

SolPEG Blendgutachten

Solarpark Gehrweiler

**Analyse der potentiellen Blendwirkung einer geplanten PV Anlage
in der Nähe von Gehrweiler in Rheinland-Pfalz**

SolPEG GmbH
Solar Power Expert Group
Normannenweg 17-21
D-20537 Hamburg

☎ +49 40 79 69 59 36

📞 +49 40 79 69 59 38

@ info@solpeg.com

🌐 www.solpeg.com

Inhalt

1	Auftrag	3
1.1	Beauftragung.....	3
1.2	Hintergrund und Auftragsumfang.....	3
2	Systembeschreibung.....	4
2.1	Standort Übersicht	4
2.2	Umliegende Gebäude.....	7
3	Ermittlung der potentiellen Blendwirkung.....	8
3.1	Rechtliche Hinweise	8
3.2	Blendwirkung von PV Modulen.....	8
3.3	Berechnung der Blendwirkung	10
3.4	Technische Parameter der PV Anlage	11
3.5	Standorte für die Analyse	12
3.6	Hinweise zum Simulationsverfahren	13
4	Ergebnisse	16
4.1	Ergebnisse am Messpunkt P1, L387 südöstlich	17
4.2	Ergebnisse am Messpunkt P2, L387 südlich.....	19
4.3	Ergebnisse am Messpunkt P3, L387 südöstlich	20
4.4	Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude südöstlich	21
4.5	Ergebnisse am Messpunkt P5, Gebäude südwestlich.....	22
5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	24
6	Schlussbemerkung	24
7	Anhang.....	25 - 36

SolPEG Blendgutachten

Analyse der potentiellen Blendwirkung der geplanten PV Anlage Gehrweiler

1 Auftrag

1.1 Beauftragung

Als unabhängiger Gutachter für Photovoltaik (PV) ist die SolPEG GmbH beauftragt, die potentielle Blendwirkung der geplanten PV Anlage „Gehrweiler“ für angrenzende Straßen sowie für Anwohner der ggf. umliegenden Gebäude zu analysieren und die Ergebnisse zu dokumentieren.

1.2 Hintergrund und Auftragsumfang

Lt. aktueller Gesetzgebung (§2 EEG) liegt die Nutzung Erneuerbarer Energien im überragenden öffentlichen Interesse und dient der öffentlichen Sicherheit. Der priorisierte Ausbau der erneuerbaren Energien als wesentlicher Teil des Klimaschutzgebotes soll im Rahmen einer Schutzgüterabwägung nur in Ausnahmefällen überwunden werden. Andererseits soll der Ausbau der erneuerbaren Energien auch die bestehenden Regelungen für den Immissionsschutz berücksichtigen. Dies gilt auch für Lichtimmissionen durch PV-Anlagen.

Grundlage für die Berechnung und Beurteilung von Lichtimmissionen ist die sog. Lichtleitlinie¹, die 1993 durch die Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verfasst und 2012 um einen Abschnitt zu PV Anlagen erweitert wurde. Nach überwiegender Meinung von Experten enthält die Lichtleitlinie nicht unerhebliche Defizite bzw. Unklarheiten und ist als Instrument für die sachgerechte Beurteilung von Reflexionen durch PV Anlagen nur bedingt anwendbar. Weitere Ausführungen hierzu finden sich im Abschnitt 4.

Die vorliegende Untersuchung soll klären ob bzw. in wie weit von der PV Anlage eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Licht-Leitlinie ausgehen könnte. Dies gilt für die angrenzenden Straßen sowie ggf. für Anwohner der umliegenden Gebäude.

Die zur Anwendung kommenden Berechnungs- und Beurteilungsgrundsätze resultieren im Wesentlichen aus den Empfehlungen in Anhang 2 der Licht-Leitlinie in der aktuellen Fassung vom 08.10.2012. Die Berechnung der Blendwirkung erfolgt auf Basis von vorliegenden Planungsunterlagen der PV Anlage. Eine Analyse der potentiellen Blendwirkung vor Ort wird momentan nicht als notwendig angesehen da die Anlagendokumentation ausreichend ist, um einen Eindruck zu vermitteln.

Da aktuell kein angemessenes Regelwerk verfügbar ist, sind die gutachterlichen Ausführungen zu den rechnerisch ermittelten Simulationsergebnissen zu beachten.

Einzelne Aspekte der Licht-Leitlinie werden an entsprechender Stelle wiedergegeben, eine weiterführende Beschreibung von theoretischen Hintergründen u.a. zu Berechnungsformeln kann im Rahmen dieses Dokumentes nicht erfolgen.

¹ Die Lichtleitlinie ist u.a. hier abrufbar: http://www.solpeg.de/LAI_Lichtleitlinie_2012.pdf

2 Systembeschreibung

2.1 Standort Übersicht

Die Fläche des Solarparks befindet sich in einem landwirtschaftlichen Gebiet westlich von Gehrweiler in Rheinland-Pfalz. Südlich der Fläche verläuft die L387. Die folgenden Informationen geben einen Überblick über den Standort.

Tabelle 1: Informationen über den Standort

Allgemeine Beschreibung des Standortes	Landwirtschaftliche Fläche westlich von Gehrweiler in Rheinland-Pfalz. Die Fläche ist leicht hügelig.
Koordinaten (Mitte)	49.570°N, 7.794°O, 310 m ü.N.N.
Entfernung zu angrenzenden Straßen	ca. 80 m
Entfernung zu umliegenden Gebäuden	ca. 460 m (südöstlich, nicht relevant)

Übersicht² über den Standort und die PV Anlage (schematisch)

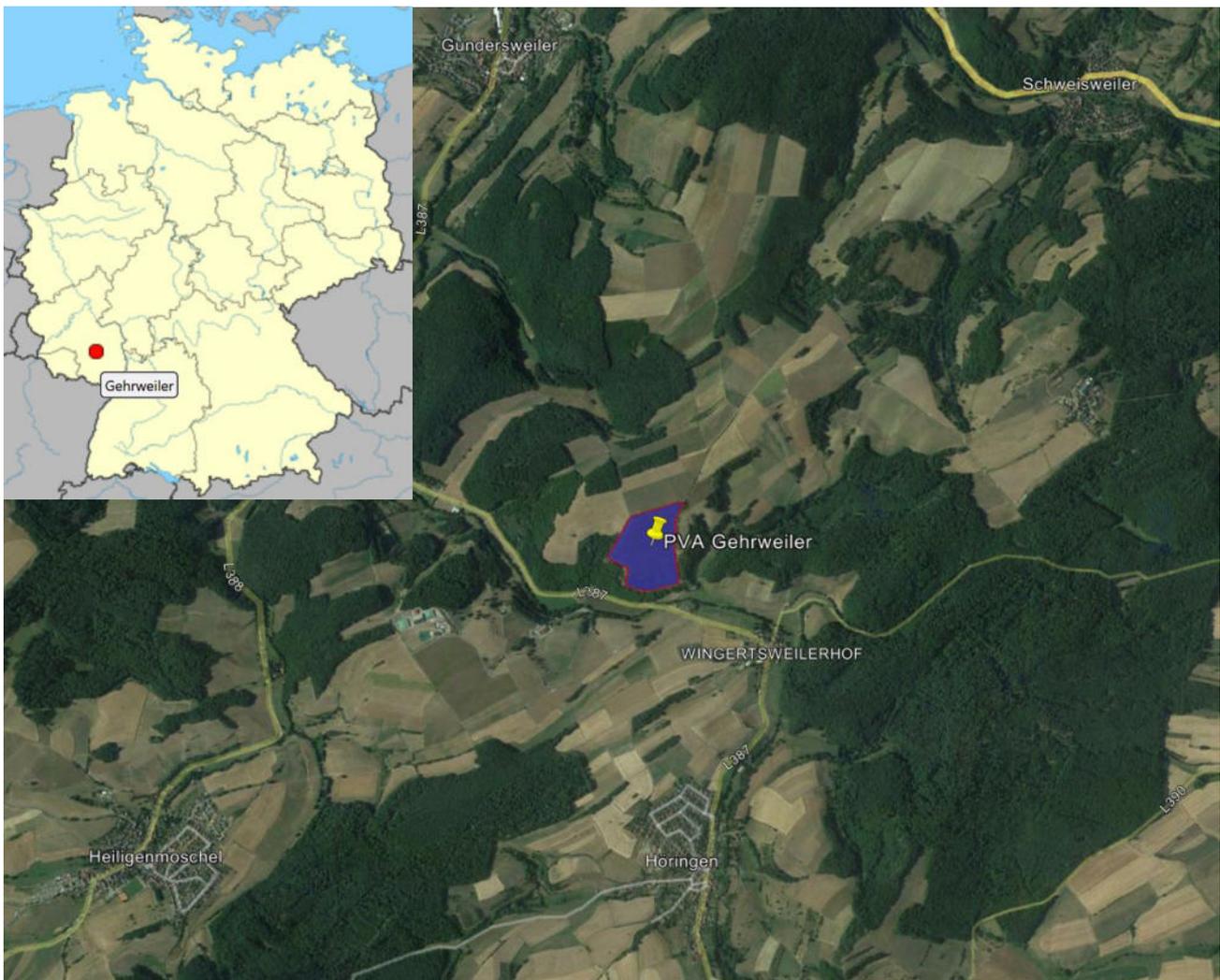


Bild 2.1.1: Luftbild mit Schema der PV Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

² Das verwendete Kartenmaterial u.a. von Google Earth (und Partnern) erfolgt im Rahmen der geltenden Lizenzvereinbarungen

Detailansicht der PV Anlage und Umgebung



Bild 2.1.2: Detailansicht der PV Fläche (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Detailansicht der PV Anlage



Bild 2.1.3: Detailansicht der PV Fläche (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Fotos von der PV Fläche und Umgebung. Blick von Südosten in Richtung Nordwesten.



Bild 2.1.4: Blick auf die PV Fläche (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Blick von Nordwesten in Richtung Südosten.



Bild 2.1.5: Blick auf die PV Fläche (Quelle: Auftraggeber, Ausschnitt)

2.2 Umliegende Gebäude

Nicht alle wahrnehmbaren Reflexionen haben eine Blendwirkung zur Folge. In der Licht-Leitlinie (Seite 23) wird zur Bestimmung einer Blendwirkung folgendes ausgeführt:

Ob es an einem Immissionsort im Jahresverlauf überhaupt zur Blendung kommt, hängt von der Lage des Immissionsorts relativ zur Photovoltaikanlage ab. Dadurch lassen sich viele Immissionsorte ohne genauere Prüfung schon im Vorfeld ausklammern: Immissionsorte

- die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen
- die vornehmlich nördlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind, sind meist ebenfalls unproblematisch.
- die vorwiegend südlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind, brauchen nur bei Photovoltaik-Fassaden (senkrecht angeordnete Photovoltaikmodule) berücksichtigt zu werden.

Hinsichtlich einer möglichen Blendung kritisch sind Immissionsorte, die vorwiegend westlich oder östlich einer Photovoltaikanlage liegen und nicht weiter als ca. 100 m von dieser entfernt.

Die folgende Skizze zeigt die PV Flächen und Umgebung. Gemäß Reflexionsgesetz können die umliegenden Gebäude theoretisch von potentiellen Reflexionen durch die PV Anlage erreicht werden. Aufgrund der sehr großen Entfernung von 460 m bzw. 890 m zur Immissionsquelle sind diese allerdings zu vernachlässigen. Die Standorte werden zu Kontrollzwecken dennoch analysiert. Andere Gebäude in der Umgebung sind aufgrund der Lage, des Einfallswinkels und der Entfernung nicht von Reflexionen durch die PV Anlage betroffen und werden nicht weiter analysiert. Details sind im Abschnitt 4 aufgeführt.



Bild 2.2.1: PV Anlage und umliegende Gebäude (Quelle: Google Earth/SolPEG)

3 Ermittlung der potentiellen Blendwirkung

3.1 Rechtliche Hinweise

Rechtliche Hinweise u.a. zur Licht-Leitlinie sind nicht Bestandteil dieses Dokumentes. Es sei lediglich darauf hingewiesen, dass nach aktueller Gesetzgebung der Ausbau der Erneuerbaren Energien im über-
ragenden öffentlichen Interesse liegt und der öffentlichen Sicherheit dient und somit höher wiegt als
Einzelinteressen. Darüber hinaus bestätigt ein aktuelles Urteil des OLG Braunschweig³ die grundsätzlich
fehlenden Bewertungsgrundlagen für Reflexion durch Sonnenlicht. Die Ausführungen der LAI Lichtleit-
linie können lediglich im Einzelfall als Orientierung herangezogen werden.

3.2 Blendwirkung von PV Modulen

Vereinfacht ausgedrückt nutzen PV Module das Sonnenlicht zur Erzeugung von Strom. Hersteller von
PV Modulen sind daher bestrebt, dass möglichst viel Licht vom PV Modul absorbiert wird, da möglichst
das gesamte einfallende Licht für die Stromproduktion genutzt werden soll. Die Materialforschung hat
mit speziell strukturierten Glasoberflächen (Texturen) und Antireflexionsschichten den Anteil des re-
flektierten Lichtes auf 1-4 % reduzieren können. Folgende Skizze zeigt den Aufbau eines PV Moduls:

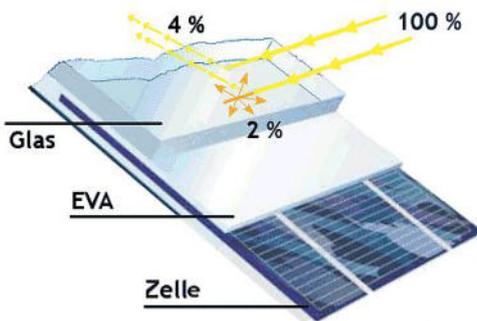


Bild 3.2.1: Anteil des reflektierten Sonnenlichtes bei einem PV Modul (Quelle: SolPEG)

PV Module zeigen im Hinblick auf Reflexion andere Eigenschaften als normale Glasoberflächen (z.B. PKW-Scheiben, Glasfassaden, Fenster, Gewächshäuser) oder z.B. Oberflächen von Gewässern. Direkt einfallendes Sonnenlicht wird von der Moduloberfläche diffus reflektiert:



Bild 3.2.2: Diffuse Reflexion von direkten Sonnenlicht (Einstrahlung ca. 980 W/m²) auf einem PV Modul (Quelle: SolPEG)

³ <https://oberlandesgericht-braunschweig.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presseinformationen/wenn-sonnenlicht-stort-nachbarrechtsstreitigkeit-wegen-reflexionen-einer-photovoltaikanlage-214293.html>

Das folgende Bild verdeutlicht die Reflexion von verschiedenen Moduloberflächen im direkten Vergleich. Links ein einfaches Modul ohne spezielle Oberflächenbehandlung. Das rechte Bild entspricht aktuellen, hochwertigen PV Modulen wie auch im Bild 3.2.2 dargestellt. Durch die strukturierte Oberfläche wird weniger Sonnenlicht reflektiert bzw. diffus reflektiert mit einer stärkeren Streuung. Die Leuchtdichte der Modulfläche ist entsprechend vermindert.

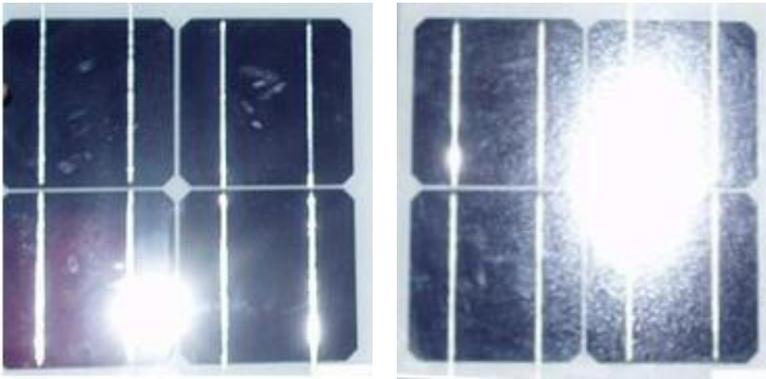


Bild 3.2.3: Diffuse Reflexion von unterschiedlichen Moduloberflächen (Quelle: Sandia National Laboratories, Ausschnitt)

Diese Eigenschaften können schematisch wie folgt dargestellt werden

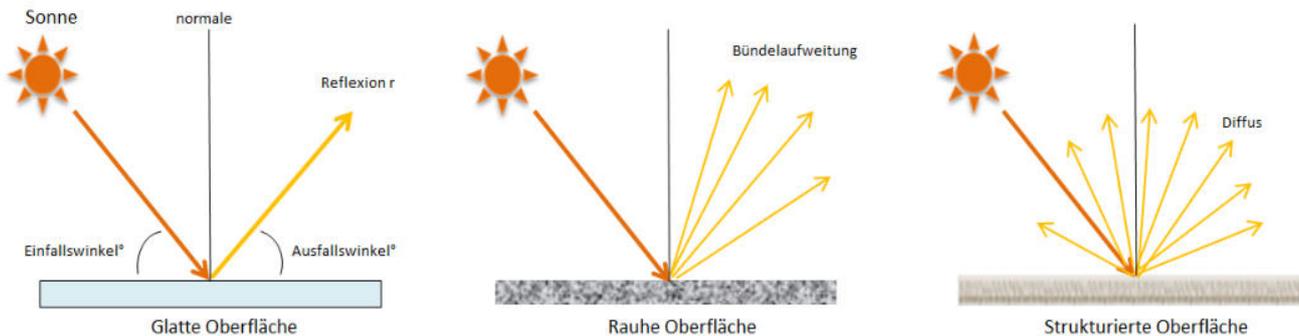


Bild 3.2.4: Reflexion von unterschiedlichen Oberflächen (Quelle: SolPEG)

Lt. Informationen des Auftraggebers sollen PV Module des Herstellers Astronergy mit extrem eisenarmen Solarglas mit Anti-Reflexbeschichtung zum Einsatz kommen. Die Simulationsparameter werden entsprechend eingestellt.

Es können aber auch Module eines anderen Herstellers mit ähnlichen Eigenschaften verwendet werden. Damit kommen die nach aktuellem Stand der Technik möglichen Maßnahmen zur Vermeidung von Reflexion und Blendwirkungen zur Anwendung.

MECHANICAL SPECIFICATIONS

Outer dimensions (L x W x H)	2384 x 1303 x 35 mm
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Front glass thickness	3.2 mm
Cable length (IEC/UL)	Portrait: 350 mm Landscape: 1400 mm
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
Maximum mechanical test load	5400 Pa (front) / 2400 Pa (back)

Bild 3.2.5: Auszug aus dem Moduldatenblatt, siehe auch Anhang

3.3 Berechnung der Blendwirkung

Die Berechnung der Reflexionen von elektromagnetischen Wellen (auch sichtbares Licht) erfolgt nach anerkannten physikalischen Erkenntnissen und den entsprechend abgeleiteten Gesetzen (u.a. Reflexionsgesetz, Lambert'sches Gesetz) sowie den entsprechenden Berechnungsformeln.

Darüber hinaus kommen die in Anhang 2 der Licht-Leitlinie beschriebenen Empfehlungen (Seite 21ff) zur Anwendung, es werden jedoch aufgrund fehlender Angaben u.a. für Fahrzeuglenker zusätzliche Quellen herangezogen, u.a. die Richtlinien der FAA⁴ zur Beurteilung der Blendwirkung für den Flugverkehr.

Eine umfassende Darstellung der verwendeten Formeln und theoretischen Hintergründe der Berechnungen ist im Rahmen dieser Stellungnahme nicht möglich.

Der grundlegende Ansatz zur Berechnung der Reflexion ist wie folgt. Wenn die Position der Sonne und die Ausrichtung des PV Moduls (Neigung: γ_p , Azimut α_p) bekannt ist, kann der Winkel der Reflexion (θ_p) mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\cos(\theta_p) = -\cos(\gamma_s) \cdot \sin(\gamma_p) \cdot \cos(\alpha_s + 180^\circ - \alpha_p) + \sin(\gamma_s) \cdot \cos(\gamma_p)$$

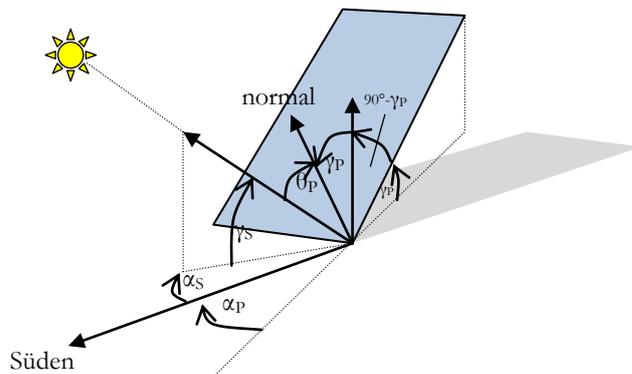


Bild 3.3.1: Schematische Darstellung der Reflexionen auf einer geneigten Fläche

Die unter 3.2 aufgeführten generellen Eigenschaften von PV Modulen (Glasoberfläche, Antireflexions-schicht) haben Einfluss auf den Reflexionsfaktor der Berechnung bzw. entsprechenden Berechnungsmodelle.

Die Simulation von Reflexionen geht zu jedem Zeitpunkt von einem klaren Himmel und direkter Sonneneinstrahlung aus, daher wird im Ergebnis immer die höchst mögliche Blendwirkung angegeben. Dies entspricht nur selten den realen Umgebungsbedingungen und auch Informationen über möglichen Sichtschutz durch Bäume, Gebäude oder andere Objekte können nicht ausreichend verarbeitet werden. Auch Wettereinflüsse wie z.B. Frühnebel/Dunst oder lokale Besonderheiten der Wetterbedingungen können nicht berechnet werden. Die Entfernung zur Blendquelle fließt in die Berechnung ein, jedoch sind sich die Experten uneinig ab welcher Entfernung eine Blendwirkung durch PV Anlagen zu vernachlässigen ist. In der Licht-Leitlinie⁵ wird eine Entfernung von 100 m genannt.

Die durchgeführten Berechnungen wurden u.a. mit Simulationen und Modellen des Sandia National Laboratories⁶, New Mexico überprüft.

⁴ US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths:
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

⁵ Licht-Leitlinie Seite 22: Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen.

⁶ Webseite der Sandia National Laboratories: <http://www.sandia.gov>

3.4 Technische Parameter der PV Anlage

Die optischen Eigenschaften und die Installation der Module, insbesondere die Ausrichtung und Neigung der Module sind wesentliche Faktoren für die Berechnung der Reflexionen. Lt. Planungsunterlagen werden PV Module mit Anti-Reflex Schicht verwendet, sodass deutlich weniger Sonnenlicht reflektiert wird als bei Standard Modulen. Dennoch sind Reflexionen nicht ausgeschlossen, insbesondere wenn das Sonnenlicht abends und morgens in einem flachen Winkel auf die Moduloberfläche trifft. Die folgende Skizze verdeutlicht die Konstruktion der Modulinstallation.

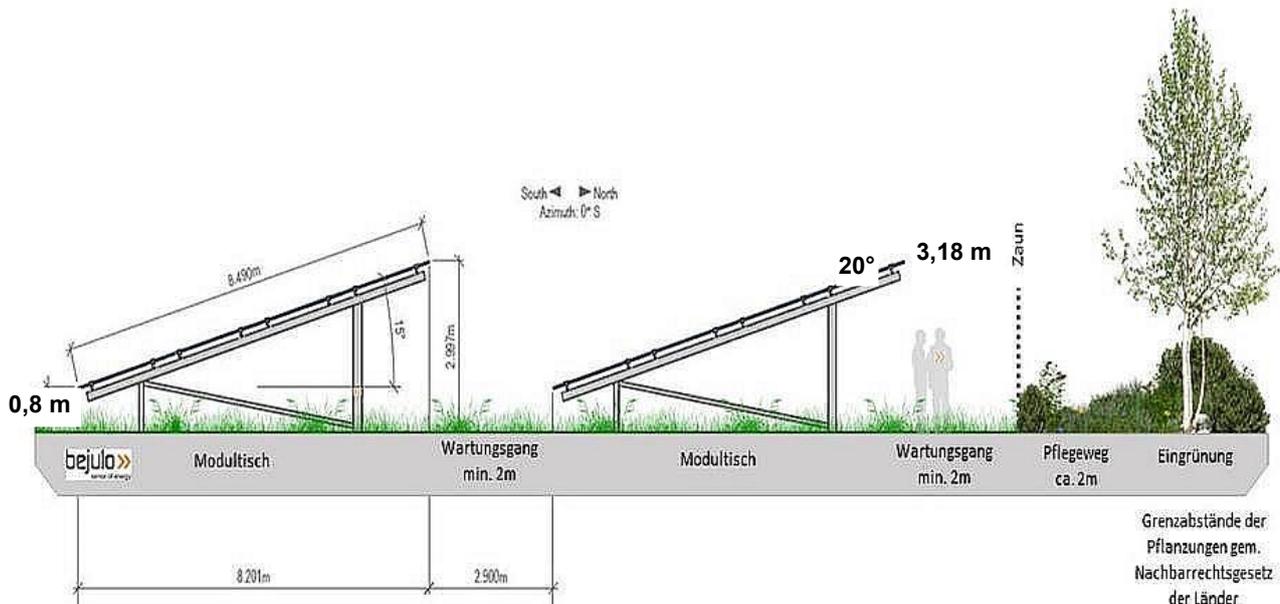


Bild 3.4.1: Skizze der Modulkonstruktion (Quelle: Systemplanung)

Die für die Untersuchung der Reflexion wesentlichen Parameter der PV Anlage sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: Berechnungsparameter

PV Modul	Astronergy (oder vergleichbar)
Moduloberfläche	Solarglas mit Anti-Reflexionsbehandlung (lt. Datenblatt)
Modulinstallation	Modultische, fest aufgeständert
Ausrichtung (Azimut)	180° (Süden)
Modulneigung	15°
Höhe der sichtbaren Modulfläche	ca. 0,80 m - 3,2 m (zulässig 3,50 m)
Höhe Messpunkte	2,0 m über Boden
Relevanter Sichtwinkel/Sektor	Fahrtrichtung +/- 20°, 100 m Sichtweite

Es existieren keine verbindlichen Vorgaben zum „relevanten Sichtwinkel“ aber in Fachkreisen wird überwiegend angenommen, dass Reflexionen in einem Winkel von 20° und mehr zur Blickrichtung keine Beeinträchtigung⁷ darstellen. In einem Winkel zwischen 10° - 20° können Reflexionen mit einer bestimmten Leuchtdichte eine moderate Blendwirkung erzeugen und unter 10° werden sie überwiegend als Beeinträchtigung empfunden. Unter Berücksichtigung dieser Aspekte wird der für Reflexionen relevante Sichtwinkel (Sektor) als der Bereich innerhalb einer Spanne von +/- 20° um die Fahrtrichtung definiert. Die Sichtweite beträgt dabei 100 m.

⁷ Ein Aspekt ist die Anordnung und Anzahl der relevanten Schzellen (Zapfen und Stäbchen) im menschlichen Auge

3.5 Standorte für die Analyse

Bei der Analyse von potenziellen Blendwirkungen wird das Auftreffen von Reflexionen, die Dauer und die Intensität an einem festgelegten Messpunkt (Immissionsort) untersucht, es geht nicht um die Sichtbarkeit oder die optische Bewertung der PV-Anlage. Das Auftreffen von Reflexionen an einem Messpunkt wird zunächst rechnerisch ermittelt, unabhängig von der Ausrichtung der Straße/Bahnstrecke bzw. der Fahrtrichtung (RiFa) und unabhängig davon ob Reflexionen überhaupt wahrnehmbar sein können. Bei der anschließenden Analyse und Bewertung einer potenziellen Blendwirkung durch diese Reflexionen werden allerdings zusätzliche Aspekte einbezogen, u.a. die relevante Blickrichtung, die Entfernung zur Immissionsquelle sowie die örtlichen Gegebenheiten.

Die Analyse kann aus technischen Gründen nicht für beliebig viele Messpunkte durchgeführt werden. Je nach Größe und Beschaffenheit der PV-Anlage werden in der Regel 4 - 5 Messpunkte exemplarisch gewählt und die jeweils im Jahresverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. Die Messpunkte (Position und Höhe) werden anhand von Erfahrungswerten sowie den Ausführungen der Lichtleitlinie zu schutzwürdigen Zonen festgelegt. U.a. können Objekte im Süden von PV-Anlagen aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz nicht von potenziellen Reflexionen erreicht werden und werden daher nur in besonderen Fällen untersucht.

Für die Analyse einer potentiellen Blendwirkung der PV Anlage Gehrweiler wurden insgesamt 5 Messpunkte festgelegt. 3 Messpunkte im Verlauf der L387 sowie 2 Messpunkte im Bereich von umliegenden Gebäuden. Andere Standorte und Gebäude wurden nicht weiter untersucht, da aufgrund von Entfernung und/oder Winkel zur Immissionsquelle keine Reflexionen zu erwarten sind.

Die folgende Übersicht zeigt die PV Anlage und die gewählten Messpunkte:



Bild 3.5.1: Übersicht über die PV Anlage und die Messpunkte (Quelle: Google Earth/SolPEG)

3.6 Hinweise zum Simulationsverfahren

Licht-Leitlinie

Grundlage für die Berechnung und Beurteilung von Lichtimmissionen ist in Deutschland die sog. Licht-Leitlinie, die erstmals 1993 durch die Bund/Länder - Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) verfasst wurde. Die Licht-Leitlinie ist weder eine Norm noch ein Gesetz sondern lt. LAI Vorbemerkung "**... ein System zur Beurteilung der Wirkungen von Lichtimmissionen auf den Menschen**" welches ursprünglich für die Bemessung von Lichtimmissionen durch Flutlicht- oder Beleuchtungsanlagen von Sportstätten konzipiert wurde. Anlagen zur Beleuchtung des öffentlichen Straßenraumes, Blendwirkung durch PKW Scheinwerfer usw. werden nicht behandelt.

Im Jahr 2000 wurden Hinweise zu schädlichen Einwirkungen von Beleuchtungsanlagen auf Tiere - insbesondere auf Vögel und Insekten - und Vorschläge zu deren Minderung ergänzt. Ende 2012 wurde ein 4-seitiger Anhang zum Thema Reflexionen durch Photovoltaik (PV) Anlagen hinzugefügt.

Lichtimmissionen gehören nach dem BImSchG zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, **erhebliche Nachteile** oder **erhebliche Belästigungen** für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft **herbeizuführen**. Bedauerlicherweise hat der Gesetzgeber die immissionsschutzrechtliche **Erheblichkeit** für Lichtimmissionen bisher nicht definiert und eine Definition auch nicht in Aussicht gestellt.

Für Reflexionen durch PV Anlagen ist in der Licht-Leitlinie ein Immissionsrichtwert von maximal 30 Minuten pro Tag und maximal 30 Stunden pro Jahr angegeben. Diese Werte wurden nicht durch wissenschaftliche Untersuchungen mit entsprechenden Probanden in Bezug auf Reflexionen durch PV Anlagen ermittelt, sondern stammen aus einer Untersuchung zur Belästigung durch periodischen Schattenwurf und Lichtreflexe ("Disco-Effekt") von Windenergieanlagen (WEA).

Auch in diesem Bereich hat der Gesetzgeber bisher keine rechtsverbindlichen Richtwerte für die Belästigung durch Lichtblitze und bewegten, periodischen Schattenwurf durch Rotorblätter einer WEA erlassen oder in Aussicht gestellt. Die Übertragung der Ergebnisse aus Untersuchungen zum Schattenwurf von WEA Rotoren auf unbewegliche Installationen wie PV Anlagen ist unter Experten äußerst umstritten und vor diesem Hintergrund hat eine individuelle Bewertung von Reflexionen durch PV Anlagen Vorrang vor den rechnerisch ermittelten Werten.

Allgemeiner Konsens ist die Notwendigkeit von weiterführenden Forschung und Konkretisierung der vorhandenen Regelungen. U.a.

Christoph Schierz, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012:

Welches die zulässige Dauer einer Blendwirkung sein soll, ist eigentlich keine wissenschaftliche Fragestellung, sondern eine der gesellschaftlichen Vereinbarung: Wie viele Prozent stark belastigter Personen in der exponierten Bevölkerung will man zulassen? Die Wissenschaft müsste aber eine Aussage darüber liefern können, welche Expositionsdauer zu welchem Anteil stark Belastigter führt. Wie bereits erwähnt, stehen Untersuchungen dazu noch aus. .. Es existieren noch keine rechtlichen oder normativen Methoden zur Bewertung von Lichtimmissionen durch von Solaranlagen gespiegeltes Sonnenlicht.

Michaela Fischbach, Wolfgang Rosenthal, Solarpraxis AG:

Während die Berechnungen möglicher Reflexionsrichtungen klar aus geometrischen Verhältnissen folgen, besteht hinsichtlich der Risikobewertung reflektierten Sonnenlichts noch erheblicher Klärungsbedarf...

Im Zusammenhang mit der Übernahme zeitlicher Grenzwerte der Schattenwurfrichtlinie besteht noch Forschungsbedarf hinsichtlich der belastigenden Wirkung statischer Sonnenlichtreflexionen. Da in der Licht-Richtlinie klar unterschieden wird zwischen konstantem und Wechsellicht und es sich beim periodischen Schattenwurf von Windenergieanlagen um das generell stärker belastigende Wechsellicht handelt, liegt die Vermutung nahe, dass zeitliche Grenzwerte für konstante Sonnenlichtreflexionen deutlich über denen der Schattenwurfrichtlinie anzusetzen wären.

Schutzwürdige Räume

In der Licht-Leitlinie sind einige "schutzwürdige Räume" - also ortsfeste Standorte - aufgeführt, für die zu bestimmten Tageszeiten störende oder belästigende Einflüsse durch Lichtimmissionen zu vermeiden sind. Es fehlt⁸ allerdings eine Definition oder Empfehlung zum Umgang mit Verkehrswegen und auch zu Schienen- und Kraftfahrzeugen als "beweglichen" Räumen. Eine Blendwirkung an beweglichen Standorten ist in Bezug zur Geschwindigkeit zu sehen, d.h. eine Reflexion kann an einem festen Standort über mehrere Minuten auftreten, ist jedoch bei der Vorbeifahrt mit 100 km/h ggf. nur für Sekundenbruchteile wahrnehmbar. Aber trotz einer physiologisch unkritischen Leuchtdichte kann die Blendwirkung durch frequente Reflexionen subjektiv als störend empfunden werden (psychologische Blendwirkung). Vor diesem Hintergrund kann die Empfehlung der Licht-Leitlinie in Bezug auf die maximale Dauer von Reflexionen in "schutzwürdigen Räumen" nicht ohne weiteres auf Fahrzeuge übertragen werden. Die reinen Zahlen der Simulationsergebnisse sind immer auch im Kontext zu verstehen.

Einfallswinkel der Reflexion

Die Fachliteratur enthält ebenfalls keine einheitlichen Aussagen zur Berechnung und Beurteilung der Blendwirkung von Fahrzeugführern durch reflektiertes Sonnenlicht und auch unter den Experten gibt es bislang keine einheitliche Meinung, ab welchem Winkel eine Reflexion bei Tageslicht als objektiv störend empfunden wird. Dies hängt u.a. mit den Abbildungseigenschaften des Auges zusammen wonach die Dichte der Helligkeitsrezeptoren (Zapfen) außerhalb des zentralen Schärfepunktes (Fovea Centralis) abnimmt.

Überwiegend wird angenommen, dass Reflexionen in einem Winkel ab 20° zur Blickrichtung keine Beeinträchtigung darstellen. In einem Winkel zwischen 10° - 20° können Reflexionen eine moderate Blendwirkung erzeugen und unter 10° werden sie überwiegend als Beeinträchtigung empfunden. Vor diesem Hintergrund ist in dieser Untersuchung der für Reflexionen relevante Blickwinkel als Fahrtrichtung +/- 20° definiert.

Entfernung zur Immissionsquelle

Lt. Licht-Leitlinie "erfahren Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden, erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks **könnten** auch weiter entfernte Immissionsorte noch relevant sein."

Die von der SolPEG seit 2015 in über 800 Blendgutachten überwiegend verwendete Simulationssoftware ForgeSolar⁹ basiert auf einer Entwicklung der US Sandia National Laboratories¹⁰. Die Software wird mittlerweile auch von anderen Gutachtern verwendet und könnte als Stand der Technik bezeichnet werden obwohl (uns) Limitationen bekannt sind. Eine versierte Bedienung der Software ist unerlässlich für korrekte Ergebnisse.

Bei der Simulation werden alle Reflexionen berücksichtigt, die aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz physikalisch auftreten können. Daher sind die reinen Ergebniswerte als konservativ/extrem anzusehen und werden ggf. relativiert bewertet. Insbesondere werden mögliche Reflexionen geringer gewichtet wenn die Immissionsquelle mehr als 100 m entfernt ist.

⁸ Licht-Leitlinie "2. Anwendungsbereich", Seite 2 ff., bzw. Anhang 2 ab Seite 22

⁹ <https://forgesolar.com> is based on the licensed software from Sandia National Laboratories.

¹⁰ Solar Glare Hazard Analysis Tool ("SGHAT"), Sandia National Laboratories: <https://www.sandia.gov/glare-tools>

Sonstige Einflüsse

Aufgrund von technischen Limitierungen geht die Simulationssoftware zu jedem Zeitpunkt von sog. clear-sky Bedingungen aus, d.h. einem wolkenlosen Himmel und entsprechender Sonneneinstrahlung. Daher stellt das Simulationsergebnis immer die höchst mögliche Blendwirkung dar.

Dies entspricht nicht den realen Wetterbedingungen insbesondere in den Morgen- oder Abendstunden, in denen die Reflexionen auftreten können. Einflüsse wie z.B. Frühnebel, Dunst oder besondere, lokale Wetterbedingungen können nicht berechnet werden.

In der Lichtleitlinie gibt es keine Hinweise wie mit meteorologischen Informationen zu verfahren ist obwohl zahlreiche Datenquellen und Klima-Modelle (z.B. TMY¹¹) vorhanden sind. Der Deutsche Wetterdienst DWD hat für Deutschland für das Jahr 2023 eine mittlere Wolkenbedeckung¹² von ca. 68,8 % ermittelt. Der Durchschnittswert für den Zeitraum 1991-2020 liegt bei 62,5 % - 75 %.

Aber auch der Geländeverlauf und Informationen über möglichen Sichtschutz durch Hügel, Bäume oder andere Objekte können nicht ausreichend verarbeitet werden.

Es handelt sich dabei allerdings um Limitierungen der Software und nicht um Vorgaben für die Berechnung von Reflexionen. Eine realitätsnahe Simulation ist mit der aktuell verfügbaren Simulationssoftware nur begrenzt möglich.

Kategorien von Reflexionen

Fachleute sind überwiegend der Meinung, dass die sog. Absolutblendung, die eine Störung der Sehfähigkeit bewirkt, ab einer Leuchtdichte von ca. 100.000 cd/m² beginnt. Störungen sind z.B. Nachbilder in Form von hellen Punkten nachdem in die Sonne geschaut wurde. Auch in der LAI Licht-Leitlinie ist dieser Wert angegeben (S. 21, der Wert ist bezogen auf die Tagesadaptation des Auges).

Aber nicht alle Reflexionen führen zwangsläufig zu einer Blendwirkung, da es sich neben den messbaren Effekten auch in einem hohen Maß um eine subjektiv empfundene Erscheinung/Irritation handelt (Psychologische Blendwirkung). Das Forschungsinstitut Sandia National Laboratories (USA) hat verschiedene Untersuchungen auf diesem Gebiet analysiert und eine Skala entwickelt, die die Wahrscheinlichkeit für Störungen/Nachbilder durch Lichtimmissionen in Bezug zu ihrer Intensität kategorisiert. Diese Kategorisierung entspricht dem Bezug zwischen Leuchtdichte (W/cm²) und Ausdehnung (Raumwinkel, mrad). Die folgende Skizze zeigt die Bewertungsskala in der Übersicht und auch das hier verwendete Simulationsprogramm stellt die jeweiligen Messergebnisse in ähnlicher Weise dar.

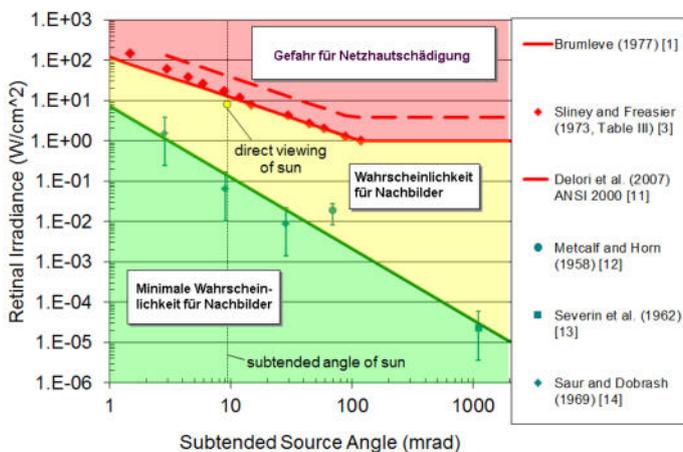


Bild 3.6.1: Kategorisierung von Reflexionen (Quelle: Sandia National Laboratories, siehe auch Diagramme im Anhang)

¹¹ Handbuch: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

¹² DWD Service: https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm_int_cfc.html

Mittelwert 2023: https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/rcc_eude_cen_cfc_mean_2023_17.png

Langjähriges Mittel 1991-2020: https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/zeitreihen/rcc_eude_cen_cfc_refc9120_17.png

4 Ergebnisse

Die Berechnung der potentiellen Blendwirkung der PV Anlage Gehrweiler wird für 5 exemplarisch gewählte Messpunkte (Immissionsorte) durchgeführt. Die exakten GPS-Koordinaten der Messpunkte sind unten aufgeführt. Aufgrund des Fahrbahnverlaufes ist es nicht zielführend mehrere/ weitere Messpunkte in geringen Abstand zu untersuchen, da die Ausrichtung (Azimut) der Strecke und die Einfallswinkel von potenziellen Reflexionen nur unwesentlich abweichen und daher die Simulationsergebnisse entsprechend nur unwesentlich abweichen. Die Höhe der Messpunkte im Bereich der Straße ist auf 2,0 m über GOK festgelegt. Dies entspricht der gemittelten Sitzhöhe von PKW und LKW inkl. Transporter und SUV. Das ist ein eher konservativer Ansatz, da die Sitzhöhe bei der Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer nur ca. 1,20 m - 1,40 m beträgt.

Das Ergebnis der Simulation ist die Anzahl von Minuten pro Jahr, in denen eine Blendwirkung der Kategorien „Minimal“ und „Gering“ auftreten kann.

Die Kategorien entsprechen den Wertebereichen der Berechnungsergebnisse in Bezug auf Leuchtdichte und -dauer. Die Wertebereiche sind im Diagramm 3.6.1 auch als farbige Flächen dargestellt:

- Minimale Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder
- Geringe Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder

Die unbereinigten Ergebnisse (Rohdaten) beinhalten alle rechnerisch ermittelten Reflexionen, auch solche, die lt. Ausführungen der LAI Lichtleitlinie zu schutzwürdigen Zonen zu vernachlässigen sind. U.a. sind Reflexionen mit einem Differenzwinkel zwischen Sonne und Immissionsquelle von weniger als 10° zu vernachlässigen, da in solchen Konstellationen die Sonne selbst die Ursache für eine mögliche Blendwirkung darstellt. Auch Reflexionen die im „nächtlichen Zeitfenster“ von 22:00 – 06:00 Uhr auftreten würden, sind zu relativieren bzw. zu vernachlässigen. Nach Bereinigung der Rohdaten sind die Ergebnisse üblicherweise um ca. 20 - 50% geringer und es sind nur noch Werte der Kategorie „Gelb“ vorhanden. D.h. es besteht eine geringe Wahrscheinlichkeit für temporäre Nachbilder.

In einer weiteren Betrachtung wird der Einfallswinkel der Reflexionen analysiert, da dieser entscheidend für die Wahrnehmung von Reflexionen ist. Prinzipiell könnte immer eine Blendwirkung auftreten wenn direkt in die Sonne geblickt wird und daher wird dies vermieden. Aber selbst wenn es z. B. aus Unachtsamkeit zu derartigen Konstellationen kommt, verhindern natürliche Reflexe wie Augen schließen, Änderung der Blickrichtung usw. eine Beeinträchtigung durch starke Lichtquellen. Dies gilt gleichermaßen auch für Reflexionen auf PV-Modulen bzw. eher weniger, da es sich um eher diffuse Reflexionen handelt und nicht um direktes Sonnenlicht. In folgenden Abschnitt werden die rechnerisch ermittelten Ergebnisse an den jeweiligen Immissionsorten kommentiert.

Die folgende Tabelle zeigt Details zu den einzelnen Messpunkten.

Tabelle 2: Details zu den einzelnen Messpunkten (Immissionsorten):

Messpunkt Bezeichnung	Breitengrad [°N]	Längengrad [°O]	Geländehöhe ¹³ ü. N.N. [m]	Messpunkt ü. N.N. [m]	Reflexionen
P1 L513 südöstlich	49.566141	7.801064	272,06	274,06	nicht relevant ^{DE}
P2 L513 südlich	49.567159	7.796138	262,48	264,48	-
P3 L513 südwestlich	49.568136	7.789045	259,21	259,21	nicht relevant ^{WSD}
P4 Gebäude südöstlich	49.565905	7.800866	275,89	277,89	-
P5 Gebäude südwestlich	49.566656	7.779769	349,61	351,61	nicht relevant ^{DE}

^W = Aufgrund des Einfallswinkels zu vernachlässigen, ^E = Entfernung ^S = Sichtschutz/Geländestruktur, ^D = geringe Dauer

¹³ GPS Längengrad, Breitengrad und Höhenangaben gemäß Google Earth Datenbasis (WGS84 / World Geodetic System 1984)

4.1 Ergebnisse am Messpunkt P1, L387 südöstlich

Messpunkt P1 auf der Straße L387 südöstlich der PV-Anlage können nur an insgesamt 287 Minuten pro Jahr Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 07. Juni - 03. Juli, zwischen 20:05 - 20:19 Uhr, für max. 13 Minuten aus westlicher Richtung auftreten. Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer sind potenzielle Reflexionen im Hinblick auf eine Blendwirkung nicht relevant aber insbesondere aufgrund der sehr großen Entfernung zur Immissionsquelle von ca. 520 m – 710 m sind potenzielle Reflexionen zu vernachlässigen. Aufgrund der Bündelaufweitung der diffus reflektierten Lichtstrahlen verringert sich mit zunehmender Entfernung die Leuchtdichte der Moduloberfläche und daher wäre die PV-Anlage – wenn überhaupt - eher als helle Fläche wahrnehmbar.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse kann eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV Anlage oder gar eine Blendwirkung mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung verdeutlicht die folgende Skizze die Situation am Messpunkt P1 in Bezug auf die unbereinigten Rohdaten.



Bild 4.1.1: Simulation am Messpunkt P1 (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Der grün markierte Bereich symbolisiert den für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkel (Fahrtrichtung +/- 20°, ca. 100 m Sichtweite). Im Gelb markierten Bereich, in sehr großer Entfernung, können theoretisch abends Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten.

Zur Veranschaulichung der Situation zeigt das folgende Foto zeigt den Bereich am Messpunkt P1 mit Blick Richtung Westen.



Bild 4.1.2: Foto am Messpunkt P1 (Quelle: Google StreetView, August 2023, Ausschnitt)

Bei der weiteren Fahrt Richtung Westen verringert sich zwar der Abstand zur Immissionsquelle aber gleichermaßen vergrößert sich auch der Winkel. Die L2387 verläuft südlich der Fläche, ca. 20 m – 40 m tiefer, und dementsprechend verringert sich auch im weiteren Verlauf der L387 der Sichtkontakt zur Immissionsquelle. Eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV Anlage kann auch im weiteren Verlauf der L387 ausgeschlossen werden.

4.2 Ergebnisse am Messpunkt P2, L387 südlich

Messpunkt P2 auf der L387 südlich der PV-Anlage wurde zu Kontrollzwecken untersucht da aufgrund der Lage nicht mit Reflexionen durch die PV Anlage zu rechnen ist. Erwartungsgemäß zeigt die Simulation keine Ergebnisse und daher kann eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV Anlage oder gar eine Blendwirkung ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung der Situation zeigt das folgende Foto zeigt den Bereich am Messpunkt P2 mit Blick Richtung Westen aus leicht erhöhter Position (ca. 2,1 m).



Bild 4.2.1: Foto am Messpunkt P2 (Quelle: Google StreetView, August 2023, Ausschnitt)

Die PV Anlage liegt rechts (nördlich) der Straße und ist auch aus leicht erhöhter Position kaum *sichtbar*. Bei der Untersuchung von potenziellen Reflexionen ist die Sichtbarkeit oder die optische Bewertung der PV-Anlage allerdings nicht maßgeblich.

Zur Überprüfung wurden auch die unbereinigten Rohdaten am Messpunkt P2 analysiert und demnach können theoretisch an insgesamt nur 845 Minuten pro Jahr Reflexionen der Kategorie Grün auftreten. Aufgrund der geringeren Leuchtdichte sind diese nicht geeignet eine Blendwirkung hervorzurufen aber insbesondere aufgrund der geringen zeitlichen Dauer sind diese nicht relevant.

4.3 Ergebnisse am Messpunkt P3, L387 südöstlich

An Messpunkt P3 auf der Straße L387 südwestlich der PV-Anlage können nur an insgesamt 198 Minuten pro Jahr Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 09. Juni - 02. Juli, zwischen 06:31 - 06:41 Uhr, für max. 8 Minuten aus östlicher Richtung auftreten. Die Einfallswinkel liegen bei der Fahrt Richtung Osten mit ca. -31° bis -37° links (östlich) zur Fahrtrichtung allerdings außerhalb des für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkels/Sektors ($\pm 20^\circ$ relativ zur Fahrtrichtung, 100 m Sichtweite). Aufgrund der Einfallswinkel und aufgrund der geringen zeitlichen Dauer sind potenzielle Reflexionen im Hinblick auf eine Blendwirkung nicht relevant.

Darüber hinaus zeigt die Analyse des Geländeverlaufes, dass aufgrund zwischen der L387 und der Fläche der PV-Anlage ein Höhenunterschied von ca. 30 m – 40 m liegt und daher besteht kein direkter Sichtkontakt zur Immissionsquelle. Die rechnerisch ermittelten Ergebnisse sind in der Realität nicht anwendbar.

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse kann eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV Anlage oder gar eine Blendwirkung ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung verdeutlicht die folgende Skizze den Höhenverlauf zwischen Messpunkt P3 und der PV-Fläche.

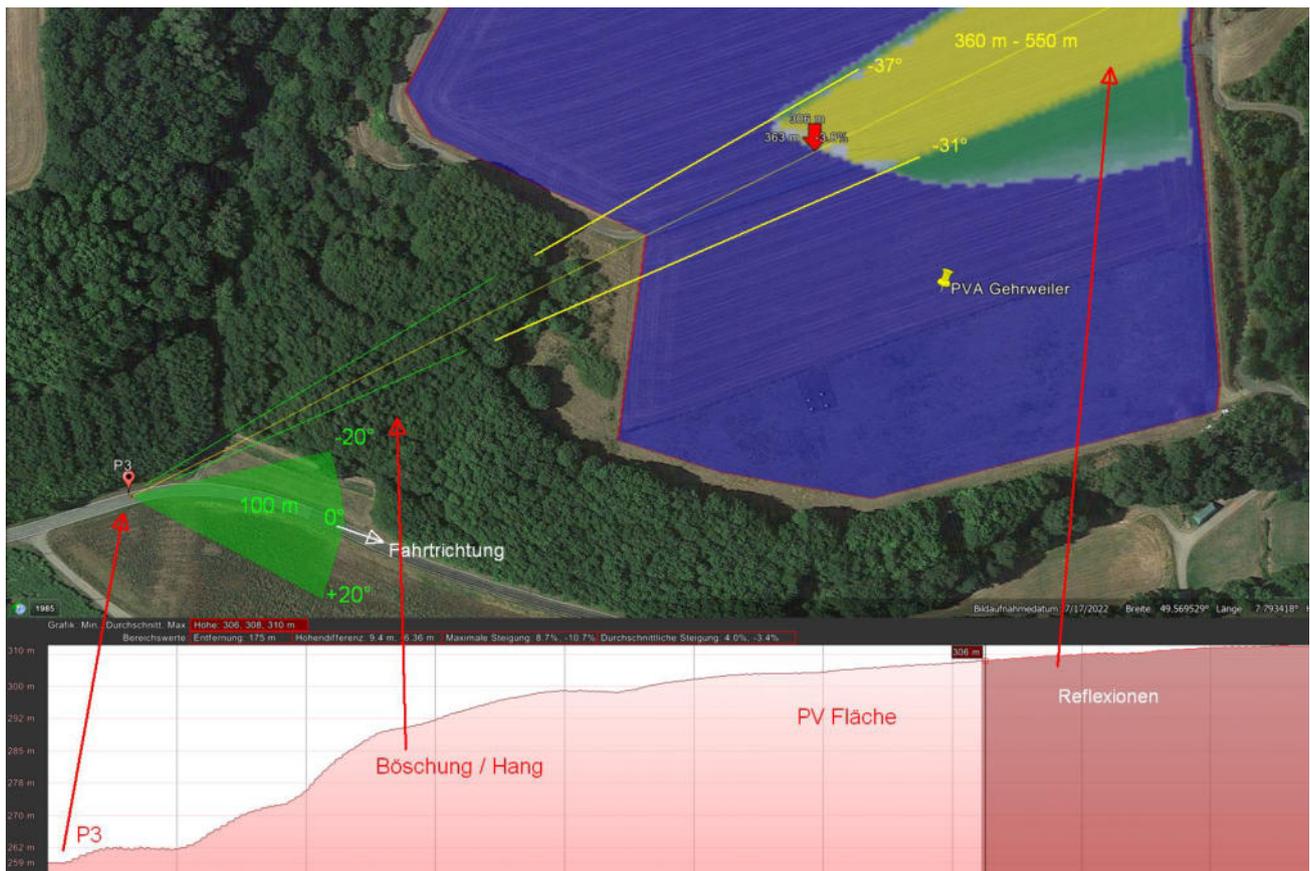


Bild 4.3.1: Geländeverlauf im Bereich von Messpunkt P3 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Zur Veranschaulichung der Situation zeigt das folgende Foto zeigt den Bereich am Messpunkt P3 mit Blick Richtung Osten.



Bild 4.3.2: Foto am Messpunkt P3 (Quelle: Google StreetView, August 2023, Ausschnitt)

Das Foto verdeutlicht, dass auch aufgrund von ausgeprägtem Bewuchs entlang der Straße kein direkter Sichtkontakt zur Immissionsquelle vorhanden. Es handelt sich dabei zwar um alten Baumbestand aber rechtlich gesehen ist es kein dauerhafter Sichtschutz. Dennoch können solche örtlichen Gegebenheiten nicht ignoriert werden. Aber selbst wenn der Bereich komplett gerodet werden sollte, besteht aufgrund des Höhenunterschiedes kein direkter Sichtkontakt zur PV-Fläche.

4.4 Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude südöstlich

Messpunkt P4 südöstlich der PV-Anlage an der Adresse Wingertsweilerhof 7 wurde zu Kontrollzwecken untersucht da aufgrund der Lage nicht mit Reflexionen durch die PV Anlage zu rechnen ist. Erwartungsgemäß zeigt die Simulation keine Ergebnisse und daher kann eine Beeinträchtigung von Anwohnern durch die PV Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie ausgeschlossen werden. Dies gilt gleichermaßen auch für die Nachbargebäude.

Zur Überprüfung wurden auch die unbereinigten Rohdaten am Messpunkt P4 analysiert und demnach können theoretisch an insgesamt 1870 Minuten pro Jahr Reflexionen der Kategorie Grün auftreten. Aufgrund der geringeren Leuchtdichte sind diese nicht geeignet eine Blendwirkung hervorzurufen aber insbesondere aufgrund der sehr großen Entfernung zur Immissionsquelle sind diese ohnehin nicht relevant.

4.5 Ergebnisse am Messpunkt P5, Gebäude südwestlich

Am Messpunkt P5 südwestlich der PV-Anlage (Josefshof / Hotelneubau) können theoretisch an insgesamt 1782 Minuten pro Jahr Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 27. April - 13. August, zwischen 06:52 - 07:31 Uhr, für 5 bis max. 21 Minuten aus östlicher Richtung auftreten.

Das folgende Diagramm verdeutlicht die Verteilung der aufgeführten Minuten pro Tag im Jahresverlauf.

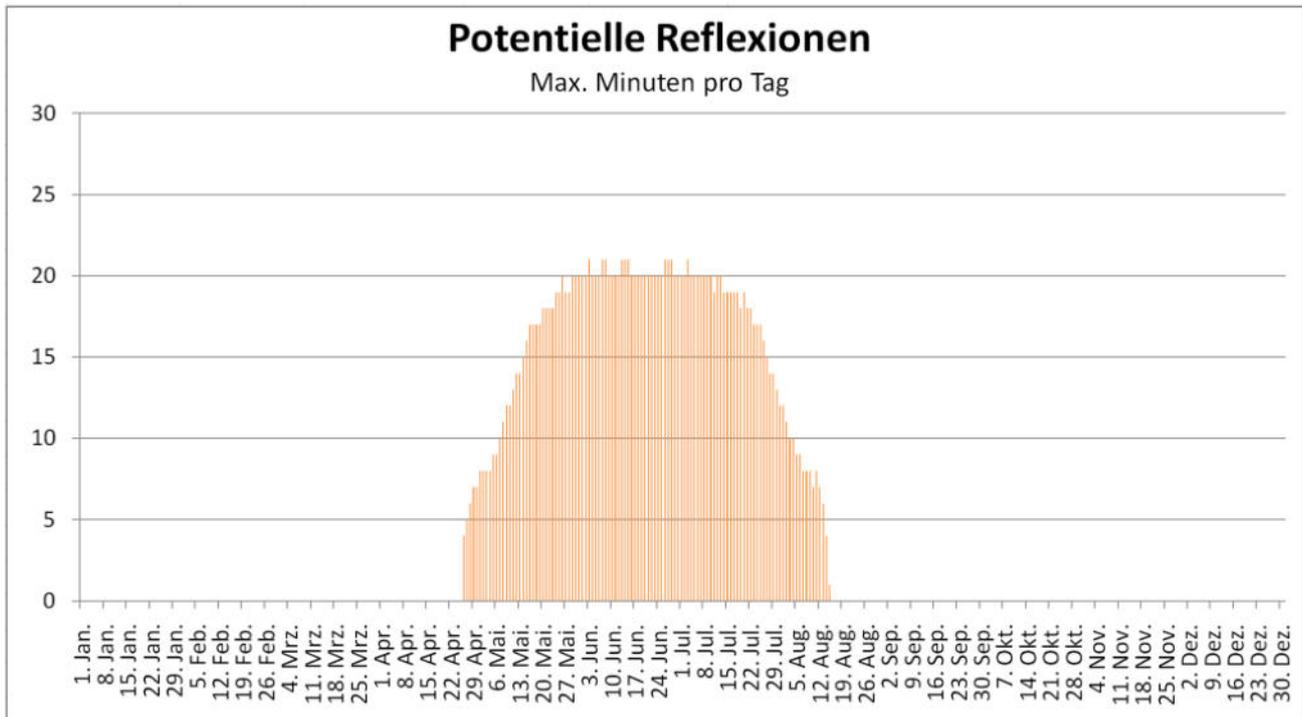


Bild 4.5.1: Reflexionen pro Tag im Jahresverlauf (Quelle: Simulationsergebnisse, aufbereitet)

Die Summe von Minuten mit Reflexionen pro Jahr und auch pro Tag liegt unter den Empfehlungen der LAI Lichtleitlinie und daher sind potenzielle Reflexionen zu vernachlässigen.

Eine Beeinträchtigung von Anwohnern und Gästen durch die PV Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Lt. einem Urteil des OLG Braunschweig vom 10. August 2022¹⁴ ist die sog. LAI Lichtleitlinie allerdings nicht maßgeblich für die Beurteilung von Reflexionen durch PV-Anlagen, diese wird in der Urteilsbegründung nicht erwähnt.

¹⁴ <https://oberlandesgericht-braunschweig.niedersachsen.de/startseite/aktuelles/presseinformationen/wenn-sonnenlicht-stoer-nachbarrechtsstreitigkeit-gegen-reflexionen-einer-photovoltaikanlage-214293.html>

Darüber hinaus sind potenzielle Reflexionen aufgrund der sehr großen Entfernung zur Immissionsquelle von ca. 910 m -1360 m relativiert zu bewerten bzw. zu vernachlässigen. Die folgende Skizze verdeutlicht die Entfernung und den kleinen Winkel in dem Reflexionen auftreten können.

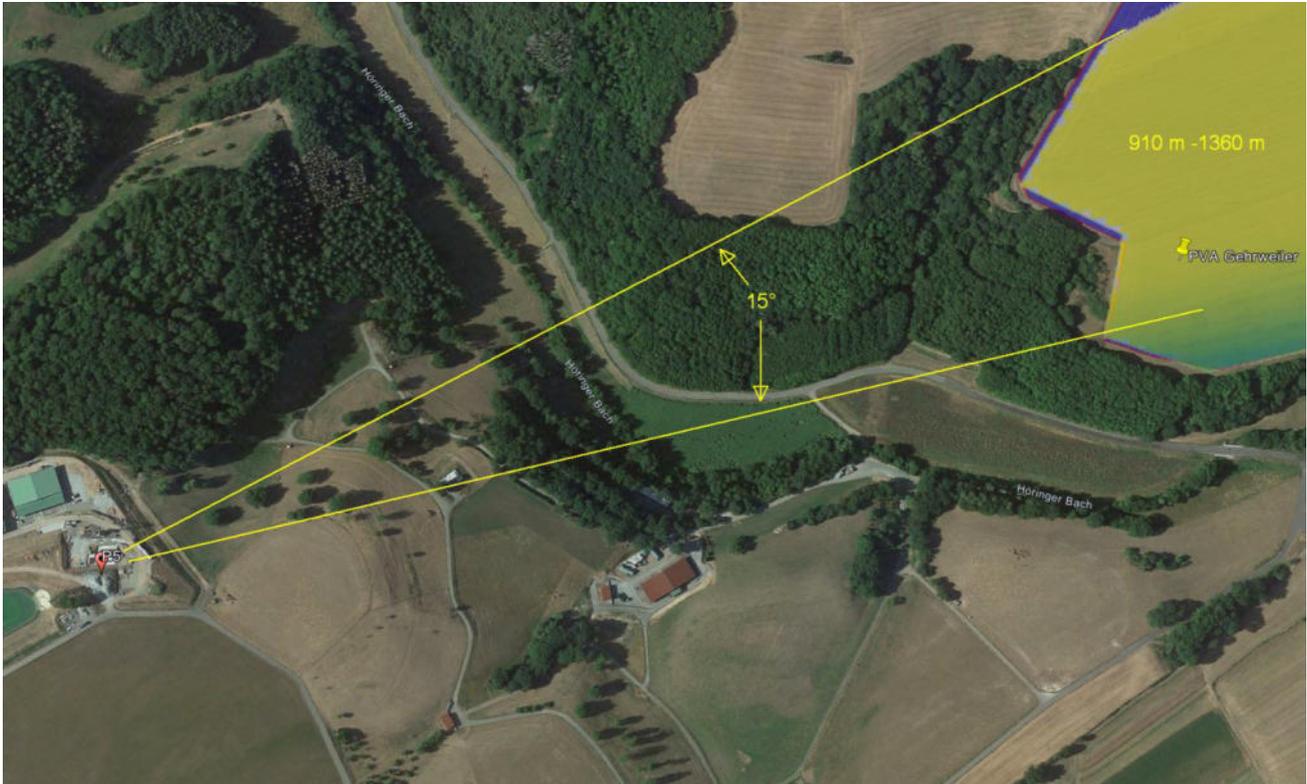


Bild 4.5.2: Entfernung zwischen Messpunkt P5 und der Immissionsquelle (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Das folgende Foto zeigt den Blick von der Fläche der PV-Anlage in Richtung Süden. Der Hotelneubau befindet sich rechts im Bild.



Bild 4.5.3: Blick von der PV-Fläche Richtung Süden (Quelle: Auftraggeber, Ausschnitt)

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die potentielle Blendwirkung der hier betrachteten PV Anlage „Gehrweiler“ kann als „geringfügig“ klassifiziert¹⁵ werden. Im Vergleich zur Blendwirkung durch direktes Sonnenlicht oder durch Spiegelungen von Windschutzscheiben, Wasserflächen, Gewächshäusern o.ä. ist diese „vernachlässigbar“. Unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. Geländestruktur, lokalen Wetterbedingungen (Frühnebel, etc.) kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reflexion durch die PV Anlage als gering eingestuft werden.

Der Auftraggeber hat bei der geplanten PV Anlage Gehrweiler mit dem Einsatz von hochwertigen PV Modulen die nach aktuellem Stand der Technik möglichen Maßnahmen zur Reduzierung von potentiellen Reflexionen vorgesehen.

Die Analyse von 4 exemplarisch gewählten Messpunkten zeigt nur eine geringfügige, theoretische Wahrscheinlichkeit für Reflexionen. Auf der Straße L387 können theoretisch in geringem Umfang Reflexionen durch die PV Anlage auftreten, die Einfallswinkel liegen allerdings außerhalb des für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkels und in sehr großer Entfernung und daher sind potenzielle Reflexionen nicht relevant. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten ist überwiegend kein direkter Sichtkontakt zur Immissionsquelle vorhanden und daher kann eine Beeinträchtigung des fließenden Verkehrs durch die PV Anlage mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Im Bereich der Gebäude der südöstlich gelegenen Ortschaft Wingertsweilerhof sind keine relevanten Reflexionen durch die PV Anlage nachweisbar. Im Bereich des südwestlich gelegenen Josefshof (Neubau) können theoretisch in geringem Umfang Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten aber aufgrund der zeitlichen Dauer und insbesondere aufgrund der sehr großen Entfernung von ca. 910 m -1360 m zur Immissionsquelle sind potenzielle Reflexionen zu vernachlässigen. Eine Beeinträchtigung von Anwohnern durch die PV Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann ausgeschlossen werden.

Es ist davon auszugehen, dass die theoretisch berechneten Reflexionen in der Realität keine Blendwirkung entwickeln werden. Details zu den Ergebnissen an den jeweiligen Messpunkten finden sich in Abschnitt 4.

Aus Immissionsschutzrechtlicher Sicht bestehen keine Einwände gegen das Bauvorhaben.

6 Schlussbemerkung

Die hier dargestellten Untersuchungen, Sachverhalte und Einschätzungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen und anhand von vorgelegten Informationen, eigenen Untersuchungen und weiterführenden Recherchen angefertigt. Eine Haftung für etwaige Schäden, die aus diesen Ausführungen bzw. weiteren Maßnahmen erfolgen, kann nicht übernommen werden.

Hamburg, den 24.07.2024


Dieko Jacobi / SolPEG GmbH

¹⁵ Die Klassifizierung entspricht den Wertebereichen der Simulationsergebnisse

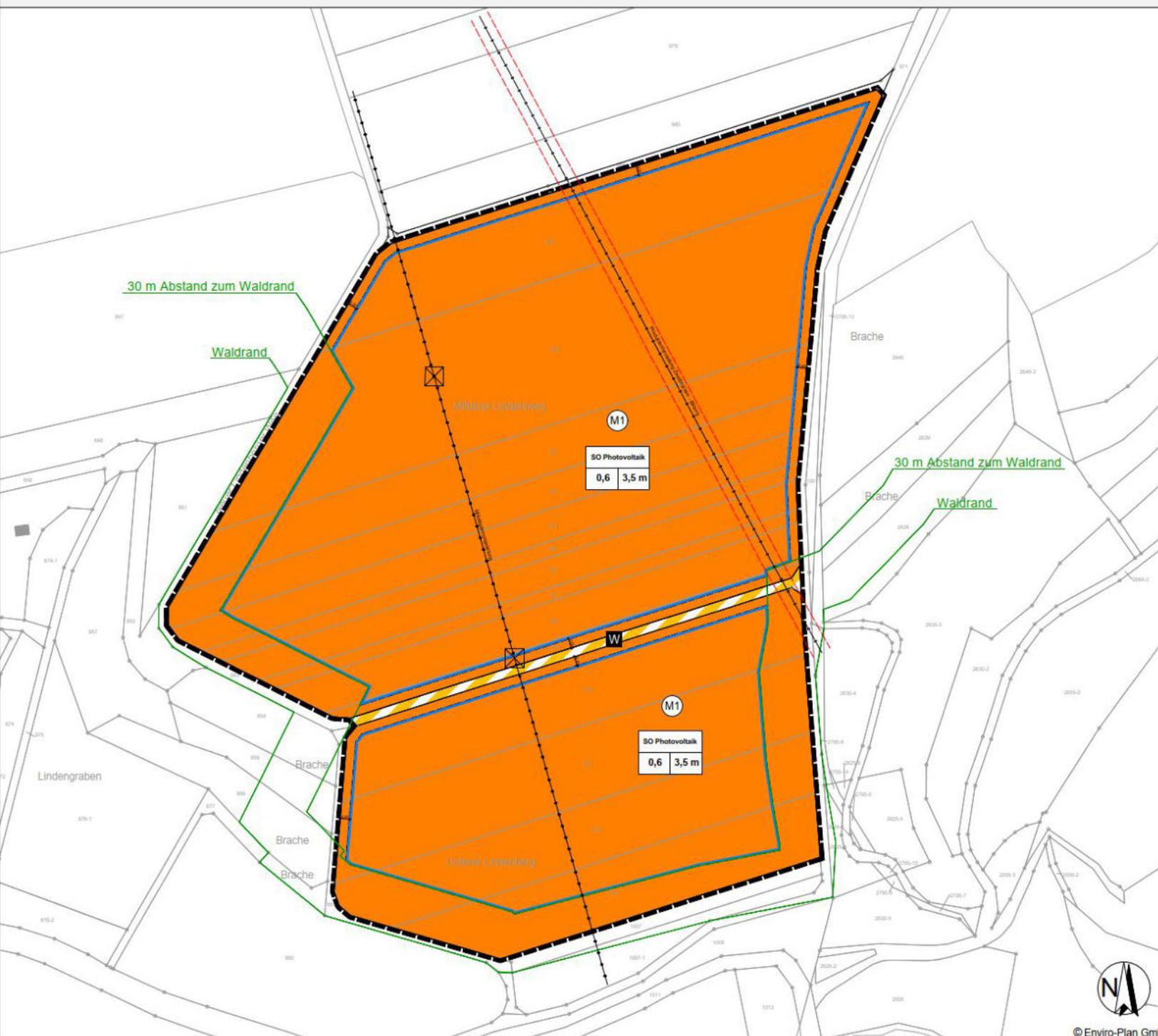
Bebauungsplan "Sondergebiet Photovoltaik Mittlerer Lindenberg" - Ortsgemeinde Gehrweiler

Legende

Planungsrechtliche Festsetzungen nach PlanV 90

- Art der baulichen Nutzung**
 SO Sonstiges Sondergebiet mit Zweckbestimmung "Photovoltaik"
- Maß der baulichen Nutzung**
 SO Art der baulichen Nutzung (Sondergebiet)
 0,6 Grundflächenzahl (GRZ)
 3,5 m Höhe baulicher Anlagen über anstehendes Gelände
- Bauweise, Überbaubare Grundstücksfläche**
 Baugrenze
- Verkehrsflächen**
 Verkehrsfläche mit Zweckbestimmung "Wirtschaftsweg"
- Planungen, Nutzungsregelungen, Maßnahmen und Flächen für Maßnahmen zum Schutz zur Pflege und zur Entwicklung von Natur und Landschaft**
 M1 Nummerierung der Maßnahmen
- Sonstige Planzeichen**
 Grenze des räumlichen Geltungsbereichs des Bebauungsplans
- Nachrichtliche Übernahme:**
 Oberirdische 20 KV Freileitung (Mittelspannung)
 Unterirdische Pipeline mit jeweils 5 m beidseitigem Schutzstreifen
 30 m Abstandslinie zum Waldrand
 Waldrand
 Strommast

Nutzungsstabelle	
Art der baulichen Nutzung	Höhe baulicher Anlage
GRZ	



Bebauungsplan "Sondergebiet Photovoltaik Mittlerer Lindenberg"

Vorentwurf

Ortsgemeinde Gehrweiler

Bearbeitet: ssc	Zeichnung: rsc	Maßstab: 1 : 1000 / A1	Blatt: 1	Datum: 30.03.2023
--------------------	-------------------	---------------------------	-------------	----------------------

Enviro-Plan GmbH
 Hauptstraße 34, 55571 Odernheim
 Tel.: (06755) 96936-0 Fax 96936-60
 E-Mail: info@enviro-plan.de
 www.enviro-plan.de





ASTRONERGY

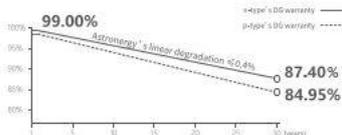
ASTRO N5

CHSM72N(DG)/F-BH
Bifacial Series(182)

560~580W

Warranty

12 12-year Product Warranty **30** 30-year Linear Power Warranty



Key Features

- TOPCon / Half-cut
- Low temperature coefficient (Pmpp)
- Non-destructive cutting
- PID resistance
- Low BOS cost & LCOE
- Bifacial gain



ISO 9001:2015-ISO Quality Management System
ISO 14001:2015-ISO Environmental Management System
ISO 45001:2018-Occupational Health and Safety
The first solar company which passed the Nord ECTS 82941 certification audit



560~580W

0~+5W

22.5%

≤ 1.0%

≤ 0.4%

POWER RANGE

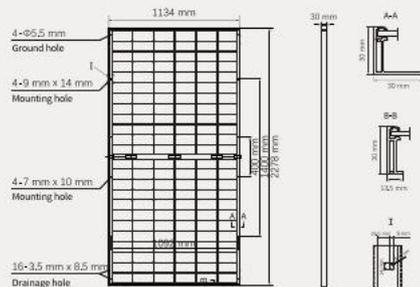
POWER SORTING

MAX. MODULE
EFFICIENCYFIRST YEAR
POWER DEGRADATIONYEAR 2-30
POWER DEGRADATION

Mechanical Specifications

Outer dimensions (L x W x H)	2278 x 1134 x 30 mm
Cell type	n-type mono-crystalline
No. of cells	144 (6'24)
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Front / Back glass	2.0+2.0 mm
Cable length (Including connector)	Portrait: (+)350 mm, (-)250 mm; Customized length
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
Maximum mechanical test load	5400 Pa (front) / 2400 Pa (back)
Connector type (IEC/UL)	HCB40 (Standard) / MC4-EVO2A (Optional)
Module weight	32.1 kg
Packing unit	36 pcs / box (Subject to sales contract)
Weight of packing unit (for 40' HQ container)	1215 kg
Modules per 40' HQ container	648 pcs

① Refer to Astronergy crystalline installation manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5×Maximum Mechanical Design Load.



Electrical Specifications

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25° C, AM=1.5

Rated output (Pmpp / Wp)	560	565	570	575	580
Rated voltage (Vmpp / V)	42.44	42.61	42.77	42.94	43.11
Rated current (Impp / A)	13.20	13.26	13.33	13.39	13.45
Open circuit voltage (Voc / V)	50.50	50.70	50.90	51.10	51.30
Short circuit current (Isc / A)	13.93	14.02	14.10	14.19	14.28
Module efficiency	21.7%	21.9%	22.1%	22.3%	22.5%

NMOT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20° C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

Rated output (Pmpp / Wp)	421.1	424.9	428.6	432.4	436.2
Rated voltage (Vmpp / V)	39.94	40.10	40.26	40.42	40.59
Rated current (Impp / A)	10.54	10.60	10.65	10.70	10.75
Open circuit voltage (Voc / V)	47.97	48.16	48.35	48.54	48.73
Short circuit current (Isc / A)	11.25	11.32	11.39	11.46	11.53

Electrical Specifications (Integrated power)

Pmpp gain	Pmpp / Wp	Vmpp / V	Impp / A	Voc / V	Isc / A
5%	599	42.77	13.99	50.90	14.10
10%	627	42.77	14.66	50.90	15.48
15%	656	42.78	15.32	50.91	16.18
20%	684	42.78	15.99	50.91	16.88
25%	713	42.78	16.65	50.91	17.58

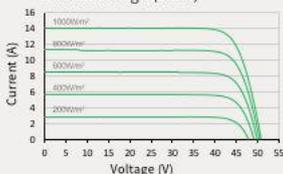
Electrical characteristics with different rear power gain (reference to 570W)

Temperature Ratings (STC) Operating Parameters

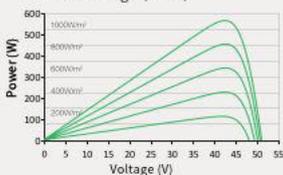
Temperature coefficient (Pmpp)	-0.29%/°C	No. of diodes	3
Temperature coefficient (Isc)	+0.043%/°C	Junction box IP rating	IP 68
Temperature coefficient (Voc)	-0.25%/°C	Max. series fusing rating	30 A
Nominal module operating temperature (NMOT)	41±2°C	Max. system voltage (IEC/UL)	1500V _{DC}

Curve

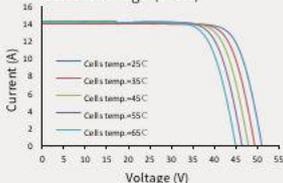
Current-Voltage (570W)



Power-Voltage (570W)



Current-Voltage (570W)



Gehrweiler

Gehrweiler

Created Jul 25, 2024
Updated Jul 25, 2024
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC+2
Minimum sun altitude 8.0 deg
Site ID 125205.14921

Project type Advanced
Project status: active
Category 5 MW to 10 MW



Misc. Analysis Settings

DNI: varies (1,000.0 W/m² peak)
 Ocular transmission coefficient: **0.5**
 Pupil diameter: **0.002 m**
 Eye focal length: **0.017 m**
 Sun subtended angle: **9.3 mrad**

PV Analysis Methodology: **Version 2**
 Enhanced subtended angle calculation: **On**

Summary of Results Glare with potential for temporary after-image predicted

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced
	deg	deg	min	min	kWh
PV Feld	15.0	180.0	7,836	2,267	-

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 105,861 m²

Name: PV Feld
Footprint area: 105,861 m²
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 15.0 deg
Orientation: 180.0 deg
Rated power: -
Panel material: Smooth glass with AR coating
Vary reflectivity with sun position? Yes
Correlate slope error with surface type? Yes
Slope error: 8.43 mrad



Vertex	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total elevation m
1	49.569706	7.791079	310.15	2.00	312.15
2	49.571515	7.792624	338.57	2.00	340.57
3	49.572280	7.796229	334.32	2.00	336.32
4	49.571543	7.795735	325.82	2.00	327.82
5	49.569929	7.795563	304.62	2.00	306.62
6	49.568481	7.795864	277.14	2.00	279.14
7	49.568161	7.793611	279.59	2.00	281.59
8	49.568454	7.792216	290.28	2.00	292.28
9	49.569303	7.792388	304.22	2.00	306.22

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total Elevation m
OP 1	49.566141	7.801064	272.06	2.00	274.06
OP 2	49.567159	7.796138	262.48	2.00	264.48
OP 3	49.568136	7.789045	259.21	0.00	259.21
OP 4	49.565905	7.800866	275.89	2.00	277.89
OP 5	49.566656	7.779769	349.61	2.00	351.61

Summary of PV Glare Analysis

PV configuration and total predicted glare

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Data File
	deg	deg	min	min	kWh	
PV Feld	15.0	180.0	7,836	2,267	-	

Distinct glare per month

Excludes overlapping glare from PV array for multiple receptors at matching time(s)

PV	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
pv-feld (green)	0	0	0	336	1191	1716	1575	527	0	0	0	0
pv-feld (yellow)	0	0	0	29	463	781	589	118	0	0	0	0

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

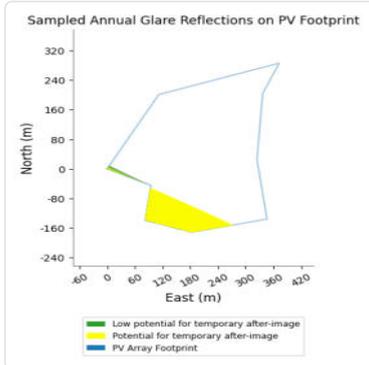
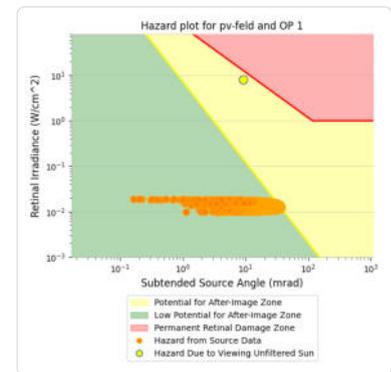
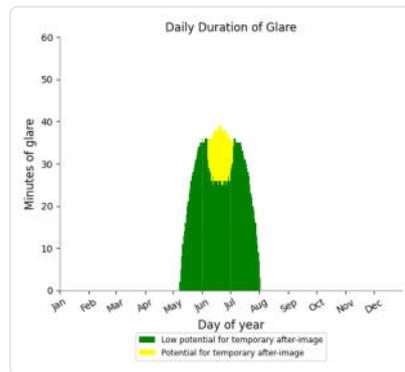
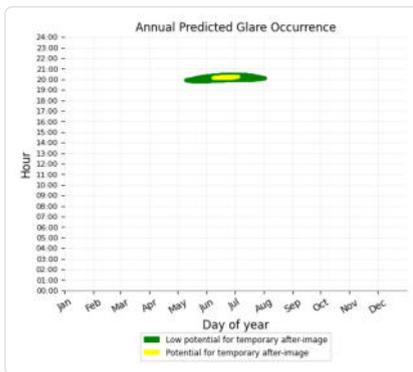
PV Feld potential temporary after-image

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)
OP: OP 1	2259	287
OP: OP 2	845	0
OP: OP 3	1136	198
OP: OP 4	1870	0
OP: OP 5	1726	1782

PV Feld: OP 1

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

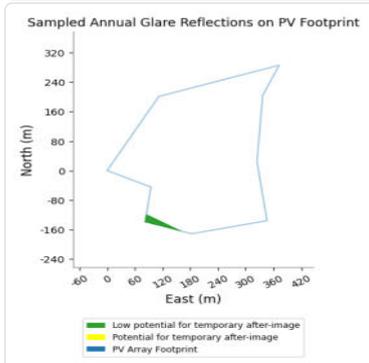
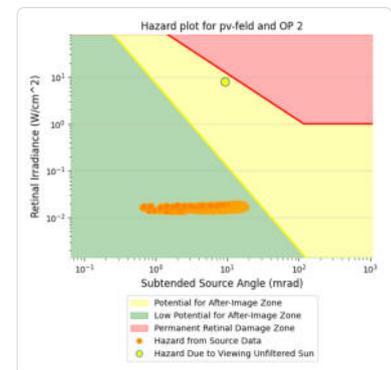
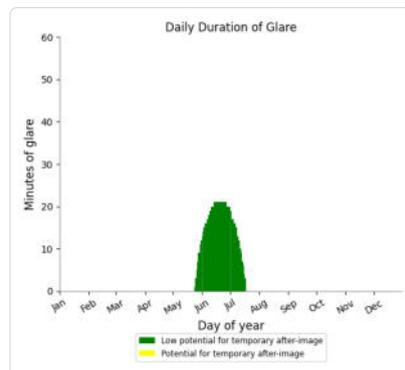
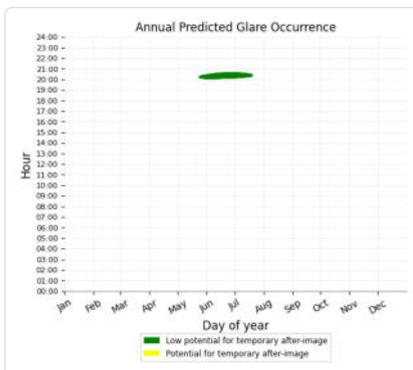
- 2,259 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 287 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld: OP 2

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

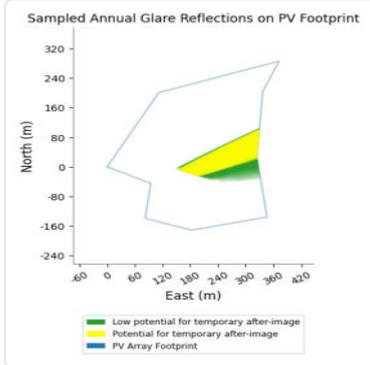
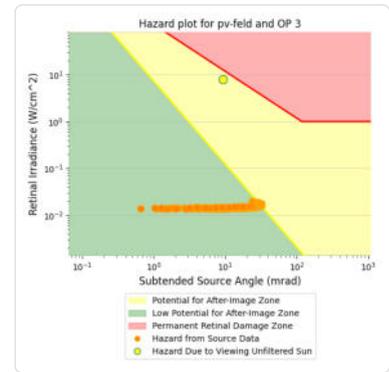
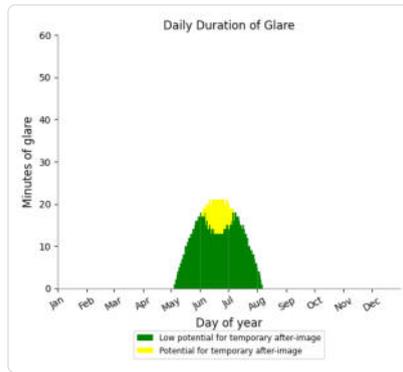
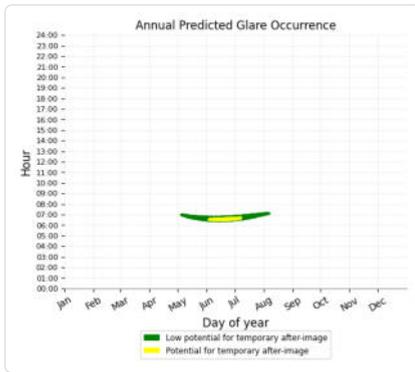
- 845 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld: OP 3

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

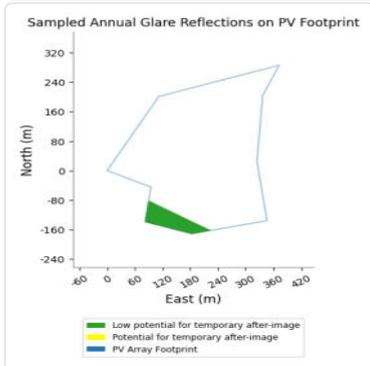
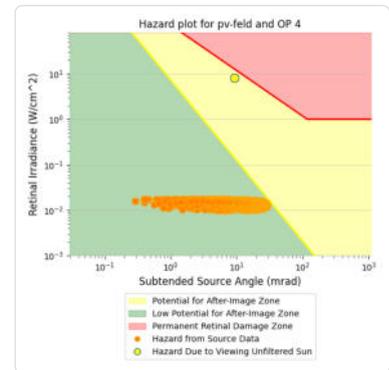
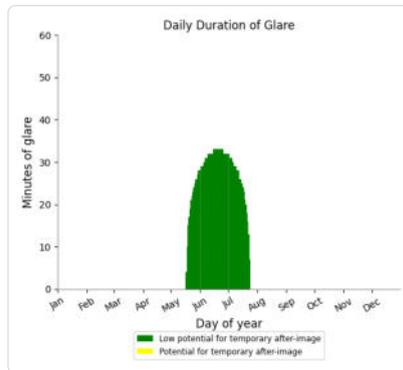
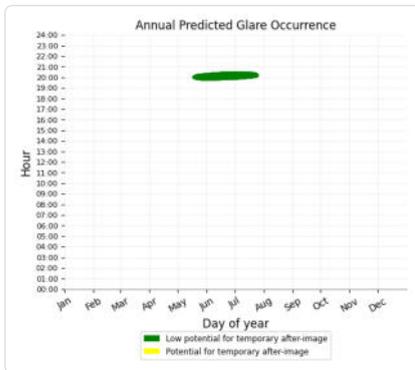
- 1,136 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 198 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld: OP 4

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

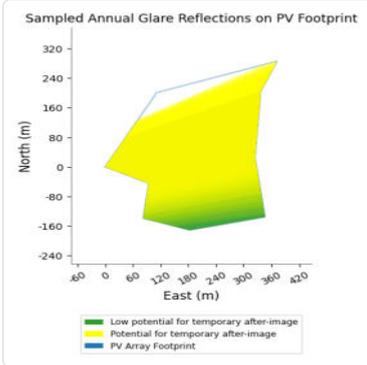
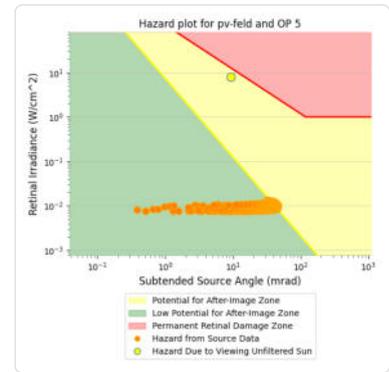
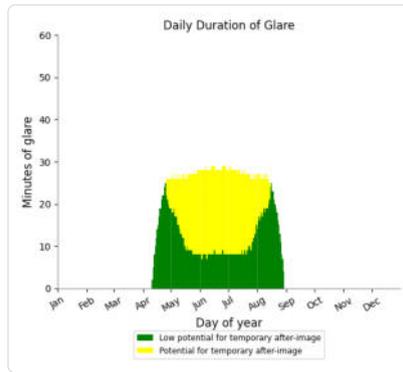
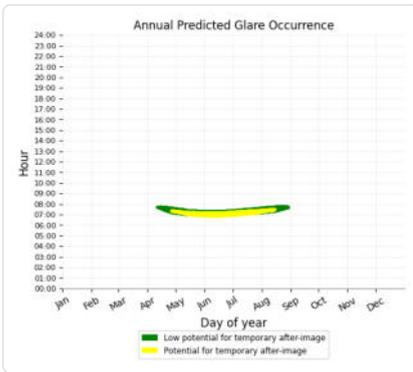
- 1,870 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 0 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld: OP 5

PV array is expected to produce the following glare for this receptor:

- 1,726 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 1,782 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.

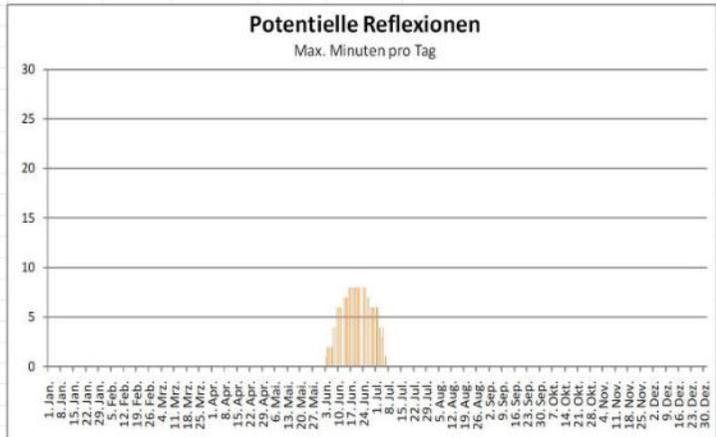


Assumptions

- Times associated with glare are denoted in Standard time. For Daylight Savings, add one hour.
- Glare analyses do not automatically account for physical obstructions between reflectors and receptors. This includes buildings, tree cover and geographic obstructions.
- Detailed system geometry is not rigorously simulated.
- The glare hazard determination relies on several approximations including observer eye characteristics, angle of view, and typical blink response time. Actual values and results may vary.
- The system output calculation is a DNI-based approximation that assumes clear, sunny skies year-round. It should not be used in place of more rigorous modeling methods.
- Several V1 calculations utilize the PV array centroid, rather than the actual glare spot location, due to algorithm limitations. This may affect results for large PV footprints. Additional analyses of array sub-sections can provide additional information on expected glare.
- The subtended source angle (glare spot size) is constrained by the PV array footprint size. Partitioning large arrays into smaller sections will reduce the maximum potential subtended angle, potentially impacting results if actual glare spots are larger than the sub-array size. Additional analyses of the combined area of adjacent sub-arrays can provide more information on potential glare hazards. (See previous point on related limitations.)
- Hazard zone boundaries shown in the Glare Hazard plot are an approximation and visual aid. Actual ocular impact outcomes encompass a continuous, not discrete, spectrum.
- Glare locations displayed on receptor plots are approximate. Actual glare-spot locations may differ.
- Refer to the **Help page** for detailed assumptions and limitations not listed here.

	Cornel Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Altitude	Sun Azimuth	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Anzahl				Minuten	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 1_0					
															Tag	Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	pro Tag	13	285	20:05	20:19			
2024-05-08 19:57:00	0,006724	636,554	1	0,418471	0,015109	0,001064	8,2	287,1	-0,946	0,29	0,142	0,946	-0,322	-0,022	7. Jun.	5	20:08	20:12	07. Juni	03. Juli								
2024-05-08 19:58:00	0,006894	634,8193	1	0,427141	0,01538	0,001844	8	287,2	-0,946	0,293	0,139	0,946	-0,324	-0,026	8. Jun.	7	20:07	20:13										
2024-05-09 19:55:00	0,006439	641,4345	1	0,395124	0,014375	0,001763	8,7	286,9	-0,946	0,287	0,151	0,946	-0,324	-0,013	9. Jun.	8	20:06	20:13										
2024-05-09 19:56:00	0,006647	639,7128	1	0,403313	0,014634	0,003296	8,5	287	-0,945	0,29	0,148	0,945	-0,325	-0,016	10. Jun.	8	20:07	20:14										
2024-05-09 19:57:00	0,006827	637,9878	1	0,411664	0,014896	0,004265	8,4	287,2	-0,945	0,293	0,146	0,945	-0,327	-0,02	11. Jun.	10	20:06	20:15										
2024-05-09 19:58:00	0,00699	636,2597	1	0,420182	0,015163	0,004902	8,2	287,4	-0,944	0,296	0,143	0,944	-0,328	-0,024	12. Jun.	10	20:06	20:15										
2024-05-09 19:59:00	0,007142	634,5283	1	0,428868	0,015435	0,005301	8,1	287,6	-0,944	0,299	0,14	0,944	-0,329	-0,028	13. Jun.	12	20:05	20:16										
2024-05-10 19:52:00	0,006134	649,4609	1	0,373215	0,013748	0,001334	9,2	286,7	-0,946	0,283	0,16	0,946	-0,325	-0,003	14. Jun.	12	20:05	20:16										
2024-05-10 19:53:00	0,006364	647,7619	1	0,380952	0,013996	0,003413	9	286,9	-0,945	0,286	0,157	0,945	-0,327	-0,007	15. Jun.	12	20:06	20:17										
2024-05-10 19:54:00	0,006583	646,0598	1	0,388843	0,014248	0,005131	8,9	287	-0,945	0,29	0,155	0,945	-0,328	-0,011	16. Jun.	12	20:06	20:17										
2024-05-10 19:55:00	0,00678	644,3544	1	0,39689	0,014505	0,006395	8,7	287,2	-0,944	0,293	0,152	0,944	-0,329	-0,015	17. Jun.	12	20:06	20:17										
2024-05-10 19:56:00	0,006957	642,6458	1	0,405098	0,014766	0,007242	8,6	287,4	-0,944	0,296	0,149	0,944	-0,331	-0,019	18. Jun.	13	20:06	20:18										
2024-05-10 19:57:00	0,007118	640,9341	1	0,413469	0,015031	0,007778	8,4	287,6	-0,943	0,299	0,147	0,943	-0,332	-0,023	19. Jun.	13	20:06	20:18										
2024-05-10 19:58:00	0,007268	639,2191	1	0,422005	0,0153	0,00812	8,3	287,8	-0,942	0,302	0,144	0,942	-0,334	-0,026	20. Jun.	13	20:07	20:19										
2024-05-10 19:59:00	0,007407	637,5009	1	0,43071	0,015574	0,008244	8,1	288	-0,942	0,305	0,141	0,942	-0,335	-0,03	21. Jun.	13	20:07	20:19										
2024-05-11 19:51:00	0,005986	652,5594	1	0,35996	0,013323	0,002105	9,6	286,7	-0,945	0,283	0,166	0,945	-0,328	0,002	22. Jun.	13	20:07	20:19										
2024-05-11 19:52:00	0,006251	650,8702	1	0,367419	0,013564	0,004861	9,4	286,8	-0,944	0,286	0,163	0,944	-0,329	-0,002	23. Jun.	13	20:07	20:19										
2024-05-11 19:53:00	0,006476	649,1777	1	0,375026	0,013809	0,006749	9,2	287	-0,944	0,289	0,161	0,944	-0,331	-0,005	24. Jun.	12	20:08	20:19										
2024-05-11 19:54:00	0,006684	647,482	1	0,382785	0,014057	0,008214	9,1	287,2	-0,943	0,292	0,158	0,943	-0,332	-0,009	25. Jun.	12	20:08	20:19										
2024-05-11 19:55:00	0,006874	645,7832	1	0,390697	0,01431	0,009292	8,9	287,4	-0,943	0,295	0,155	0,943	-0,333	-0,013	26. Jun.	12	20:08	20:19										
2024-05-11 19:56:00	0,007045	644,0811	1	0,398766	0,014567	0,010017	8,8	287,6	-0,942	0,298	0,153	0,942	-0,335	-0,017	27. Jun.	12	20:08	20:19										
2024-05-11 19:57:00	0,007202	642,3758	1	0,406995	0,014829	0,01046	8,6	287,8	-0,942	0,302	0,15	0,942	-0,336	-0,021	28. Jun.	11	20:08	20:18										
2024-05-11 19:58:00	0,007349	640,6673	1	0,415386	0,015094	0,010714	8,5	287,9	-0,941	0,305	0,147	0,941	-0,338	-0,025	29. Jun.	10	20:10	20:19										
2024-05-11 19:59:00	0,007485	638,9557	1	0,423944	0,015364	0,010778	8,3	288,1	-0,94	0,308	0,145	0,94	-0,339	-0,029	30. Jun.	10	20:10	20:19										
2024-05-11 20:00:00	0,007613	637,2408	1	0,43267	0,015638	0,010705	8,2	288,3	-0,94	0,311	0,142	0,94	-0,34	-0,033	1. Jul.	8	20:11	20:18										
2024-05-11 20:01:00	0,007733	635,5278	1	0,441567	0,015917	0,010492	8	288,5	-0,939	0,314	0,139	0,939	-0,342	-0,036	2. Jul.	7	20:12	20:18										
2024-05-12 19:50:00	0,00582	657,0815	1	0,347302	0,012943	0,002186	9,9	286,7	-0,944	0,282	0,172	0,944	-0,333	0,008	3. Jul.	5	20:13	20:17										
2024-05-12 19:51:00	0,006122	655,4085	1	0,354496	0,013178	0,005733	9,7	286,8	-0,943	0,285	0,169	0,943	-0,332	0,004	4. Jul.	2	20:16	20:17										
2024-05-12 19:52:00	0,006371	653,7322	1	0,361832	0,013416	0,008078	9,6	287	-0,943	0,289	0,167	0,943	-0,333	0														
2024-05-12 19:53:00	0,00659	652,0527	1	0,369314	0,013658	0,009763	9,4	287,2	-0,942	0,292	0,164	0,942	-0,335	-0,004		12												
2024-05-12 19:54:00	0,006783	650,37	1	0,376945	0,013905	0,01093	9,3	287,4	-0,942	0,295	0,161	0,942	-0,336	-0,008														
2024-05-12 19:55:00	0,00696	648,6841	1	0,384726	0,014155	0,011753	9,1	287,6	-0,941	0,298	0,159	0,941	-0,337	-0,012														
2024-05-12 19:56:00	0,007124	646,995	1	0,392662	0,014409	0,012331	9	287,7	-0,941	0,301	0,156	0,941	-0,339	-0,015														
2024-05-12 19:57:00	0,007277	645,3028	1	0,400754	0,014668	0,012682	8,8	287,9	-0,94	0,304	0,153	0,94	-0,34	-0,019														
2024-05-12 19:58:00	0,007421	643,6073	1	0,409007	0,01493	0,012876	8,7	288,1	-0,94	0,307	0,151	0,94	-0,341	-0,023														
2024-05-12 19:59:00	0,007556	641,9087	1	0,417421	0,015197	0,012914	8,5	288,3	-0,939	0,31	0,148	0,939	-0,343	-0,027														
2024-05-12 20:00:00	0,007684	640,207	1	0,426002	0,015469	0,012816	8,4	288,5	-0,938	0,314	0,145	0,938	-0,344	-0,031														
2024-05-12 20:01:00	0,007805	638,5021	1	0,434751	0,015744	0,012611	8,2	288,7	-0,938	0,317	0,143	0,938	-0,346	-0,035														
2024-05-12 20:02:00	0,007918	636,794	1	0,443672	0,016024	0,012269	8	288,8	-0,937	0,32	0,14	0,937	-0,347	-0,039														
2024-05-13 19:50:00	0,005949	658,4855	1	0,342152	0,012779	0,005952	10,1	286,8	-0,942	0,285	0,175	0,942	-0,334	0,009														
2024-05-13 19:51:00	0,006229	656,8189	1	0,34923	0,01301	0,008958	9,9	287	-0,942	0,288	0,173	0,942	-0,336	0,005														
2024-05-13 19:52:00	0,006456	655,149	1	0,356449	0,013245	0,010838	9,8	287,2	-0,941	0,291	0,17	0,941	-0,337	0,002														
2024-05-13 19:53:00	0,006655	653,476	1	0,36381	0,013484	0,012142	9,6	287,4	-0,941	0,294	0,167	0,941	-0,338	-0,002														
2024-05-13 19:54:00	0,006837	651,7997	1	0,371318	0,013727	0,01309	9,5	287,5	-0,94	0,297	0,165	0,94	-0,34	-0,006														
2024-05-13 19:55:00	0,007006	65																										

	Cornel Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Altitude	Sun Azimuth	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Tag	Anzahl Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 3_2	
2024-05-04 07:00:00	0,006676	638,8374	1	0,404234	0,014647	0,003664	8,1	74,6	0,955	0,263	0,141	-0,955	-0,298	-0,01	3. Jun.	1	06:34	06:34	09. Juni	02. Juli	8	169	06:31	06:41	Potentielle Reflexionen am Messpunkt OP 3_2: 169 Minuten pro Jahr (Summe gesamt) 169 Minuten im Juni-September mit Sichtschutz durch Blattwerk 0 Minuten im Oktober-Mai ohne Sichtschutz durch Blattwerk 8 Minuten pro Tag (Max)	
2024-05-05 06:59:00	0,006902	638,7823	1	0,405518	0,014692	0,006931	8,2	74,2	0,953	0,269	0,142	-0,953	-0,304	-0,012	4. Jun.	2	06:34	06:36								
2024-05-06 06:57:00	0,007603	638,4978	1	0,415373	0,015042	0,014613	8,1	73,7	0,95	0,278	0,14	-0,95	-0,311	-0,018	5. Jun.	2	06:33	06:35								
2024-05-06 06:58:00	0,007106	640,2374	1	0,406901	0,014776	0,009419	8,2	73,9	0,951	0,275	0,143	-0,951	-0,31	-0,014	6. Jun.	2	06:33	06:34								
2024-05-07 06:56:00	0,007746	638,4094	1	0,416869	0,015095	0,016177	8,1	73,3	0,948	0,284	0,141	-0,948	-0,317	-0,02	7. Jun.	4	06:32	06:36								
2024-05-07 06:57:00	0,007728	640,1452	1	0,408384	0,014828	0,011598	8,3	73,5	0,949	0,281	0,144	-0,949	-0,315	-0,016	8. Jun.	4	06:32	06:36								
2024-05-07 06:58:00	0,006694	641,8778	1	0,400064	0,014565	0,004564	8,4	73,7	0,949	0,278	0,147	-0,949	-0,314	-0,012	9. Jun.	6	06:31	06:36								
2024-05-08 06:54:00	0,008291	638,094	1	0,427141	0,015459	0,02064	8	72,8	0,946	0,293	0,139	-0,946	-0,324	-0,026	10. Jun.	6	06:32	06:37								
2024-05-08 06:55:00	0,007904	639,8226	1	0,418471	0,015186	0,017621	8,2	72,9	0,946	0,29	0,142	-0,946	-0,322	-0,022	11. Jun.	6	06:32	06:37								
2024-05-08 06:56:00	0,007464	641,548	1	0,40997	0,014918	0,013567	8,3	73,1	0,947	0,287	0,145	-0,947	-0,321	-0,018	12. Jun.	6	06:32	06:37								
2024-05-08 06:57:00	0,00694	643,2702	1	0,401636	0,014654	0,007799	8,5	73,3	0,947	0,284	0,148	-0,947	-0,32	-0,014	13. Jun.	7	06:31	06:37								
2024-05-09 06:53:00	0,008411	637,9727	1	0,428868	0,015518	0,021697	8,1	72,4	0,944	0,299	0,14	-0,944	-0,329	-0,028	14. Jun.	7	06:31	06:37								
2024-05-09 06:54:00	0,008041	639,6977	1	0,420182	0,015245	0,018965	8,2	72,6	0,944	0,296	0,143	-0,944	-0,328	-0,024	15. Jun.	7	06:32	06:38								
2024-05-09 06:55:00	0,007624	641,4195	1	0,411664	0,014976	0,015356	8,4	72,8	0,945	0,293	0,146	-0,945	-0,327	-0,02	16. Jun.	8	06:31	06:38								
2024-05-09 06:56:00	0,007138	643,138	1	0,403313	0,014712	0,010349	8,5	73	0,945	0,29	0,148	-0,945	-0,325	-0,016	17. Jun.	8	06:31	06:38								
2024-05-09 06:57:00	0,006485	644,8533	1	0,395124	0,014452	0,001966	8,7	73,1	0,946	0,287	0,151	-0,946	-0,324	-0,013	18. Jun.	8	06:31	06:38								
2024-05-10 06:51:00	0,008528	637,627	1	0,43071	0,015577	0,022694	8,1	72	0,942	0,305	0,141	-0,942	-0,335	-0,03	19. Jun.	8	06:31	06:38								
2024-05-10 06:52:00	0,008172	639,3449	1	0,422005	0,015303	0,020215	8,3	72,2	0,942	0,302	0,144	-0,942	-0,334	-0,026	20. Jun.	8	06:32	06:39								
2024-05-10 06:53:00	0,007776	641,0597	1	0,413469	0,015034	0,016981	8,4	72,4	0,943	0,299	0,147	-0,943	-0,332	-0,023	21. Jun.	8	06:32	06:39								
2024-05-10 06:54:00	0,007321	642,7712	1	0,405098	0,014769	0,0126	8,6	72,6	0,944	0,296	0,149	-0,944	-0,331	-0,019	22. Jun.	8	06:32	06:39								
2024-05-10 06:55:00	0,006768	644,4796	1	0,396889	0,014508	0,006184	8,7	72,8	0,944	0,293	0,152	-0,944	-0,329	-0,015	23. Jun.	8	06:32	06:39								
2024-05-11 06:49:00	0,008853	635,7558	1	0,441567	0,015922	0,024217	8	71,5	0,939	0,314	0,139	-0,939	-0,342	-0,036	24. Jun.	8	06:33	06:40								
2024-05-11 06:50:00	0,008645	637,4734	1	0,43267	0,015644	0,023619	8,2	71,7	0,94	0,311	0,142	-0,94	-0,34	-0,033	25. Jun.	8	06:33	06:40								
2024-05-11 06:51:00	0,008304	639,1878	1	0,423944	0,015369	0,021382	8,3	71,9	0,94	0,308	0,145	-0,94	-0,339	-0,029	26. Jun.	7	06:34	06:40								
2024-05-11 06:52:00	0,007926	640,899	1	0,415386	0,0151	0,018476	8,5	72,1	0,941	0,305	0,147	-0,941	-0,338	-0,025	27. Jun.	7	06:34	06:40								
2024-05-11 06:53:00	0,007498	642,607	1	0,406995	0,014834	0,014621	8,6	72,2	0,942	0,302	0,15	-0,942	-0,336	-0,021	28. Jun.	6	06:35	06:40								
2024-05-11 06:54:00	0,006994	644,3119	1	0,398766	0,014573	0,009214	8,8	72,4	0,942	0,298	0,153	-0,942	-0,335	-0,017	29. Jun.	6	06:36	06:41								
2024-05-12 06:48:00	0,008966	637,0981	1	0,443672	0,016032	0,024797	8	71,2	0,937	0,32	0,14	-0,937	-0,347	-0,039	30. Jun.	6	06:36	06:41								
2024-05-12 06:49:00	0,008729	638,8055	1	0,434751	0,015752	0,023894	8,2	71,3	0,938	0,317	0,143	-0,938	-0,346	-0,035	1. Jul.	6	06:36	06:41								
2024-05-12 06:50:00	0,008454	640,5099	1	0,426002	0,015476	0,022474	8,4	71,5	0,938	0,314	0,145	-0,938	-0,344	-0,031	2. Jul.	6	06:36	06:41								
2024-05-12 06:51:00	0,008091	642,2111	1	0,417421	0,015205	0,019858	8,5	71,7	0,939	0,31	0,148	-0,939	-0,343	-0,027	3. Jul.	4	06:37	06:41								
2024-05-12 06:52:00	0,007685	643,9091	1	0,409007	0,014937	0,016435	8,7	71,9	0,94	0,307	0,151	-0,94	-0,341	-0,023	4. Jul.	3	06:39	06:42								
2024-05-12 06:53:00	0,007216	645,604	1	0,400754	0,014675	0,011759	8,8	72,1	0,94	0,304	0,153	-0,94	-0,34	-0,019	5. Jul.	4	06:39	06:43								
2024-05-12 06:54:00	0,006625	647,2957	1	0,392662	0,014416	0,00457	9	72,3	0,941	0,301	0,156	-0,941	-0,339	-0,015	6. Jul.	1	06:41	06:41								
2024-05-13 06:47:00	0,009082	636,9128	1	0,445903	0,016108	0,025589	8,1	70,8	0,935	0,325	0,141	-0,935	-0,352	-0,041	7. Jul.	2	06:41	06:43								
2024-05-13 06:48:00	0,008851	638,6169	1	0,436957	0,015827	0,024785	8,2	71	0,936	0,322	0,143	-0,936	-0,351	-0,037												
2024-05-13 06:49:00	0,008583	640,3178	1	0,428183	0,015551	0,023497	8,4	71,2	0,936	0,319	0,146	-0,936	-0,349	-0,033	6											
2024-05-13 06:50:00	0,008235	642,0156	1	0,419577	0,015278	0,021136	8,5	71,4	0,937	0,316	0,149	-0,937	-0,348	-0,029												
2024-05-13 06:51:00	0,007849	643,7102	1	0,411137	0,015011	0,018083	8,7	71,5	0,938	0,313	0,151	-0,938	-0,347	-0,025												
2024-05-13 06:52:00	0,00741	645,4017	1	0,402859	0,014747	0,014011	8,9	71,7	0,938	0,31	0,154	-0,938	-0,345	-0,022												
2024-05-13 06:53:00	0,006891	647,0901	1	0,394741	0,014488	0,008245	9	71,9	0,939	0,307	0,157	-0,939	-0,344	-0,018												
2024-05-14 06:46:00	0,009187	638,2061	1	0,448266	0,016226	0,025997	8,1	70,5	0,933	0,331	0,141	-0,933	-0,357	-0,043												
2024-05-14 06:47:00	0,008992	639,9003	1	0,439292	0,015944	0,025618	8,3	70,7	0,934	0,328	0,144	-0,934	-0,356	-0,039												
2024-05-14 06:48:00	0,008731	641,5913	1	0,43049	0,015665	0,024453	8,4	70,8	0,934	0,325	0,147	-0,934	-0,354	-0,035												
2024-05-14 06:49:00	0,008395	643,2793	1	0,421857	0,015392	0,022323	8,6	71	0,935	0,322	0,149	-0,935	-0,353	-0,032												
2024-05-14 06:50:00	0,008026	644,9642	1	0,413389	0,015122	0,019595	8,7	71,2	0,936	0,319	0,152	-0,936	-0,352	-0,028												
2024-05-14 06:51:00	0,007612	646,6459	1	0,405084	0,014857	0,016016	8,9	71,4	0,936	0,315	0,154	-0,936	-0,35	-0,024												
2024-05-14 06:52:00	0,007132	648,3245	1	0,396938	0,014596	0,011094	9	71,6	0,937	0,312	0,157	-0,937	-0,349	-0,02												
2024-05-14 06:53:00	0,006504	649,9999	1	0,38895	0,014339	0,00314	9,2	71,7	0,937	0,309	0,16	-0,937	-0,348	-0,016												



	Cornel Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Altitude	Sun Azimuth	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Anzahl Tag	Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 5_4	
2024-04-11 07:41:00	0,004972	641,4512	1	0,293286	0,01067	0,00605	8,1	86,7	0,988	0,057	0,141	-0,988	-0,12	0,093	26. Apr.	4	07:20	07:23	27. April	13. August	21	1773	06:52	07:31	Potentielle Reflexionen am Messpunkt OP 5_4: 1773 Minuten pro Jahr (Summe gesamt) 1285 Minuten im Juni-September mit Sichtschutz durch Blattwerk 488 Minuten im Oktober-Mai ohne Sichtschutz durch Blattwerk 21 Minuten pro Tag (Max) Parameter für Daten Bereinigung (Datensatz mit 3509 Einträgen /-1726): 1.: Zeitraum ab 05:40 Uhr bis Sonnenuntergang 2.: Sonnenstand über Horizont ist min. 8° (Standard: min. 10°) 3.: Dauer der Reflexion ist min. 5 Minuten pro Tag (Standard: min. 5 Minuten)	
2024-04-11 07:42:00	0,004734	643,3719	1	0,287035	0,010474	0,002751	8,2	86,9	0,988	0,054	0,143	-0,988	-0,119	0,097	27. Apr.	5	07:19	07:23								
2024-04-12 07:39:00	0,005523	641,5023	1	0,299486	0,010897	0,0149	8	86	0,988	0,068	0,14	-0,988	-0,129	0,087	28. Apr.	6	07:18	07:23								
2024-04-12 07:40:00	0,005338	643,4133	1	0,293109	0,010696	0,013296	8,2	86,2	0,988	0,065	0,143	-0,988	-0,128	0,091	29. Apr.	7	07:16	07:22								
2024-04-12 07:41:00	0,00512	645,3203	1	0,286866	0,0105	0,010889	8,4	86,4	0,987	0,062	0,146	-0,987	-0,126	0,095	30. Apr.	7	07:15	07:21								
2024-04-12 07:42:00	0,004868	647,2233	1	0,280754	0,010306	0,00751	8,5	86,6	0,987	0,058	0,148	-0,987	-0,125	0,099	1. Mai.	8	07:14	07:21								
2024-04-12 07:43:00	0,004607	649,1223	1	0,274772	0,010116	0,003582	8,7	86,8	0,986	0,055	0,151	-0,987	-0,123	0,103	2. Mai.	8	07:14	07:21								
2024-04-13 07:37:00	0,005921	641,5422	1	0,305848	0,011129	0,019844	8	85,4	0,987	0,079	0,139	-0,987	-0,138	0,081	3. Mai.	8	07:13	07:20								
2024-04-13 07:38:00	0,00576	643,4437	1	0,299342	0,010924	0,018926	8,2	85,6	0,987	0,076	0,142	-0,987	-0,137	0,085	4. Mai.	8	07:12	07:19								
2024-04-13 07:39:00	0,005595	645,3412	1	0,292973	0,010724	0,017868	8,3	85,8	0,987	0,072	0,145	-0,987	-0,135	0,089	5. Mai.	9	07:11	07:19								
2024-04-13 07:40:00	0,005417	647,2347	1	0,286738	0,010526	0,016469	8,5	86	0,987	0,069	0,148	-0,987	-0,134	0,093	6. Mai.	9	07:10	07:18								
2024-04-13 07:41:00	0,005216	649,1243	1	0,280635	0,010332	0,014495	8,6	86,2	0,986	0,066	0,15	-0,986	-0,132	0,097	7. Mai.	10	07:09	07:18								
2024-04-13 07:42:00	0,004981	651,0098	1	0,274659	0,010142	0,01163	8,8	86,4	0,986	0,063	0,153	-0,986	-0,131	0,101	8. Mai.	11	07:07	07:17								
2024-04-13 07:43:00	0,00471	652,8914	1	0,26881	0,009954	0,00769	9	86,6	0,986	0,059	0,156	-0,986	-0,129	0,105	9. Mai.	12	07:06	07:17								
2024-04-13 07:44:00	0,004428	654,7689	1	0,263083	0,00977	0,003053	9,1	86,7	0,986	0,056	0,159	-0,986	-0,128	0,109	10. Mai.	12	07:04	07:15								
2024-04-14 07:36:00	0,006099	641,8094	1	0,305794	0,01113	0,022795	8,1	85	0,986	0,086	0,141	-0,986	-0,145	0,079	11. Mai.	13	07:03	07:15								
2024-04-14 07:37:00	0,005946	643,7056	1	0,299243	0,010925	0,022112	8,3	85,2	0,986	0,083	0,144	-0,986	-0,144	0,083	12. Mai.	14	07:02	07:15								
2024-04-14 07:38:00	0,005791	645,5979	1	0,292882	0,010724	0,021316	8,4	85,4	0,986	0,08	0,147	-0,986	-0,143	0,087	13. Mai.	14	07:01	07:14								
2024-04-14 07:39:00	0,005628	647,4862	1	0,286654	0,010527	0,020326	8,6	85,6	0,986	0,077	0,15	-0,986	-0,141	0,091	14. Mai.	15	07:00	07:14								
2024-04-14 07:40:00	0,005452	649,3706	1	0,280557	0,010333	0,019001	8,8	85,7	0,986	0,073	0,152	-0,986	-0,14	0,095	15. Mai.	16	06:59	07:14								
2024-04-14 07:41:00	0,00526	651,2509	1	0,274588	0,010143	0,017244	8,9	85,9	0,985	0,07	0,155	-0,985	-0,138	0,099	16. Mai.	17	06:58	07:14								
2024-04-14 07:42:00	0,005041	653,1273	1	0,268745	0,009955	0,014811	9,1	86,1	0,985	0,067	0,158	-0,985	-0,137	0,103	17. Mai.	17	06:58	07:14								
2024-04-14 07:43:00	0,004779	654,9997	1	0,263024	0,009771	0,011186	9,3	86,3	0,985	0,064	0,161	-0,985	-0,135	0,107	18. Mai.	17	06:57	07:13								
2024-04-14 07:44:00	0,00449	656,868	1	0,257424	0,009591	0,006568	9,4	86,5	0,985	0,06	0,164	-0,985	-0,134	0,112	19. Mai.	17	06:58	07:14								
2024-04-14 07:45:00	0,004186	658,7324	1	0,251942	0,009413	0,000981	9,6	86,7	0,984	0,057	0,166	-0,984	-0,133	0,116	20. Mai.	18	06:57	07:14								
2024-04-15 07:33:00	0,00639	639,9341	1	0,312307	0,011335	0,025572	8,1	84,4	0,985	0,097	0,14	-0,985	-0,154	0,073	21. Mai.	18	06:57	07:14								
2024-04-15 07:34:00	0,006256	641,8249	1	0,306256	0,011128	0,0253	8,2	84,6	0,985	0,094	0,143	-0,985	-0,153	0,077	22. Mai.	18	06:56	07:13								
2024-04-15 07:35:00	0,006109	643,7117	1	0,299188	0,010923	0,0248	8,4	84,7	0,985	0,091	0,146	-0,985	-0,151	0,081	23. Mai.	18	06:56	07:13								
2024-04-15 07:36:00	0,005959	645,5946	1	0,292834	0,010723	0,024173	8,6	84,9	0,985	0,087	0,149	-0,985	-0,15	0,085	24. Mai.	19	06:55	07:13								
2024-04-15 07:37:00	0,005805	647,4737	1	0,286613	0,010525	0,023417	8,7	85,1	0,985	0,084	0,152	-0,985	-0,149	0,089	25. Mai.	19	06:55	07:13								
2024-04-15 07:38:00	0,005642	649,3488	1	0,280523	0,010332	0,022435	8,9	85,3	0,985	0,081	0,154	-0,985	-0,147	0,093	26. Mai.	20	06:54	07:13								
2024-04-15 07:39:00	0,005467	651,2199	1	0,27456	0,010141	0,021161	9	85,5	0,985	0,077	0,157	-0,985	-0,146	0,097	27. Mai.	19	06:54	07:12								
2024-04-15 07:40:00	0,005278	653,0871	1	0,268722	0,009954	0,019507	9,2	85,7	0,984	0,074	0,16	-0,984	-0,144	0,101	28. Mai.	19	06:54	07:12								
2024-04-15 07:41:00	0,005069	654,9504	1	0,263007	0,00977	0,017287	9,4	85,9	0,984	0,071	0,163	-0,984	-0,143	0,106	29. Mai.	20	06:53	07:12								
2024-04-15 07:42:00	0,004823	656,8097	1	0,257412	0,009589	0,014101	9,5	86,1	0,984	0,068	0,166	-0,984	-0,141	0,11	30. Mai.	20	06:54	07:13								
2024-04-15 07:43:00	0,004521	658,6649	1	0,251934	0,009412	0,00929	9,7	86,3	0,984	0,064	0,168	-0,984	-0,14	0,114	31. Mai.	20	06:53	07:12								
2024-04-15 07:44:00	0,004199	660,5162	1	0,246572	0,009237	0,003368	9,9	86,4	0,983	0,061	0,171	-0,983	-0,139	0,118	1. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:31:00	0,006666	639,9466	1	0,319047	0,01158	0,027605	8	83,8	0,984	0,108	0,14	-0,984	-0,163	0,067	2. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:32:00	0,006545	641,828	1	0,312284	0,011368	0,027625	8,2	83,9	0,984	0,104	0,142	-0,984	-0,162	0,071	3. Jun.	21	06:52	07:12								
2024-04-16 07:33:00	0,006416	643,7056	1	0,305663	0,01116	0,027481	8,4	84,1	0,984	0,101	0,145	-0,984	-0,16	0,075	4. Jun.	20	06:52	07:11								
2024-04-16 07:34:00	0,006276	645,5794	1	0,29918	0,010955	0,027135	8,5	84,3	0,984	0,098	0,148	-0,984	-0,159	0,079	5. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:35:00	0,006129	647,4492	1	0,292833	0,010753	0,026648	8,7	84,5	0,984	0,095	0,151	-0,984	-0,157	0,083	6. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:36:00	0,005979	649,3152	1	0,286618	0,010556	0,026045	8,8	84,7	0,984	0,091	0,154	-0,984	-0,156	0,087	7. Jun.	21	06:52	07:12								
2024-04-16 07:37:00	0,005823	651,1772	1	0,280533	0,010361	0,025281	9	84,9	0,984	0,088	0,156	-0,984	-0,155	0,091	8. Jun.	21	06:52	07:12								
2024-04-16 07:38:00	0,005659	653,0354	1	0,274576	0,01017	0,024302	9,2	85,1	0,984	0,085	0,159	-0,984	-0,153	0,095	9. Jun.	20	06:52	07:11								
2024-04-16 07:39:00	0,005485	654,8896	1	0,268743	0,009982	0,023056	9,3	85,3	0,983	0,082	0,162	-0,983	-0,152	0,099	10. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:40:00	0,005297	656,7399	1	0,263032	0,009798	0,02144	9,5	85,4	0,983	0,078	0,165	-0,983	-0,15	0,104	11. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:41:00	0,00509	658,5863	1	0,257442	0,009616	0,019318	9,6	85,6	0,983	0,075	0,168	-0,983	-0,149	0,108	12. Jun.	20	06:53	07:12								
2024-04-16 07:42:00	0,004847	660,4287	1	0,251968	0,009438	0,016256	9,8	85,8	0,983	0,072	0,17	-0,983	-0,147	0,112	13. Jun.	21	06:52	07:12								

