
Datum H1	1.5.-21.6.	
Datum H2	21.6.-11.8.	
Zeit	7:15-7:39	
Kernblendung	min / Tag	5
Kernblendung	h / Jahr	3
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	26
Blendung - Blickwinkel (min)	°	7
Leuchtdichte (max)	[k cd/m ²]	5 129
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm ²]	40
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	1 349

2.3 Erklärung der Ergebnisse

Distanz	Die Distanz zwischen Reflektor und Immissionspunkt in Meter
Höhenwinkel	Der Höhenwinkel des Reflektors über dem Immissionspunkt. 0° bedeutet, dass sich der Reflektor auf gleicher Höhe wie der Immissionspunkt befindet.
Raumwinkel	Der Raumwinkel (gemessen in Milliradian) ist ein Maß für die sichtbare Größe eines Objektes. Er wird berechnet, indem man die sichtbare Fläche eines Objektes durch das Quadrat dessen Abstandes dividiert.
Datum H1/H2	Gibt genau jene Zeitspanne an, an welcher Blendung über den Reflektor erfolgt
Zeit	Die maximale Zeitspanne, bei welcher Blendung über den Reflektor erfolgt
Kernblendung	Die Dauer der Blendung durch direkte Spiegelung der Sonne am Reflektor, in Minuten pro Tag bzw. Stunden pro Jahr
Sonne-Reflektor-Winkel	Der (zum Blendzeitpunkt), vom Immissionspunkt aus, sichtbare Winkel zwischen Reflektor und Sonnenstand. Ist dieser Winkel klein (also z.B. < 10°), so spielt die Blendung, neben der, in gleicher Richtung stehenden und typischer Weise viel stärkeren Sonne, eine untergeordnete Rolle.
Blendung-Blickwinkel	Der minimale Winkel zwischen der Blickrichtung (also z.B. Fahrtrichtung) und jener Stelle des Reflektors, von welcher aus Reflexionen stattfinden können. Ist der Winkel groß (also außerhalb des eines Kegels von 30°), so spielt die Blendung für den Verkehr eine untergeordnete Rolle.
Leuchtdichte	Das Maximum der errechneten Leuchtdichte der Reflexion in 1.000 cd/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 Immissionspunkt in lux.

2.4 Sichtbezug

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

Abbildung 11 Blickfeld

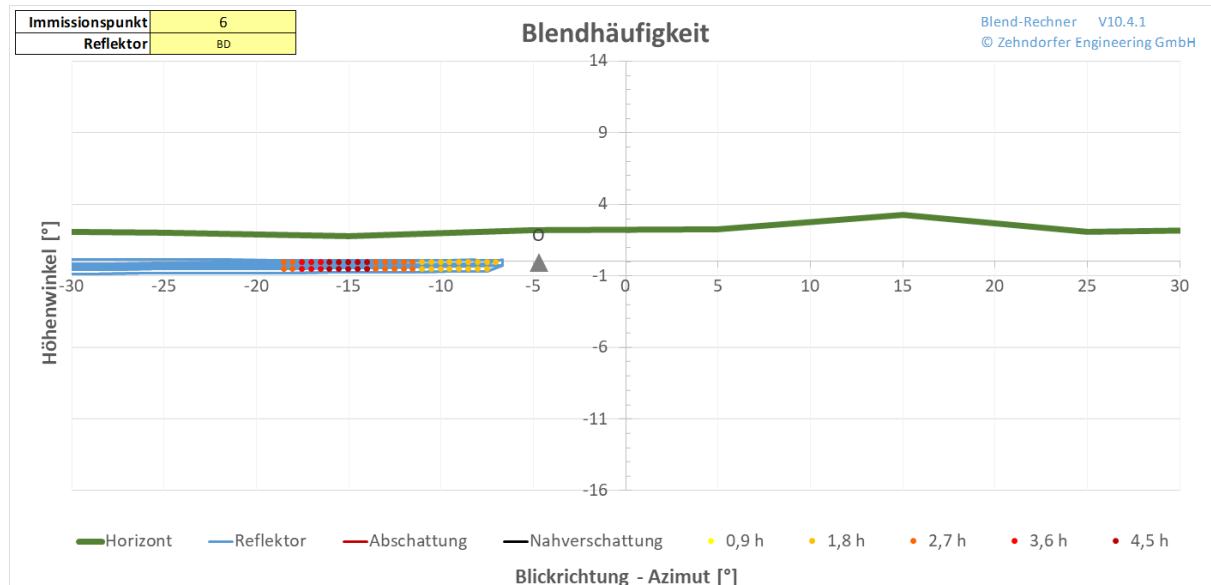


Abbildung 11 zeigt jene Flächen, von denen Reflexionen zu erwarten sind. Es ist die Dauer der Reflexionen in Stunden pro Jahr farblich dargestellt. Alle weiteren Ansichten sind in Anhang 5 zu sehen.

2.5 Blendwirkung

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

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

2.5.1 Größenverhältnisse

Die hier dargestellten Größenverhältnisse sollen bei der subjektiven Einordnung der Reflexionsfläche helfen. Da das Auge keine Größen, sondern nur optische Winkel wahrnimmt (also das Verhältnis von Größe zur 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 Immissionspunkt gesehen (13 msr), ist als mittelgroß 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 +/- 30° zur Sehachse (= Fahrtrichtung) liegen. Reflexionen mit Seitenwinkeln von mehr als 15° zur Sichtachse stellen keine Gefahr für den Verkehr dar.

2.5.3 Blendstärke

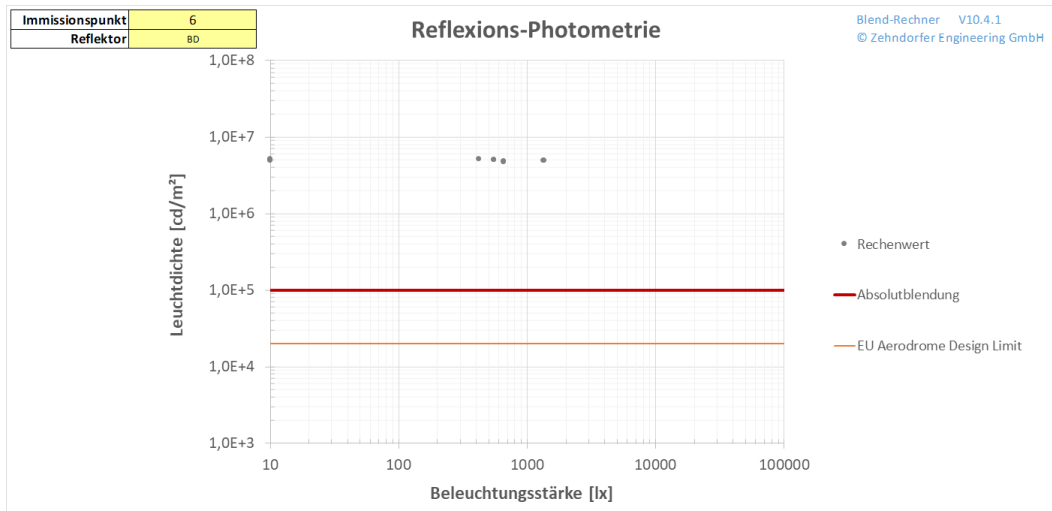
Die Solar-Module haben bei rechtwinkelig auf die Oberfläche eintreffendem Licht relativ kleine Reflexionsfaktoren, weshalb dabei nur ein Teil des Sonnenlichts reflektiert wird. Bei flacher einfallenden Lichtstrahlen steigt der Anteil des reflektierten Lichtes (der Reflexionsfaktor wird höher). Auch die Stärke des Sonnenlichtes ist vom Sonnenstand abhängig (die Sonne erreicht Leuchtdichten bis zu $1,6 \times 10^9 \text{ cd/m}^2$ 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 Stärke der

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.“

Reflexionen ist demnach kein Kriterium in der Richtlinie. Gemäß der Richtlinie ist nur bei einer Dauer von über 30 Minuten pro Tag, bzw. 30 Stunden pro Jahr die Grenze der Zumutbarkeit überschritten.

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

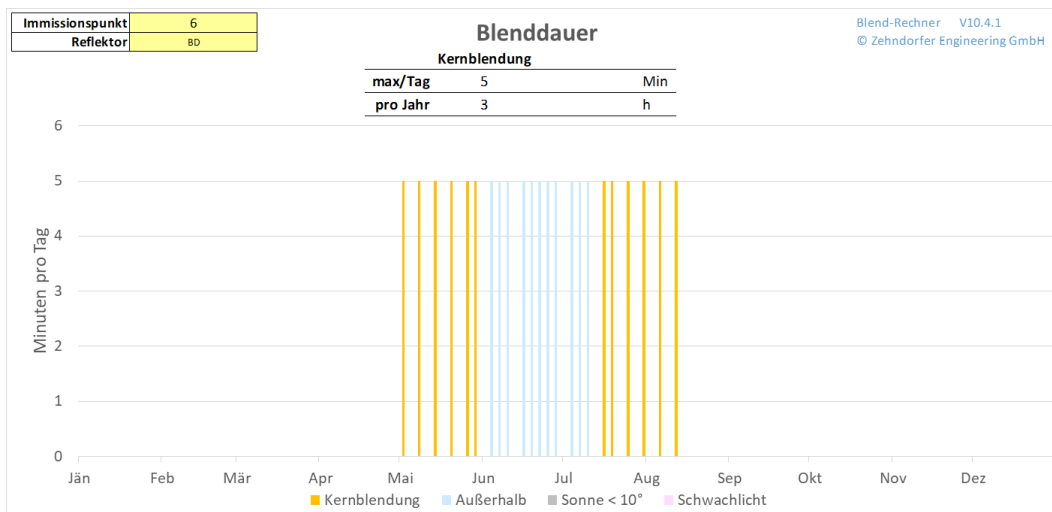


Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Blenddauer pro Tag über das ganze Jahr.

Die Farbkennzeichnung der unterschiedlichen Reflexionen haben die folgende Bedeutung:

- gelb: Direkt spiegelnde Kernblendung
- blau: Reflexionen außerhalb des Gesichtsfeldes (beim Verkehr +/-30° von der Fahrtrichtung)
- grau: Reflexionen bei denen die Sonne in einem geringen Winkel (<10°) zur Reflexion steht und diese daher überstrahlt.
- pink: Reflexionen mit geringer Leuchtdichte (unter 100.000 cd/m²)

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

2.5.5 Subjektive Faktoren

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

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 2022-2024

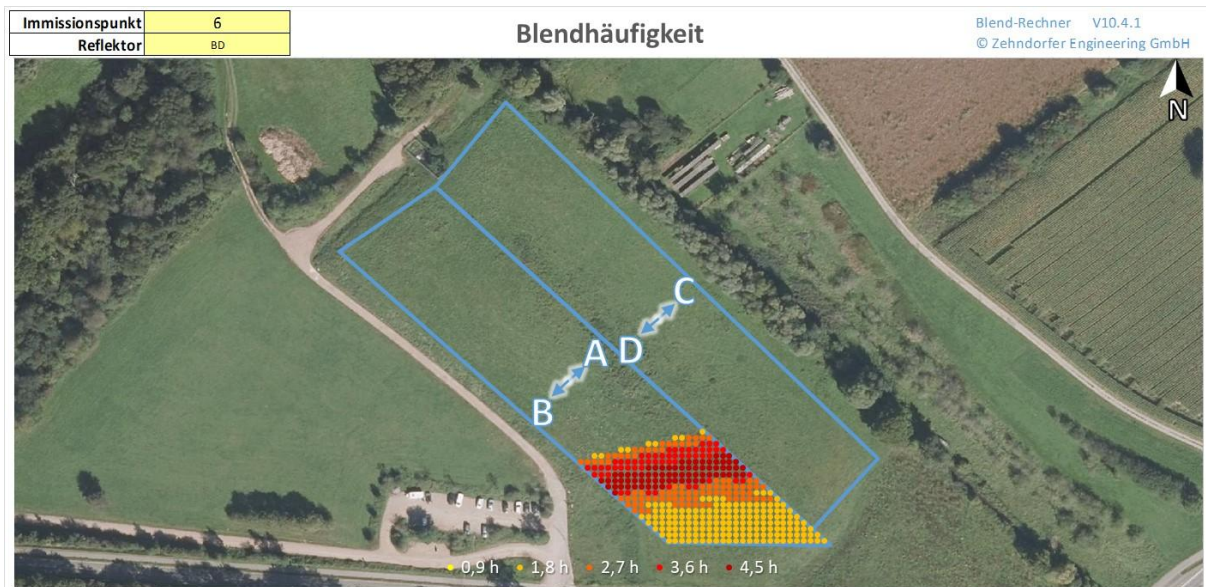


Auf dem relevanten Straßenabschnitt wurden in den letzten Jahren einige Unfälle gemeldet. Im Kreisverkehr liegt eine leichte Unfallhäufungen vor.

2.5.7 Ursprung der Reflexionen

Um die Wirksamkeit möglicher blendreduzierender Maßnahmen abschätzen zu können, ist es hilfreich den Ursprung der Reflexionen zu kennen⁴. Abbildung 15 zeigt (in den Farben gelb, orange, rot) die ungefähre Dauer der Reflexionen⁵ von bestimmten reflektierenden Flächen, während eines ganzen Jahres.

Abbildung 15 Reflektierende Flächen



⁴ Auf Grund unterschiedlicher Blickwinkel reflektieren nicht alle Flächen gleich.

⁵ Die dargestellten Dauern sind daher nur als Indikation zu verstehen und nicht für den Vergleich mit den Grenzwerten der Richtlinie geeignet.

3 Beurteilung & Empfehlungen

3.1 Ost/West-Variante

IP1 (Kreisverkehr)

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

IP2 (Nachbarschaft)

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

IP3 bis (Landesstraße)

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

IP4 bis 9 (Kreisstraße)

Es werden Reflexionen in Richtung der Kreisstraße auftreten, welchem an den IP6 und 7 auch im inneren Gesichtsfeld der Fahrzeuglenker liegen. **Daher sind blendreduzierende Maßnahmen zu empfehlen.**

3.2 Süd-Variante

IP1 (Kreisverkehr)

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

IP2 (Nachbarschaft)

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

IP3 bis (Landesstraße)

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

IP4 bis 9 (Kreisstraße)

Es werden Reflexionen in Richtung der Kreisstraße auftreten, welche jedoch immer vollständig außerhalb des inneren Gesichtsfeldes der Fahrzeuglenker liegen, oder bei denen die Sonne in einer ähnlichen Richtung steht und die Reflexionen daher überstrahlt. Daher besteht keine Gefahr durch Blendung für den Straßenverkehr.

Durch die Ost-West-Anlage würden also Blendungen des Straßenverkehrs auftreten, welche mit der Süd-Anlage vermieden wird. Zur Blendereduzierung kann also die gesamte Anlage als Süd-Anlage ausgeführt werden, oder zumindest die ersten beiden Modulreihen als Süd-Anlage (und der Rest als OW-Anlage).

Datum: 19.08.2025

Gutachter:

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

Jakob Zehndorfer
Zehndorfer Engineering GmbH

ANHANG 1 DEFINITIONEN

Blendung (allgemein)	Eine Störung der visuellen <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	Führ (nahezu) glatte Oberflächen gilt das <i>Reflexionsgesetz</i>
Immissionspunkt	Punkt, auf welchen Strahlung einwirkt
Emissionsfläche	Fläche, von welcher Strahlung 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) [$\text{lm}/\text{m}^2\text{sr}$] an.
Lichtstärke	Der Lichtstrom pro Raumwinkel [lm/sr]
IP	Die Immissionspunkte sind jene Punkte, für welche die Blendberechnung durchgeführt wird
PV	Photovoltaik
Azimut	Seitenwinkel (horizontal) zwischen Objekt und Südrichtung
Elevation	auch <i>Höhenwinkel</i> , gemessen von der Horizontalen zur Objektoberfläche
Koordinatensystem	Das verwendete Koordinatensystem verläuft in x/y-Ebene parallel zur Erdoberfläche, der z-Vektor zeigt senkrecht in die Höhe. In der Berechnung finden verschiedene andere Koordinatensysteme Anwendung, was für das Endergebnis jedoch irrelevant ist.
Prismierung	PV-Glas hat, neben seiner besonderen chemischen Zusammensetzung und einer eventuellen anti-reflex Beschichtung, in vielen Fällen auch noch die Eigenschaft einer „rauen“ Oberfläche – kleine Prismen, die die Reflexion verringern und die Transmission des Lichts in das Glas verstärken sollen. An diesen kleinen, unterschiedlich geneigten Flächen entsteht Streulicht.

ANHANG 2 RICHTLINIEN, VORSCHRIFTEN UND GESETZE

Bundes-Immissionsschutzgesetz (2016)

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

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

Bürgerliches Gesetzbuch 2015, § 906

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

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

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

3. Maßgebliche Immissionsorte und –Situationen

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

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

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

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

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

Bundesfernstraßengesetz (2007)

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

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

ANHANG 3 METHODIK DER BERECHNUNG

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

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

Die, in der Realität, bei großen Einfallswinkeln, beobachtbare Winkelverschiebung und zusätzliche Winkelaufweitung des gestreuten Lichtbündels wurde in der Reflexionsberechnung vernachlässigt (wie in der Richtlinie vorgesehen).

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

Copyright				
	Daten Quelle	©	Link	Höhe
	Orthofoto BW open GeoData	DL-DE->BY-2.0	https://www.lgl-bw.de/	
	Geländemodell BW open GeoData	DL-DE->BY-2.0	https://www.lgl-bw.de/	DHHN2016
	Oberflächenmodell N/A			
	Verwaltungsgrenzen BW open GeoData	DL-DE->BY-2.0	https://www.lgl-bw.de/	

ANHANG 4 VERMESSUNG DER UMGEBUNG

Tabelle 1 Koordinaten der reflektierenden Flächen

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

Reflektor	A				B				C			
Eckpunkt	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
x	410 038	410 096	409 956	409 921	410 038	410 096	409 956	409 921	410 090	410 113	409 980	409 956
y	330 252	330 251	330 394	330 368	330 252	330 251	330 394	330 368	330 258	330 286	330 428	330 394
z	189	190	190	189	189	190	190	189	190	189	189	190
h	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Reflektor	D			
Eckpunkt	C1	C2	C3	C4
x	410 090	410 113	409 980	409 956
y	330 258	330 286	330 428	330 394
z	190	189	189	190
h	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabelle 2 Winkel der reflektierenden Flächen O/W-Variante

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	15	-135	1	45	15	-135
B	15	45	1	45	15	45
C	15	-135	1	-136	15	-135
D	15	45	1	-136	15	45

Tabelle 3 Winkel der reflektierenden Flächen Süd-Variante

	Montagesystem		Untergrund		Resultierende	
	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel	Höhenwinkel	Seitenwinkel
A	15	0	1	45	15	4
B	0	0	0	0	0	0
C	15	0	1	-136	15	-4

Tabelle 4 Immissionspunkte

Immissionspunkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Bezeichnung	IP-C1	IP1	IP-S1	IP-S2	IP-S3	IP-S4	IP-S5	IP-S6	IP-S7
x	410 162	410 227	410 268	410 127	410 069	409 837	409 949	410 025	410 087
y	330 189	330 123	330 276	330 202	330 224	330 242	330 231	330 225	330 217
z	188	188	188	188	187	190	188	187	187
h	2,5	5,0	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Blickrichtung - Az			46	121	97	-85	-86	-86	-74

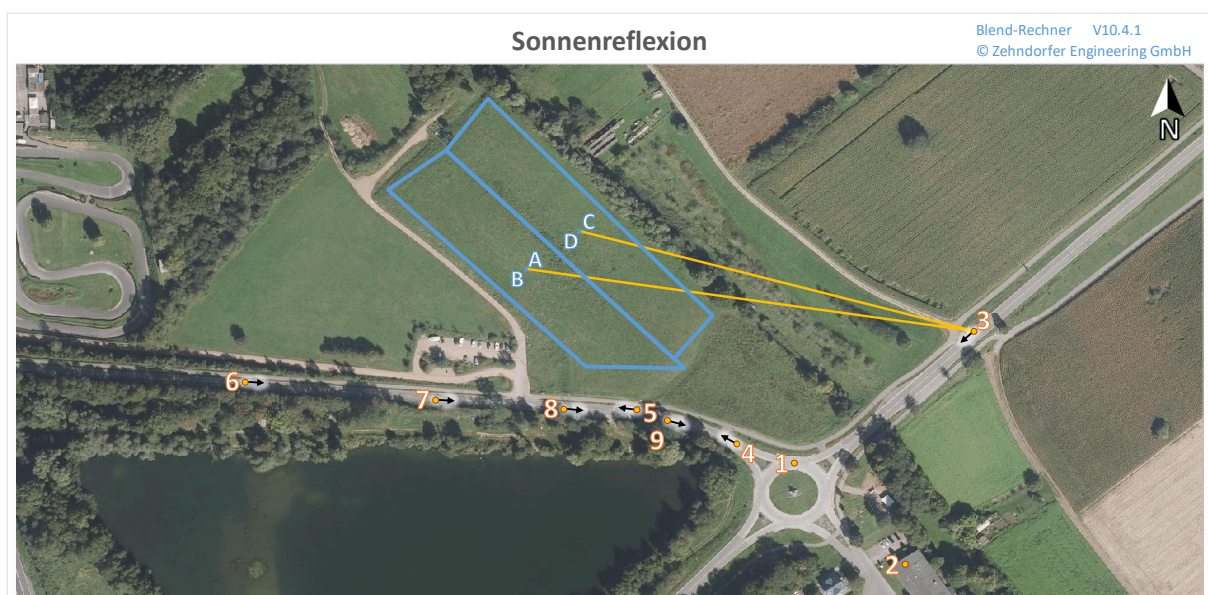
ANHANG 5 DETAIL-ERGEBNISSE DER BERECHNUNGEN

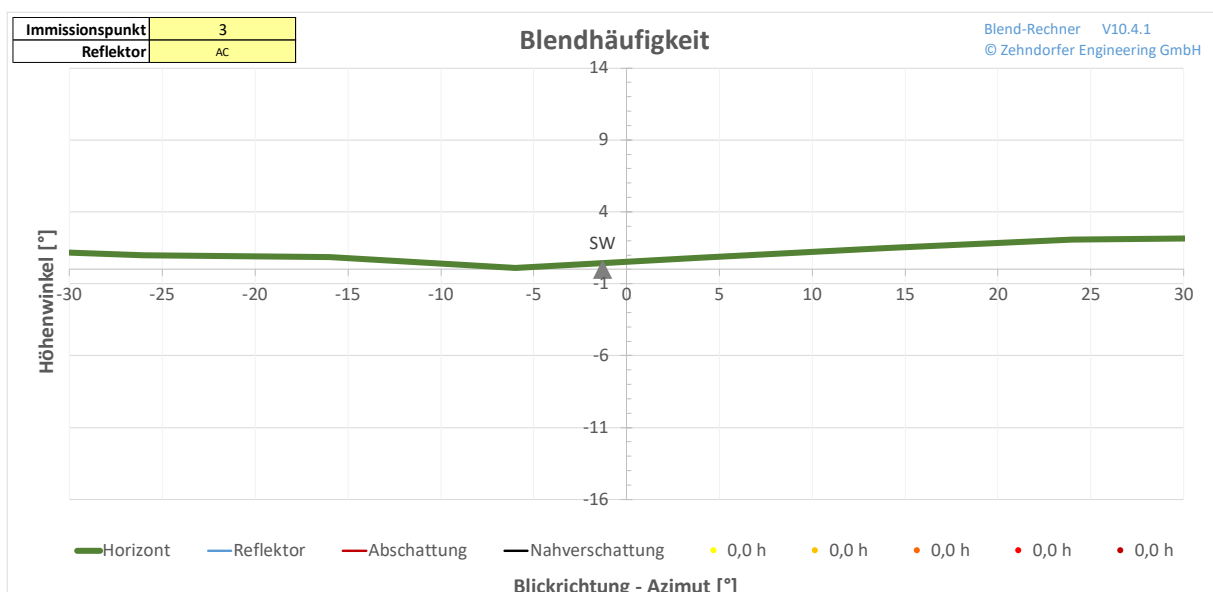
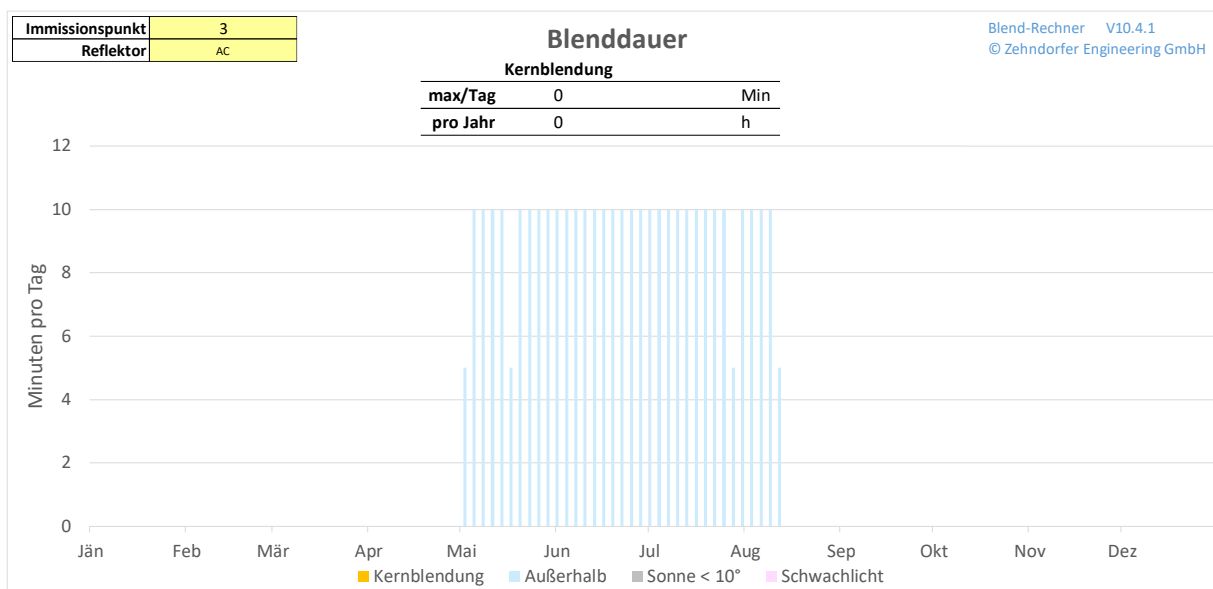
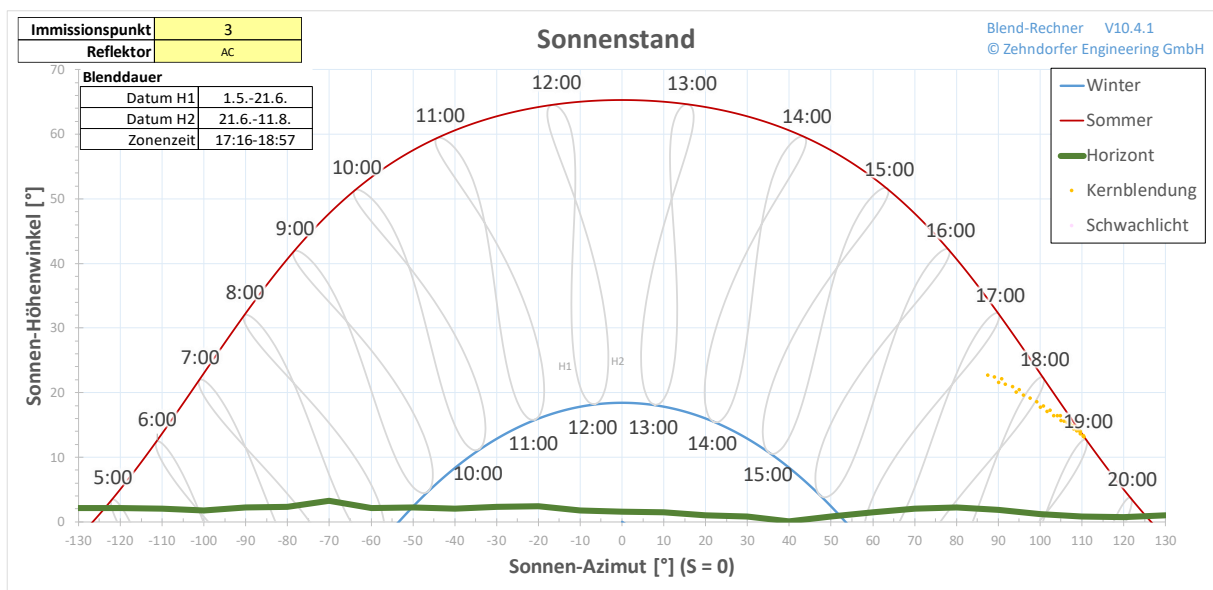
Anhang 5.1 Ost/West-Variante

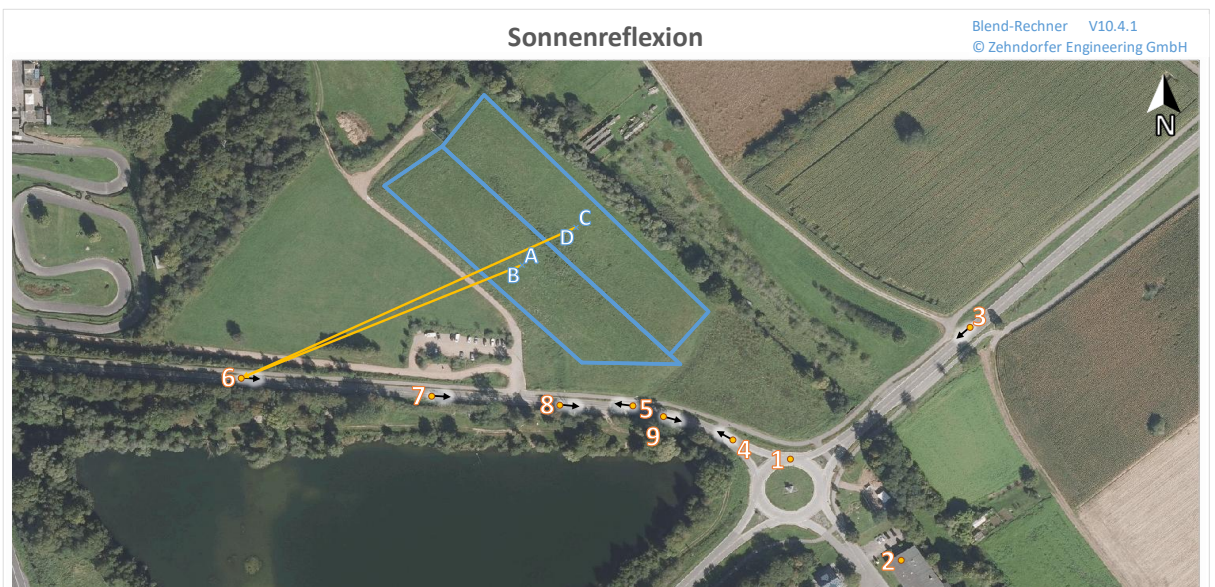
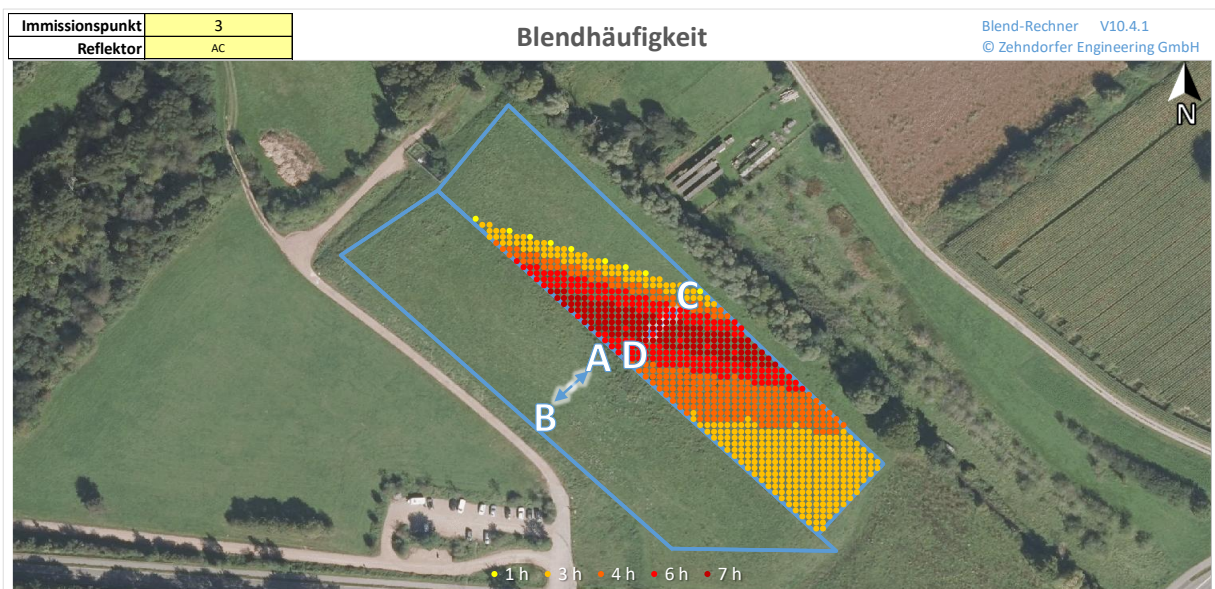
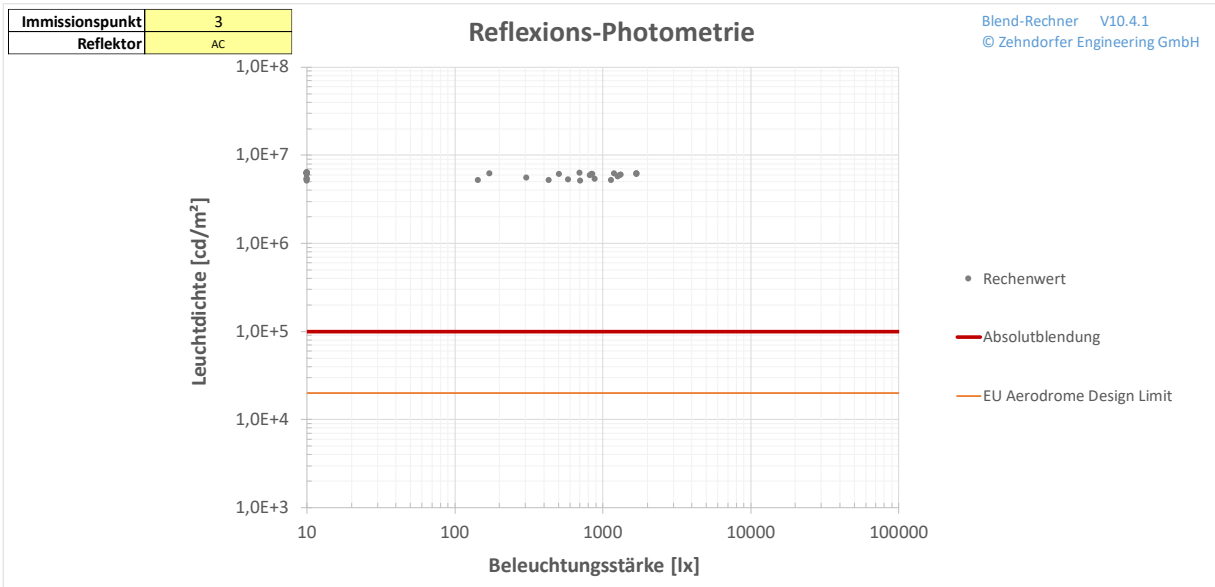
Reflektor		ACD	ABCD	AC	ABD	ABD	BD	BD	BD
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8
Distanz	m	90	183	155	58	28	149	78	30
Höhenwinkel	°	0	0	0	0	0	0	0	0
Raumwinkel	msr	3	4	8	10	32	13	23	29
Datum H1		-	-	1.5.-21.6.	-	-	1.5.-21.6.	19.5.-21.6.	-
Datum H2		-	-	21.6.-11.8.	-	-	21.6.-11.8.	21.6.-24.7.	-
Zeit		-	-	17:16-18:57	-	-	7:15-7:39	7:11-7:25	-
Kernblendung	min / Tag	-	-	0	-	-	5	5	-
Kernblendung	h / Jahr	-	-	0	-	-	3	2	-
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	-	-	23	-	-	26	25	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-	-	37	-	-	7	12	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]	-	-	6 434	-	-	5 129	5 370	-
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]	-	-	50	-	-	40	42	-
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	-	-	1 698	-	-	1 349	702	-

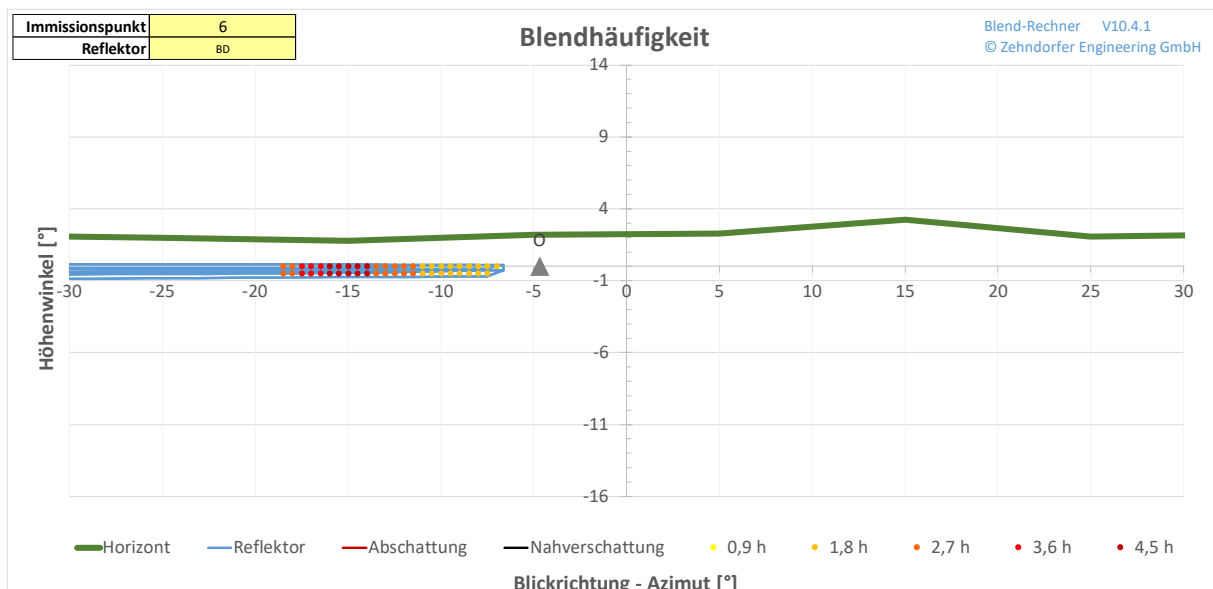
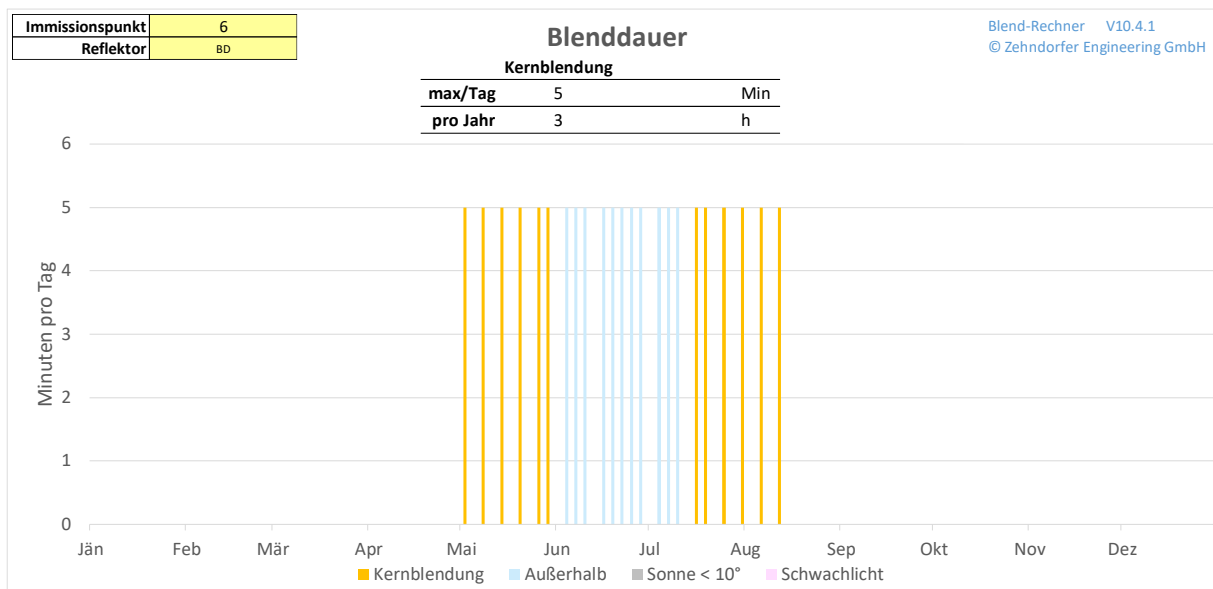
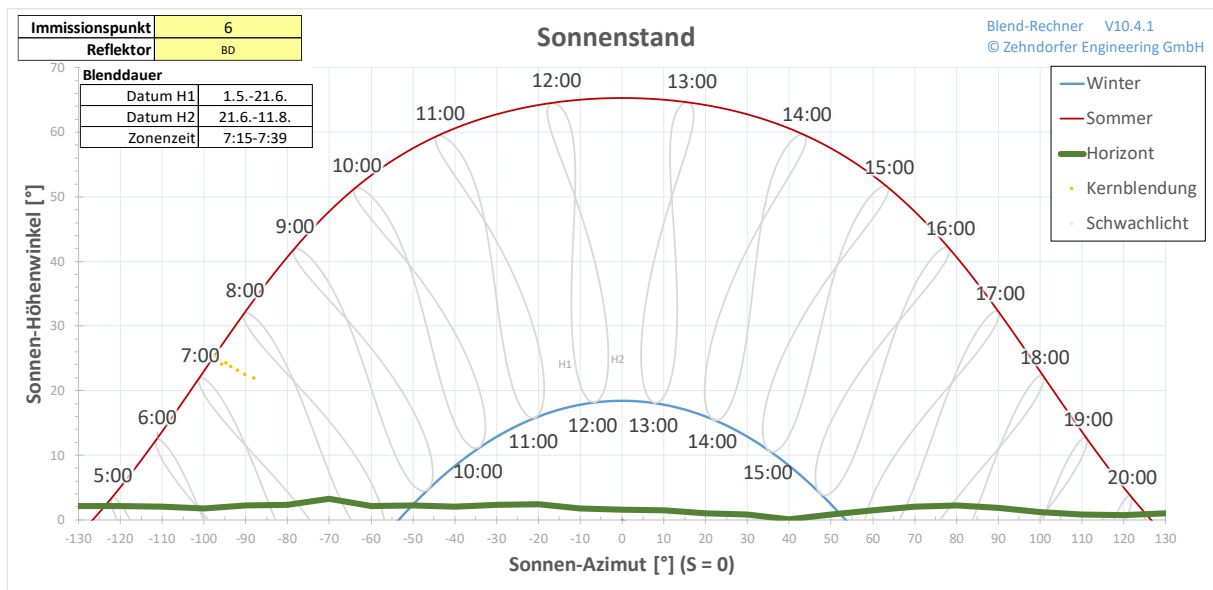
Reflektor		ABD
Immissionspunkt		9
Distanz	m	34
Höhenwinkel	°	0
Raumwinkel	msr	31
Datum H1		-
Datum H2		-
Zeit		-
Kernblendung	min / Tag	-
Kernblendung	h / Jahr	-
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	-
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]	-
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]	-
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	-

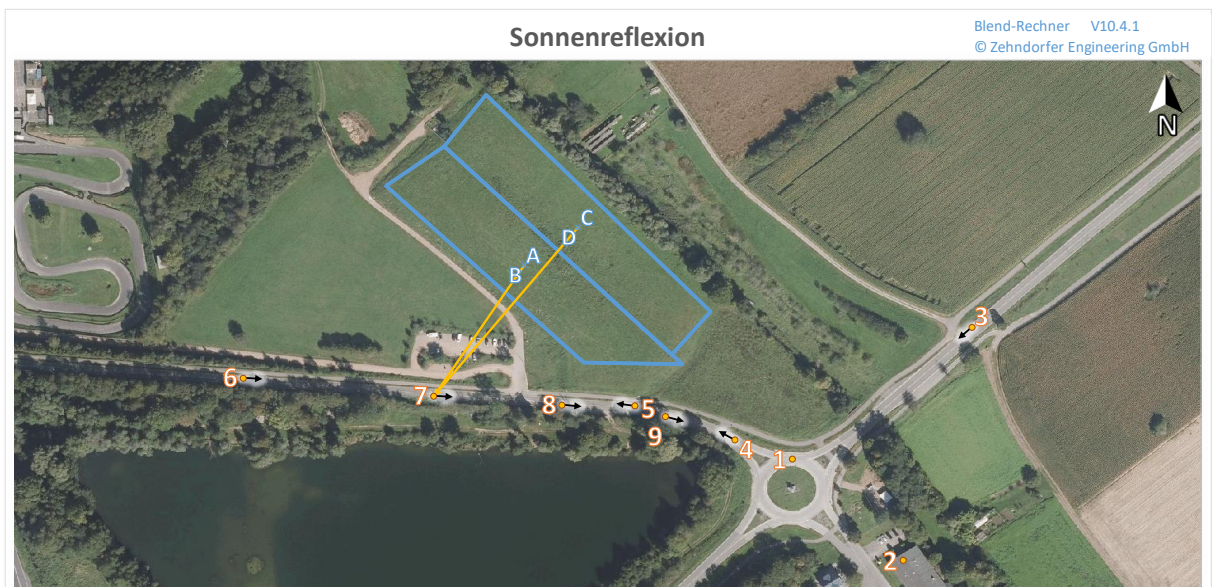
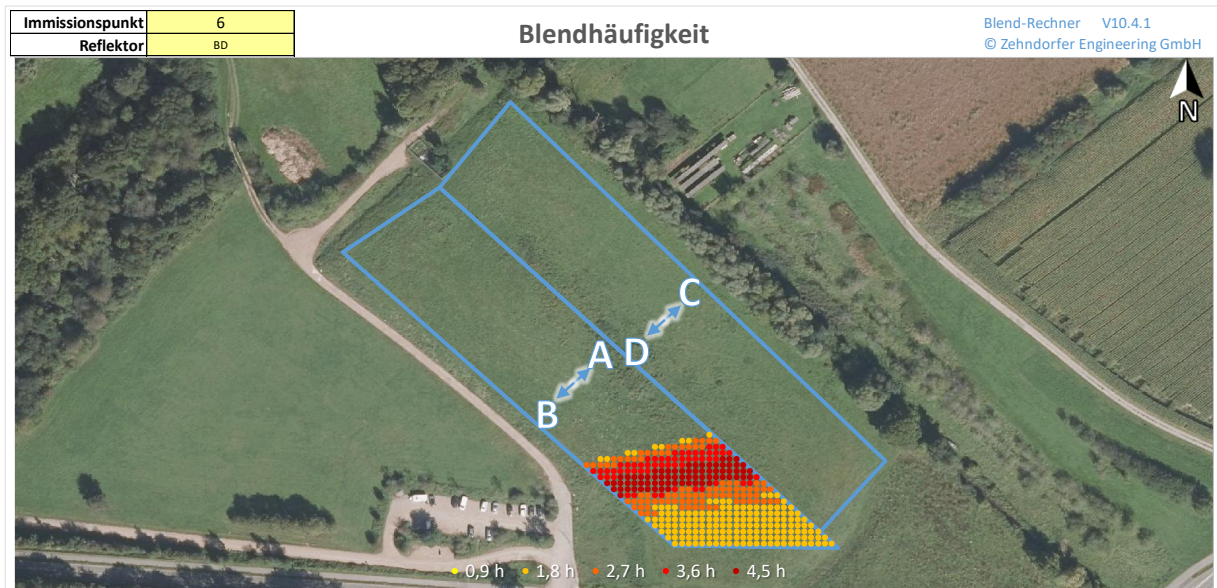
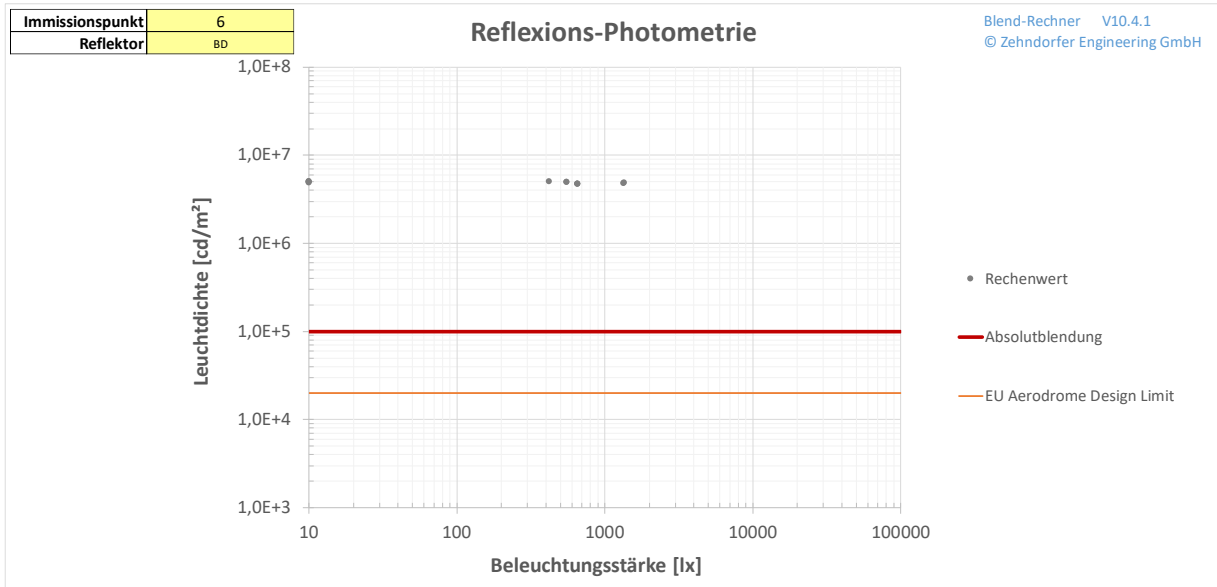
Im Folgenden werden jene Ergebnisse grafisch dargestellt, für welche Reflexionen auftreten können.

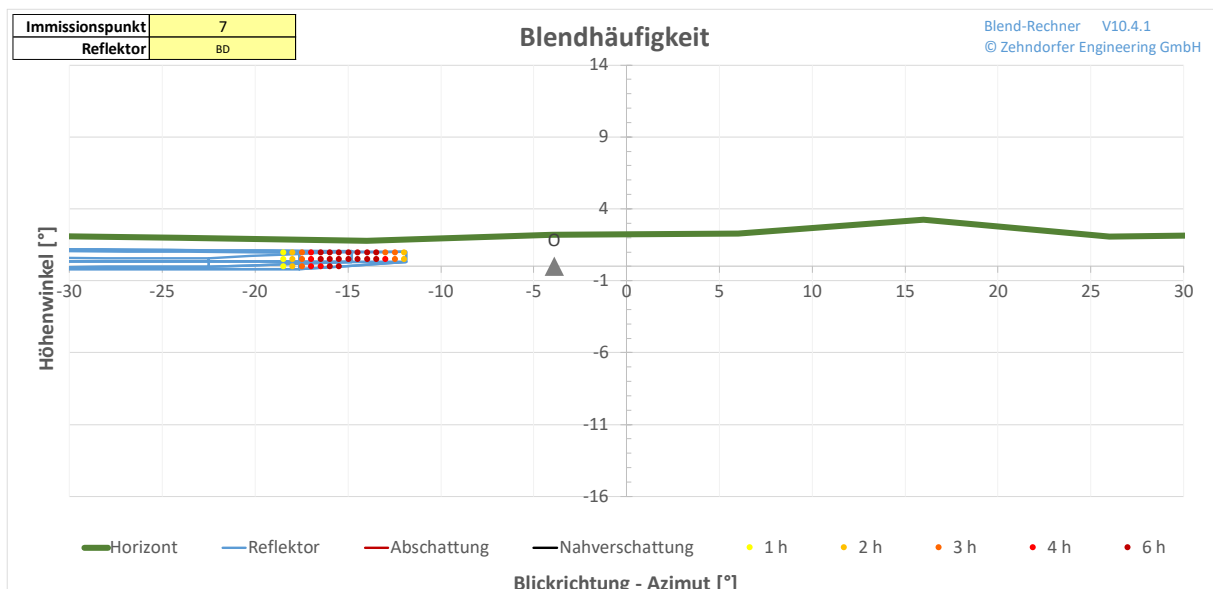
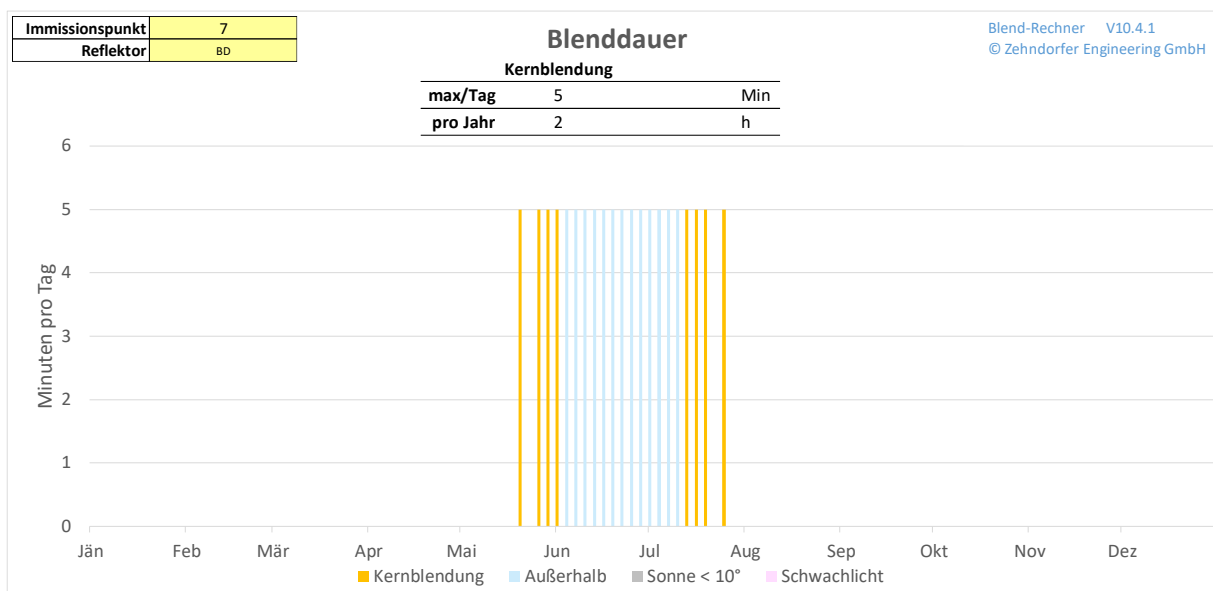
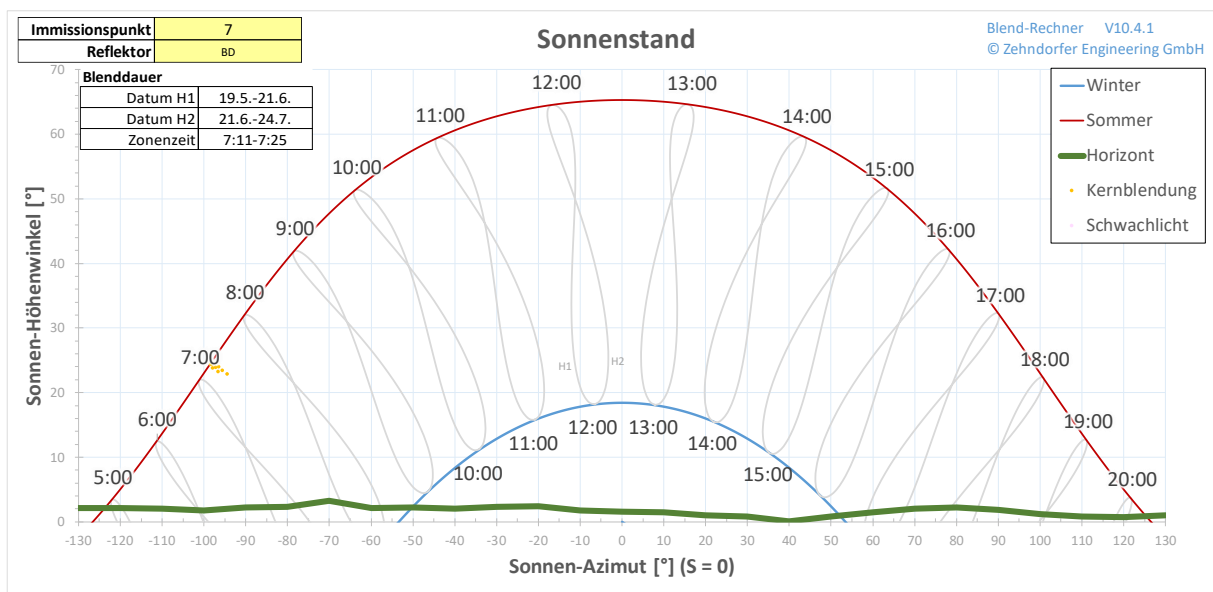


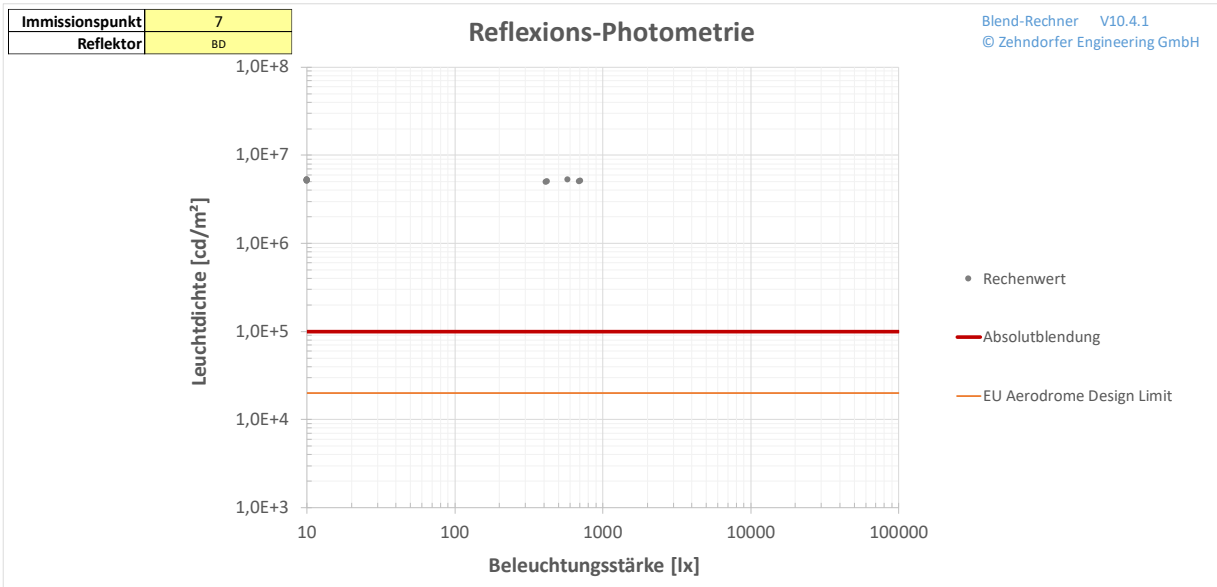








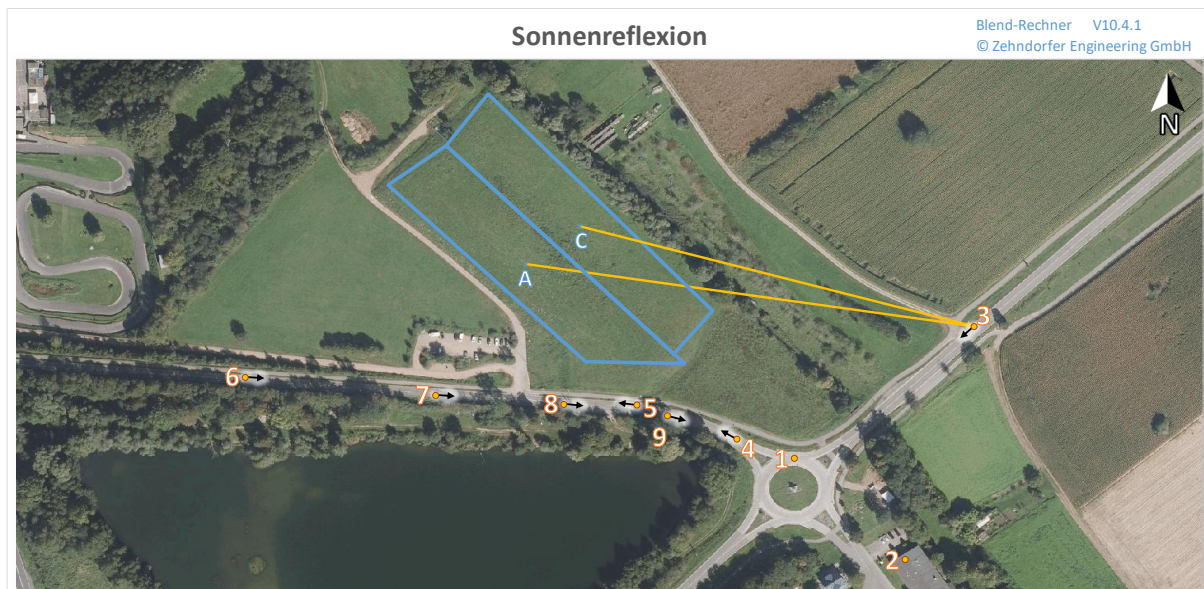


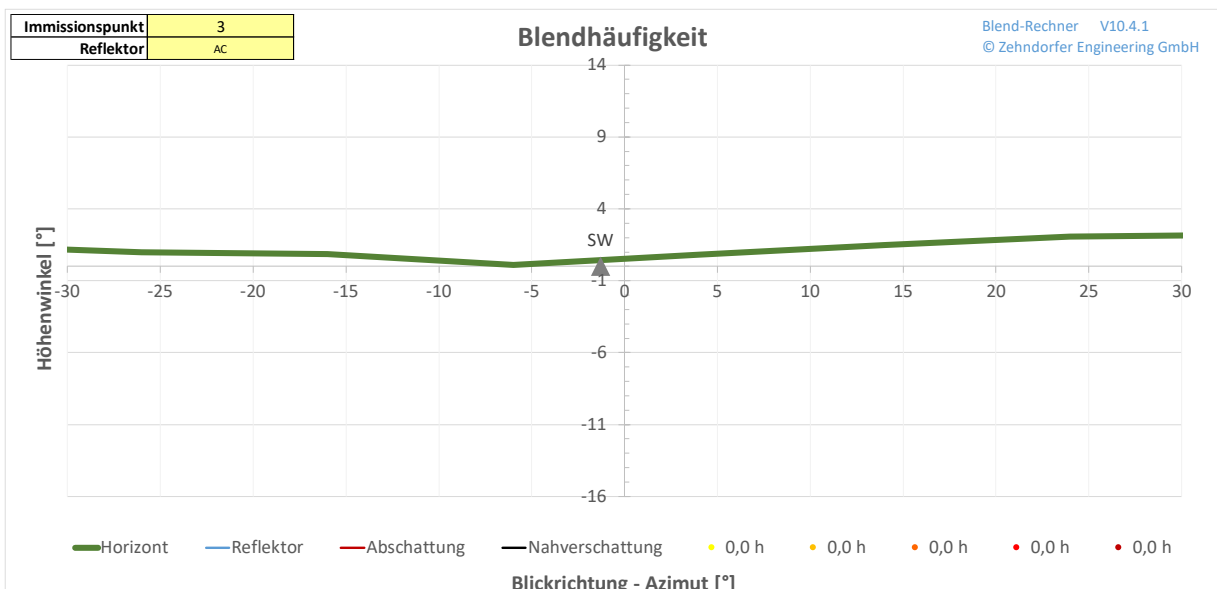
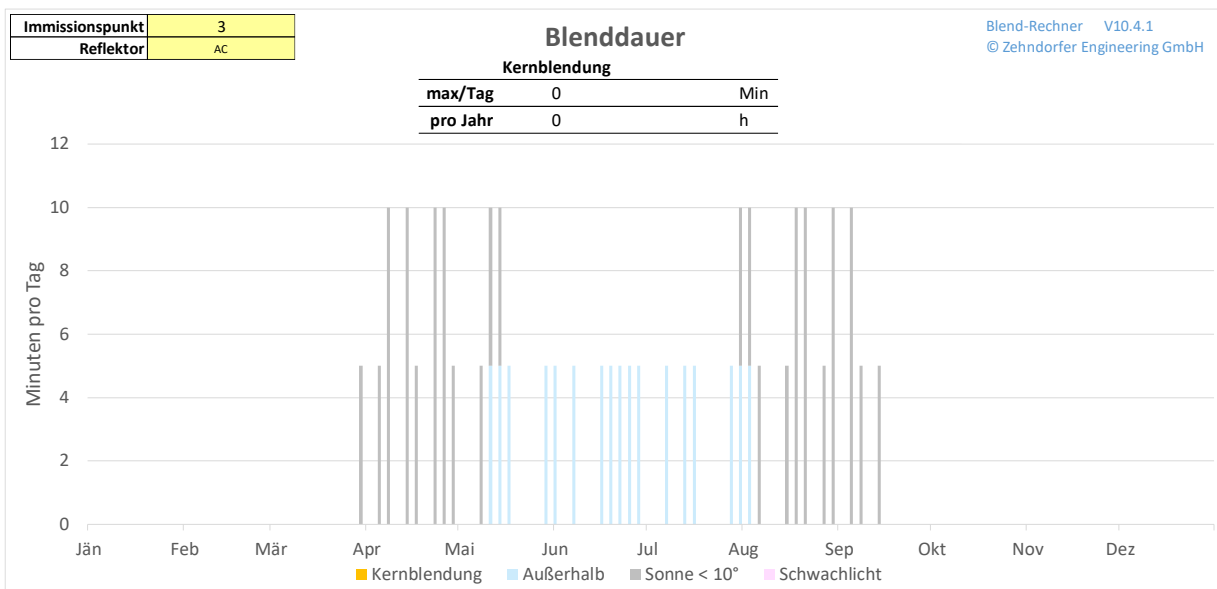
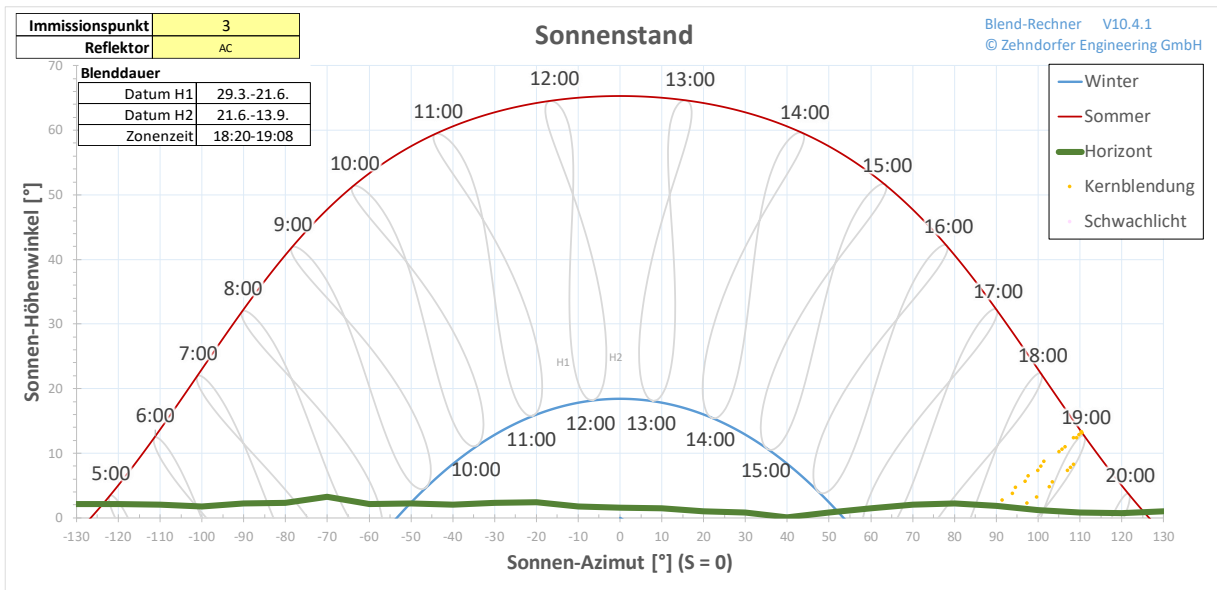


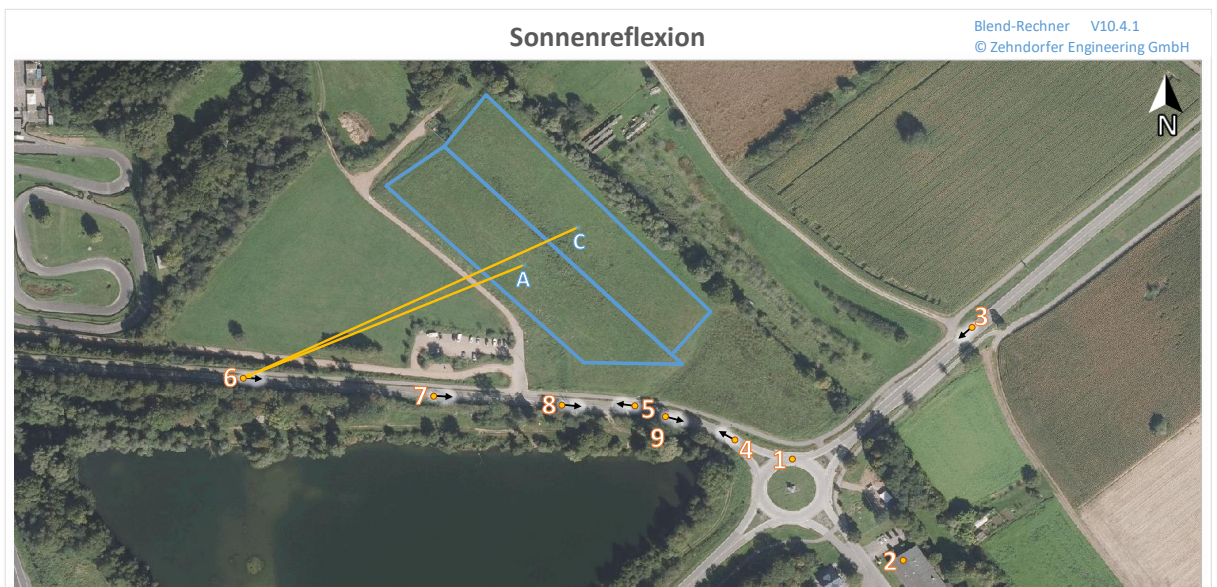
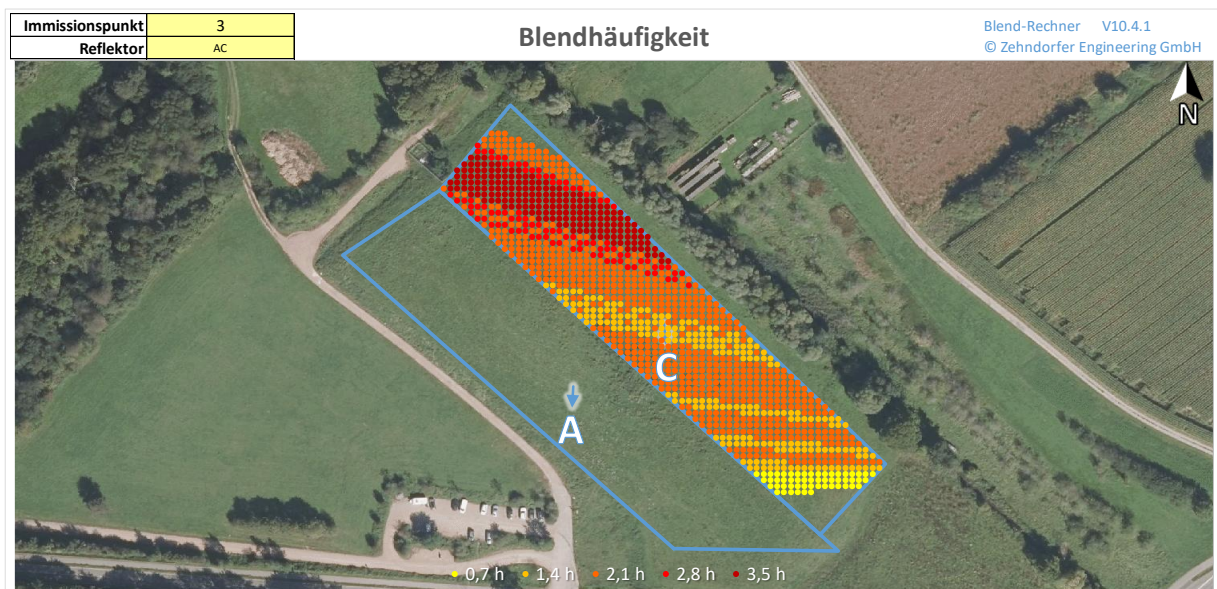
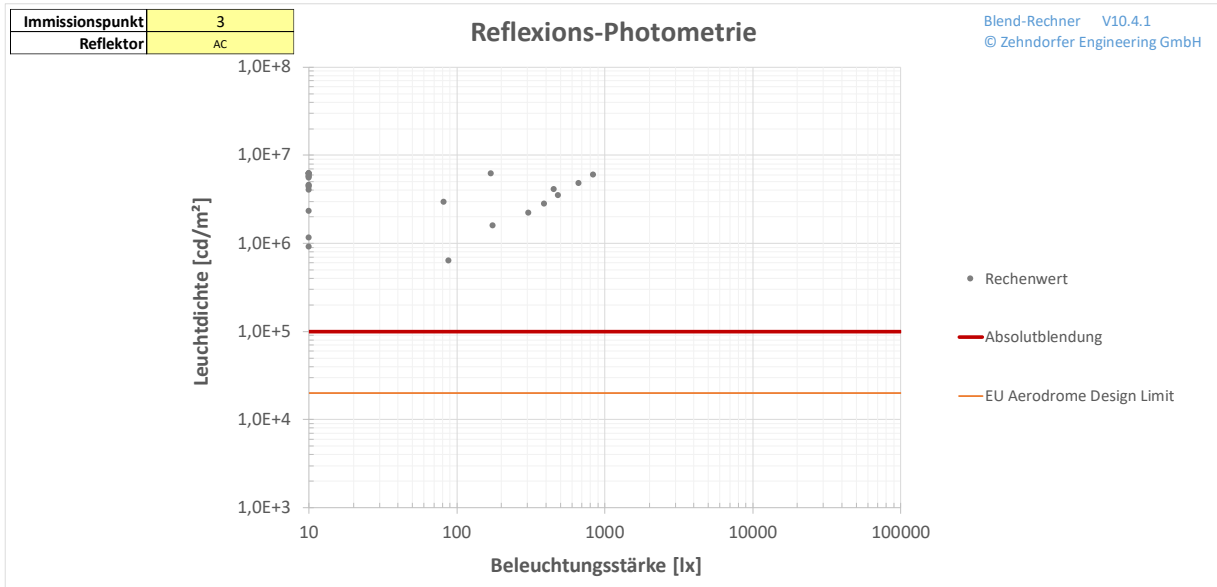
Anhang 5.2 Süd-Variante

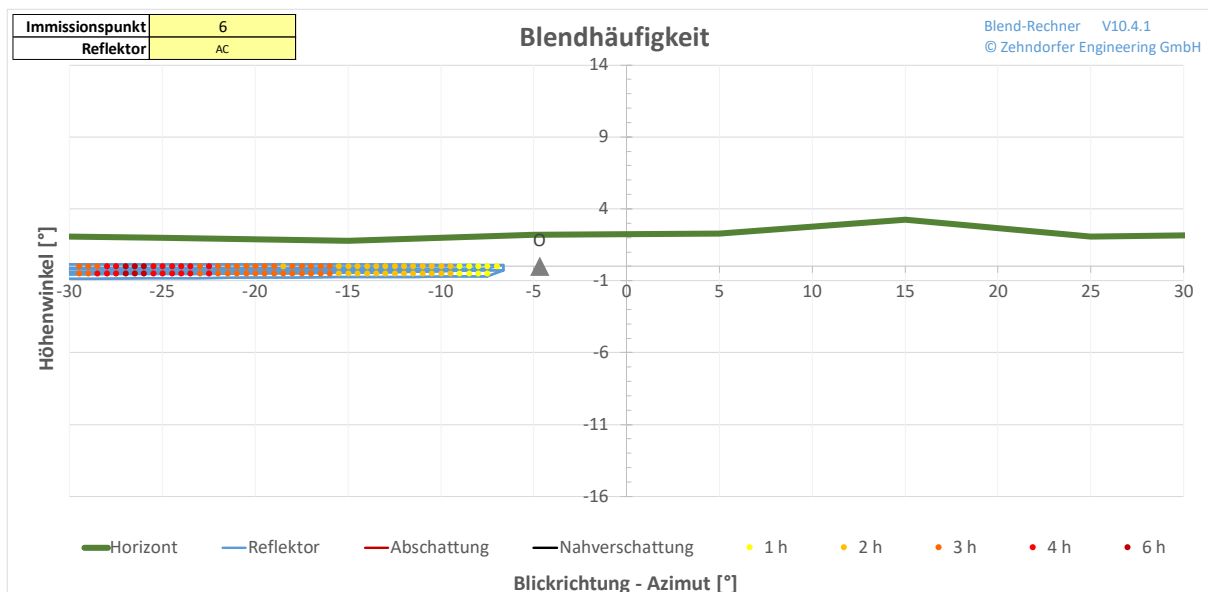
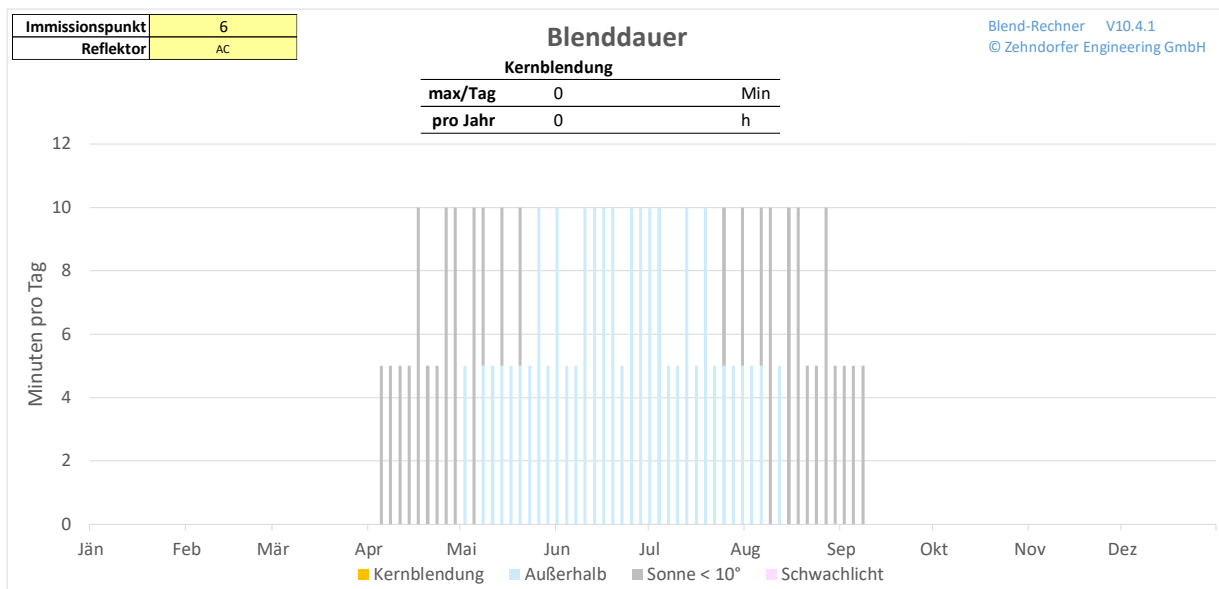
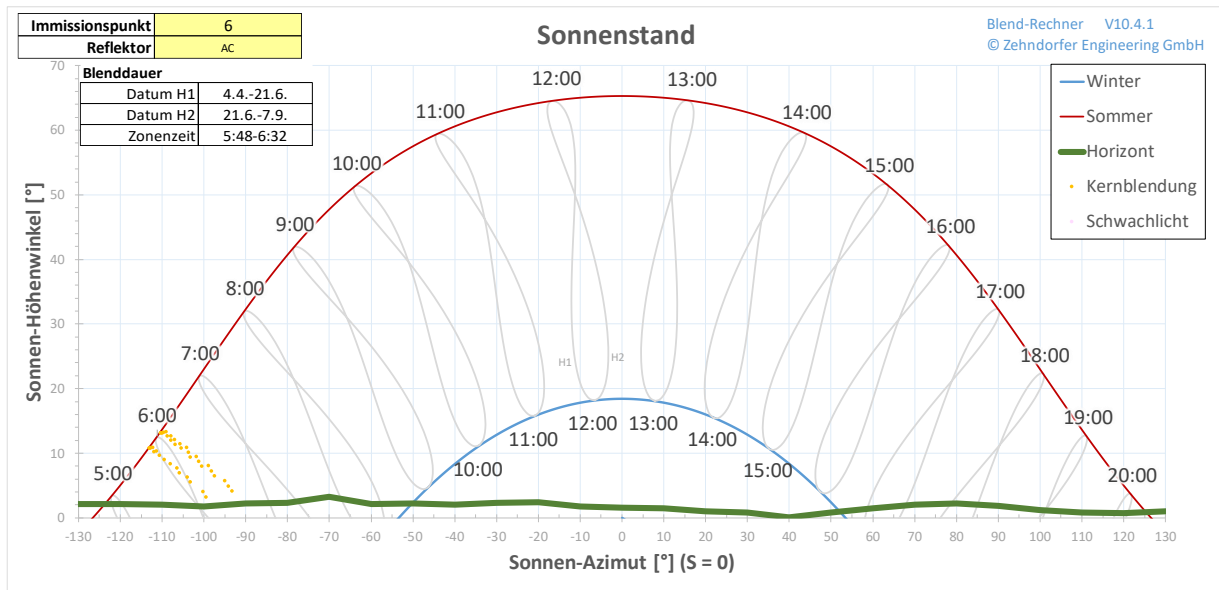
Reflektor		AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC	AC
Immissionspunkt		1	2	3	4	5	6	7	8
Distanz	m	90	183	155	58	28	149	78	30
Höhenwinkel	°	0	0	0	0	0	0	0	0
Raumwinkel	msr	2	2	8	8	26	13	23	29
Datum H1		-	-	29.3.-21.6.	-	-	4.4.-21.6.	16.4.-21.6.	19.5.-21.6.
Datum H2		-	-	21.6.-13.9.	-	-	21.6.-7.9.	21.6.-26.8.	21.6.-24.7.
Zeit		-	-	18:20-19:08	-	-	5:48-6:32	5:43-6:22	5:53-6:08
Kernblendung	min / Tag	-	-	0	-	-	0	0	0
Kernblendung	h / Jahr	-	-	0	-	-	0	0	0
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°	-	-	14	-	-	14	14	12
Blendung - Blickwinkel (min)	°	-	-	46	-	-	9	15	25
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]	-	-	6 295	-	-	6 284	6 566	6 801
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]	-	-	49	-	-	49	51	53
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]	-	-	831	-	-	819	1 043	186

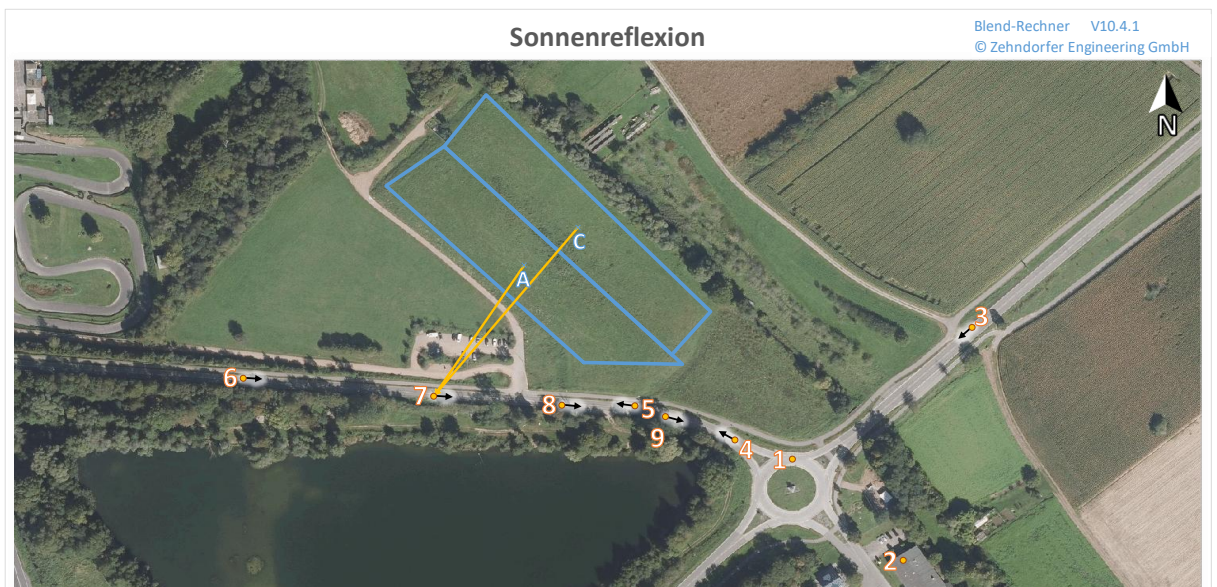
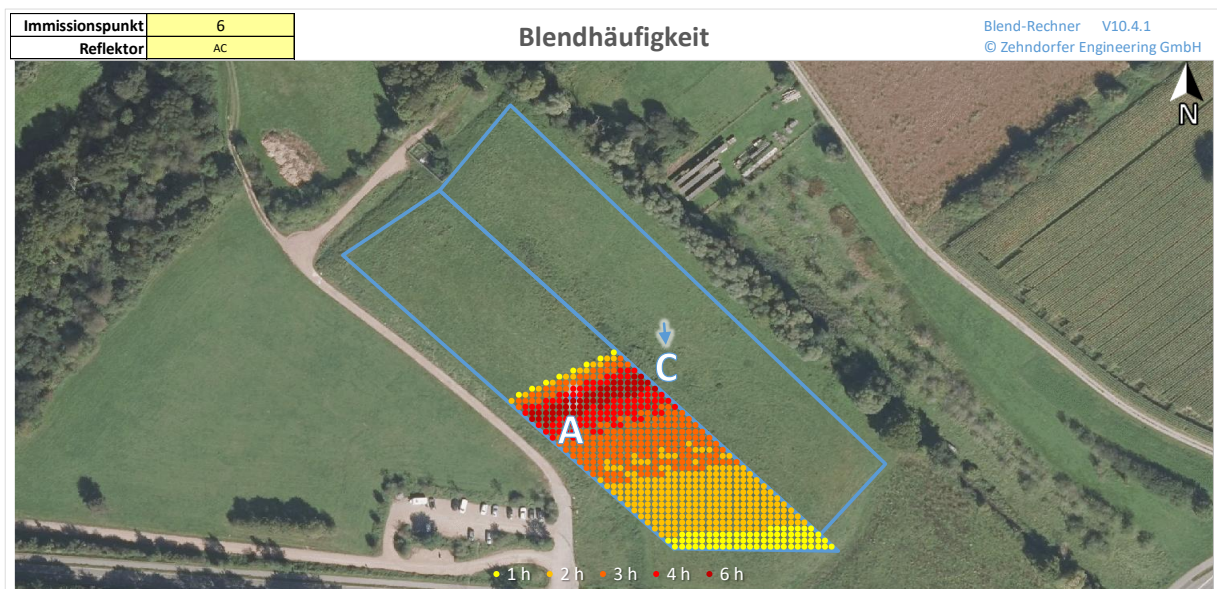
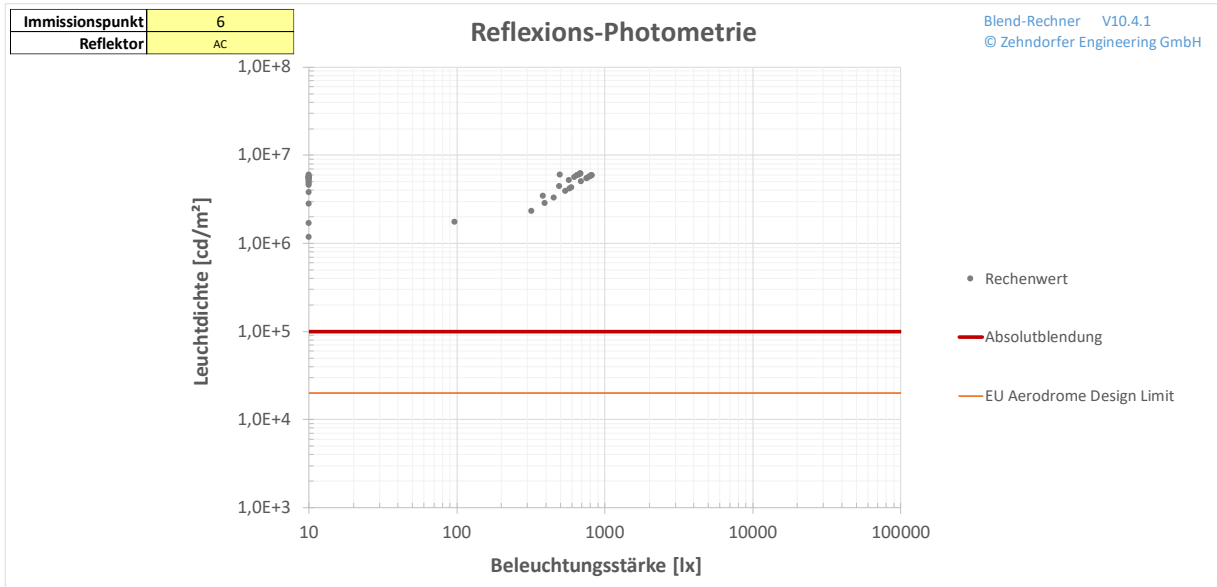
Reflektor	AC
Immissionspunkt	9
Distanz	m
Höhenwinkel	°
Raumwinkel	msr
Datum H1	-
Datum H2	-
Zeit	-
Kernblendung	min / Tag
Kernblendung	h / Jahr
Sonne-Reflektor-Winkel (max)	°
Blendung - Blickwinkel (min)	°
Leuchtdichte (max)	[k cd/m²]
Retinale Einstrahlung (max)	[mW/cm²]
Beleuchtungsstärke (max)	[lx]

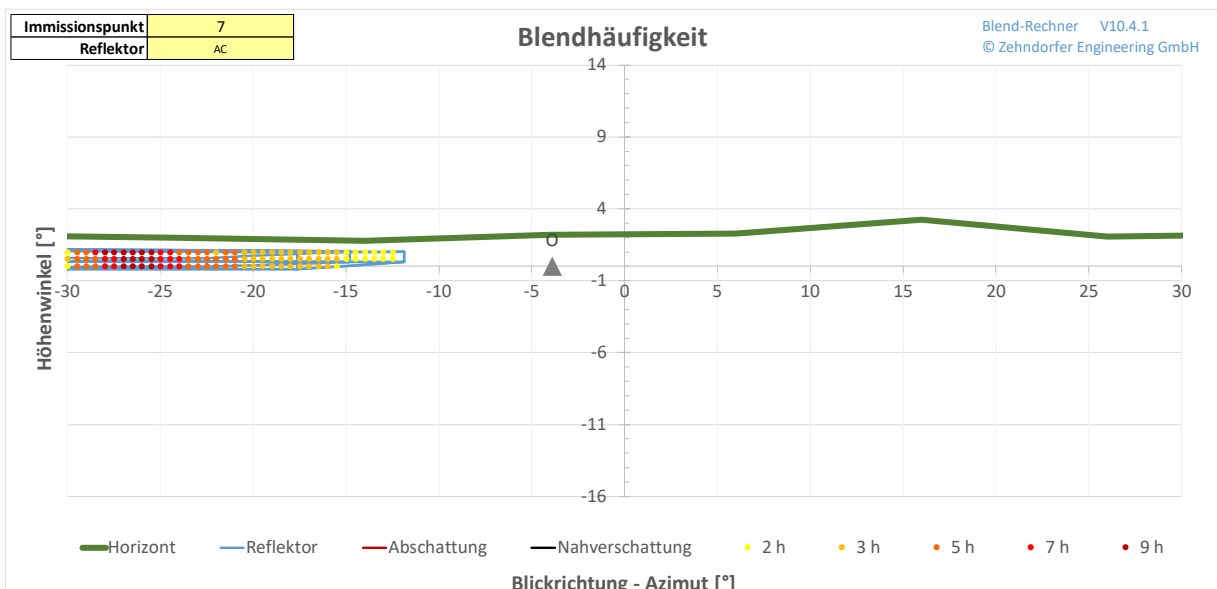
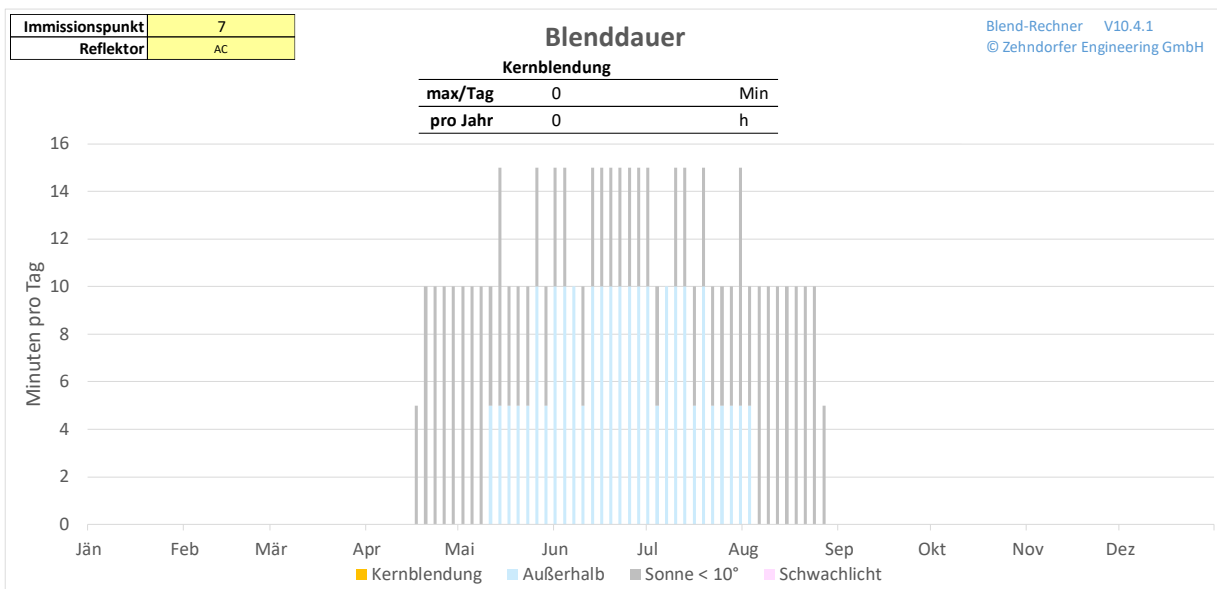
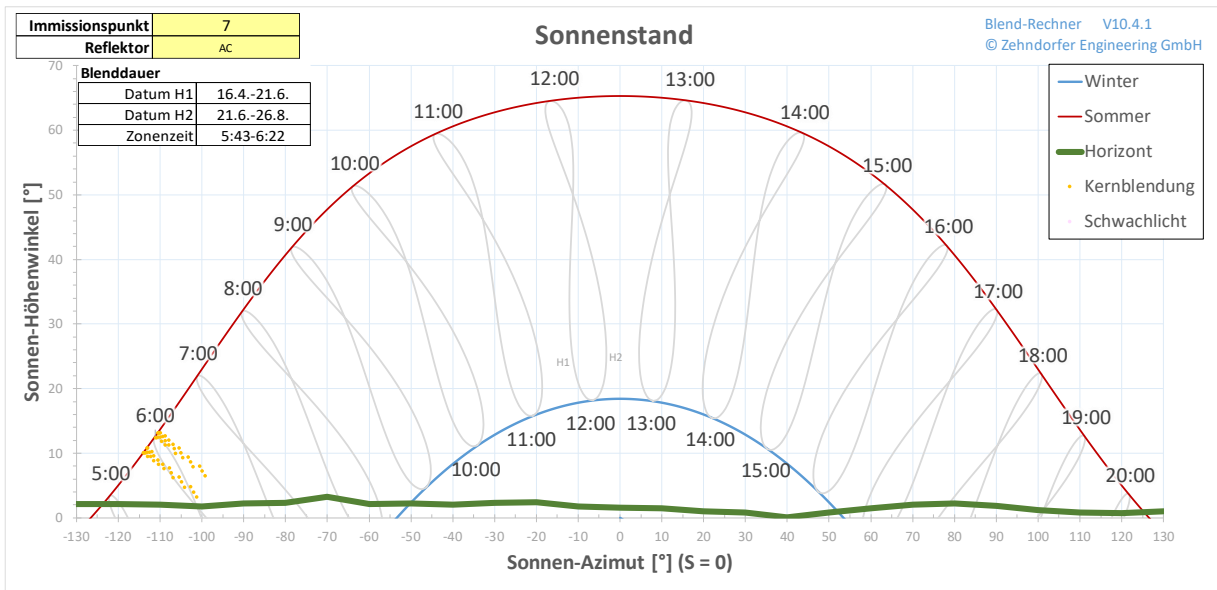


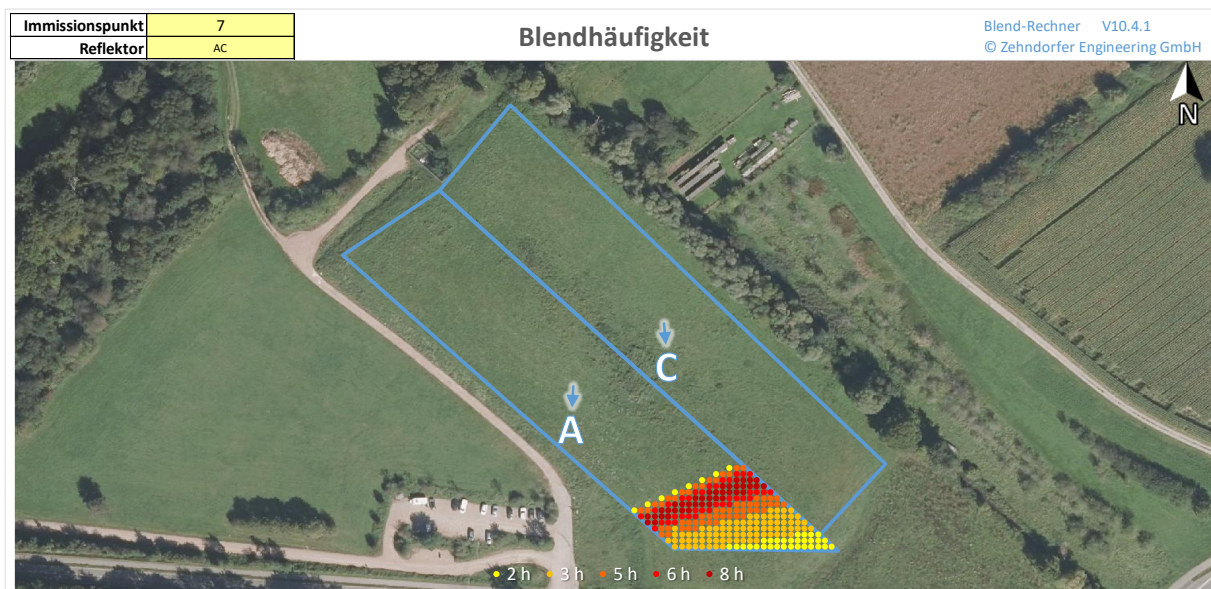
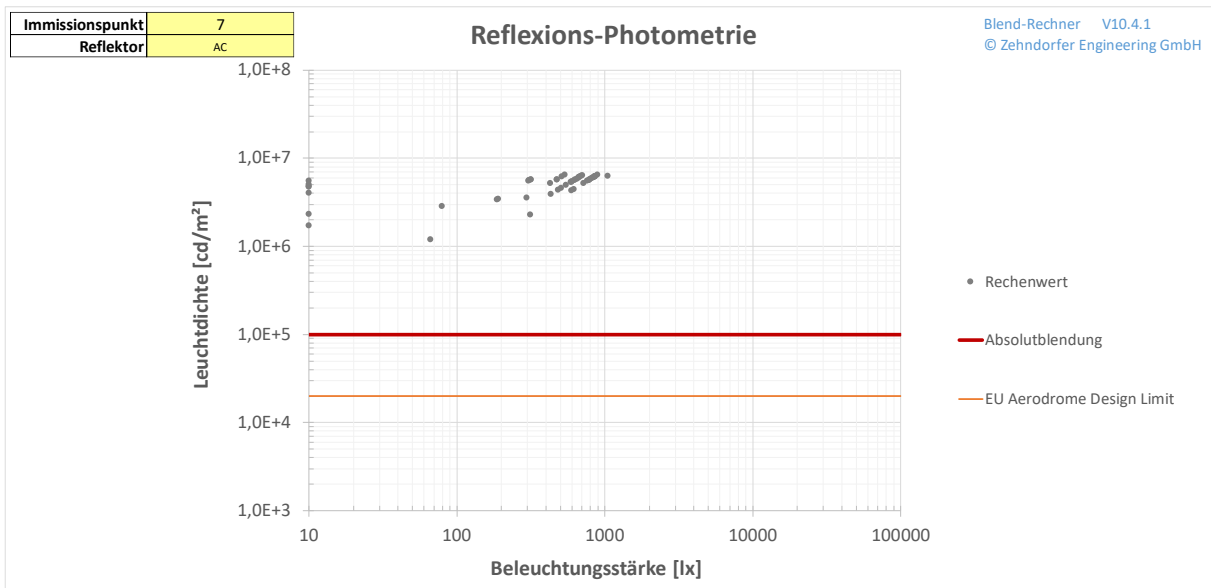


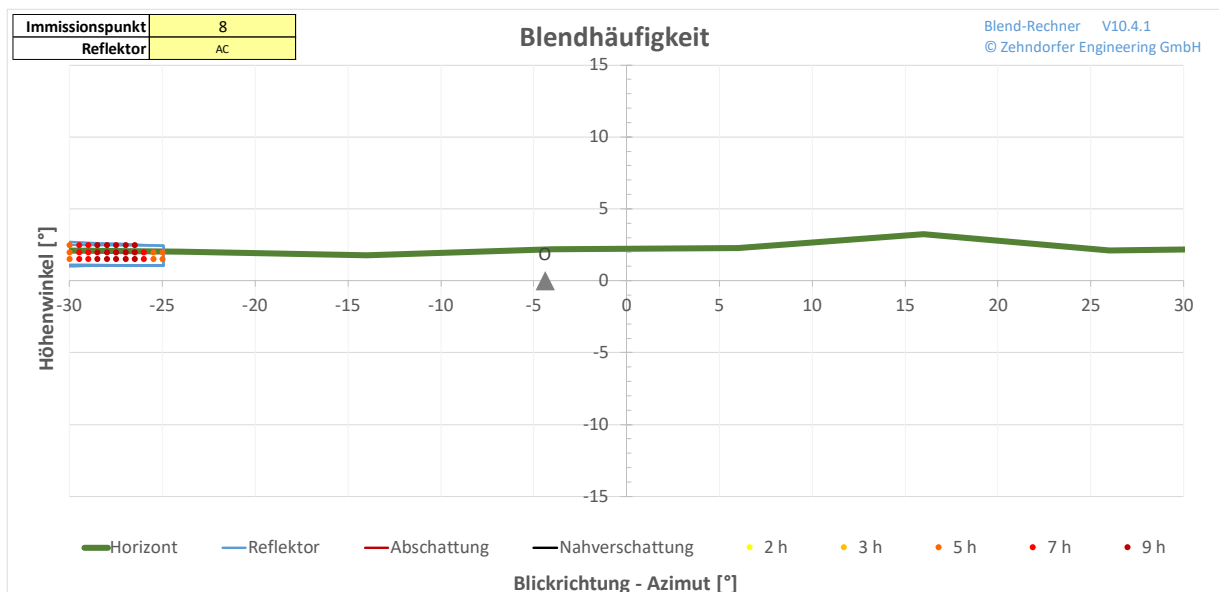
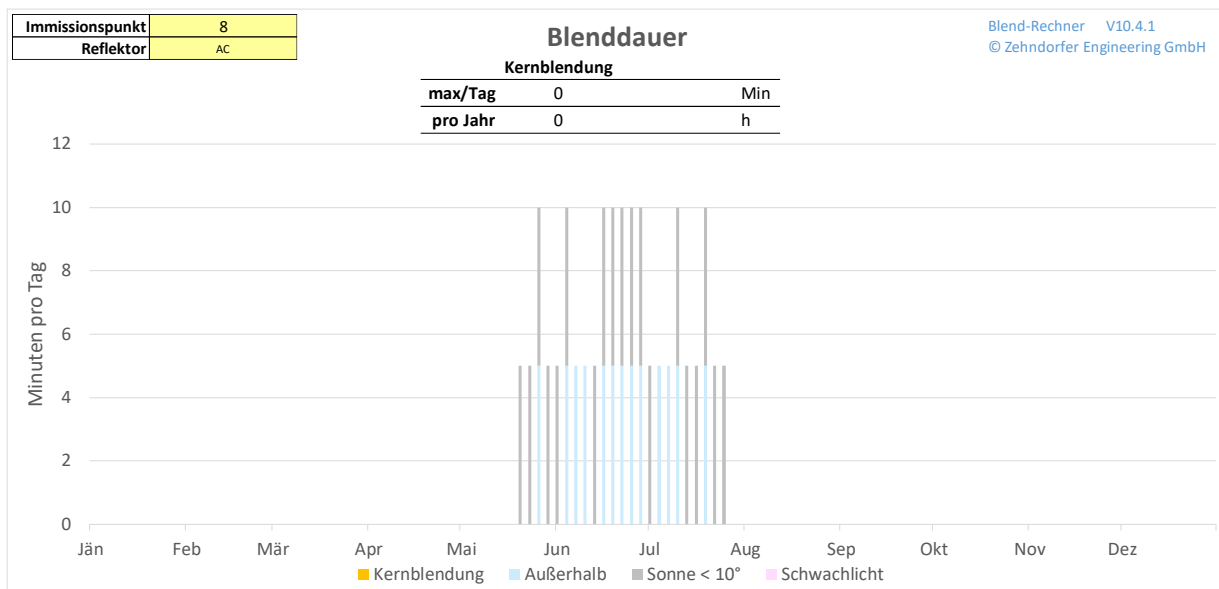
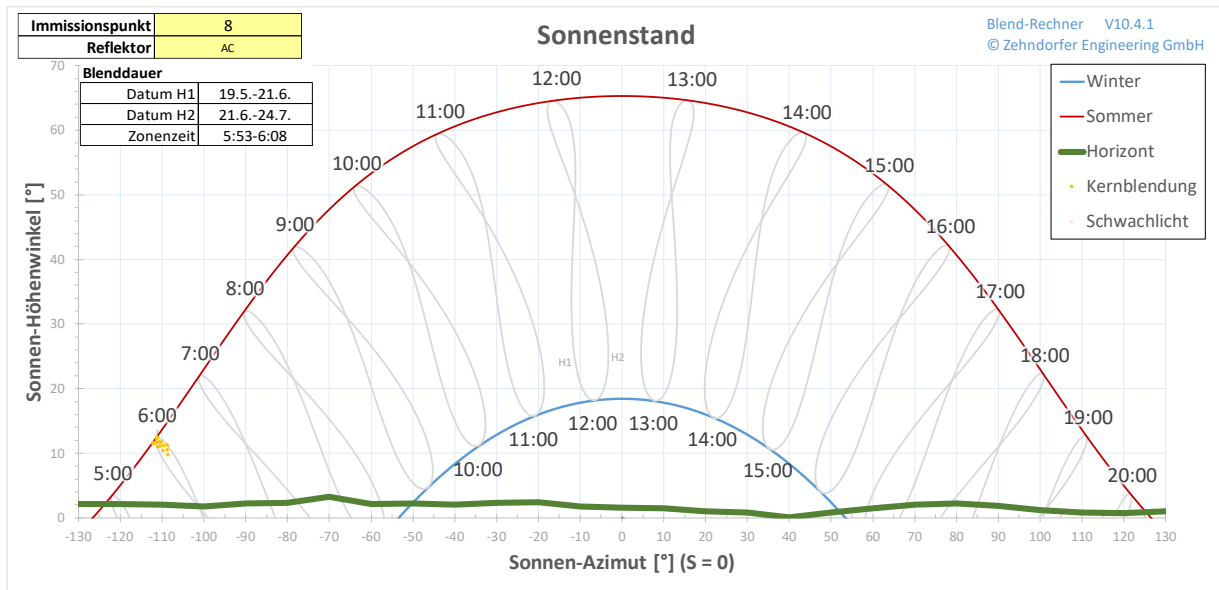


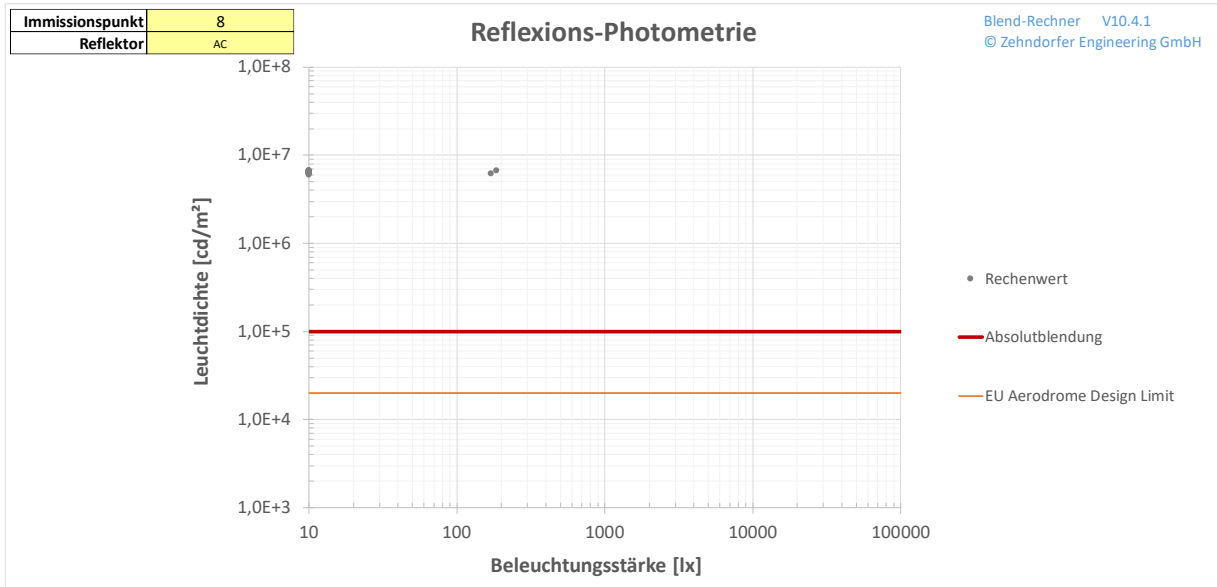












Allgemeine Hintergründe, gesetzliche Regelungen und Fallbeispiele zum Thema Blendung finden Sie auf www.zehndorfer.at

