

SolPEG Blendgutachten

Solarpark Weilerswist

**Analyse der potentiellen Blendwirkung einer geplanten PV Anlage
in der Nähe von Weilerswist in Nordrhein-Westfalen**

SolPEG GmbH

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

FON: +49 (0)40 79 69 59 36

FAX: +49 (0)40 79 69 59 38

info@solpeg.de

www.solpeg.de

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	17
4.1	Ergebnisübersicht	17
4.2	Ergebnisse am Messpunkt P1, Straße L194 südwestlich	18
4.3	Ergebnisse am Messpunkt P2, Straße L194 nordwestlich	20
4.4	Ergebnisse am Messpunkt P3, Bahnstrecke östlich	21
4.5	Ergebnisse am Messpunkt P54, Gebäude östlich	22
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	24
5.1	Zusammenfassung	24
5.2	Beurteilung der Ergebnisse	24
6	Schlussbemerkung	24
7	Anhang	25 - 38

SolPEG Blendgutachten

Analyse der Blendwirkung der geplanten PV Anlage "Weilerswist"

1 Auftrag

1.1 Beauftragung

Als unabhängiger Gutachter ist die SolPEG GmbH durch die ABO-Wind AG beauftragt, die potentielle Blendwirkung der geplanten PV Anlage „Weilerswist“ zu analysieren und die Ergebnisse zu dokumentieren.

1.2 Hintergrund und Auftragsumfang

Die Umsetzung der Energiewende und die Bestrebungen für mehr Klimaschutz resultieren in Erfordernissen und Maßnahmen, die als gesellschaftlicher Konsens und somit als öffentliche Belange gesetzlich festgeschrieben sind. Z.B. im „Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden“ (2011) und im „Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG“ (2017). 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. Licht-Leitlinie¹, 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 Licht-Leitlinie 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 „Weilerswist“ eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Licht-Leitlinie ausgehen könnte. Dies gilt insbesondere für Verkehrsteilnehmer auf der L194 sowie die Bahnstrecke Köln-Euskirchen.

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 Licht-Leitlinie 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 ca. 3 km südwestlich der Ortschaft Weilerswist in einem landwirtschaftlich geprägten Gebiet in Nordrhein-Westfalen. Östlich der Fläche verläuft auf einer Länge von ca. 280 m die Bahnstrecke Köln-Euskirchen², westlich der Fläche verläuft die L194. Die folgenden Informationen und Bilder geben einen Überblick über den Standort.

Tabelle 1: Informationen über den Standort

Allgemeine Beschreibung des Standortes	Ackerfläche südwestlich der Ortschaft Weilerswist in Nordrhein-Westfalen. Die Fläche ist überwiegend eben.
Koordinaten (Mitte)	50.724°N, 6.824°O, 136 m ü.N.N
Entfernung zur Bahnlinie	ca.20 m
Grenzlänge entlang der Bahnlinie	ca. 280 m
Entfernung zu angrenzenden Straßen	ca. 10 m - 20 m
Entfernung zu umliegenden Gebäuden	ca.900 m (relevante Blickrichtung)

Übersicht über den Standort und die PV Anlage (schematisch)

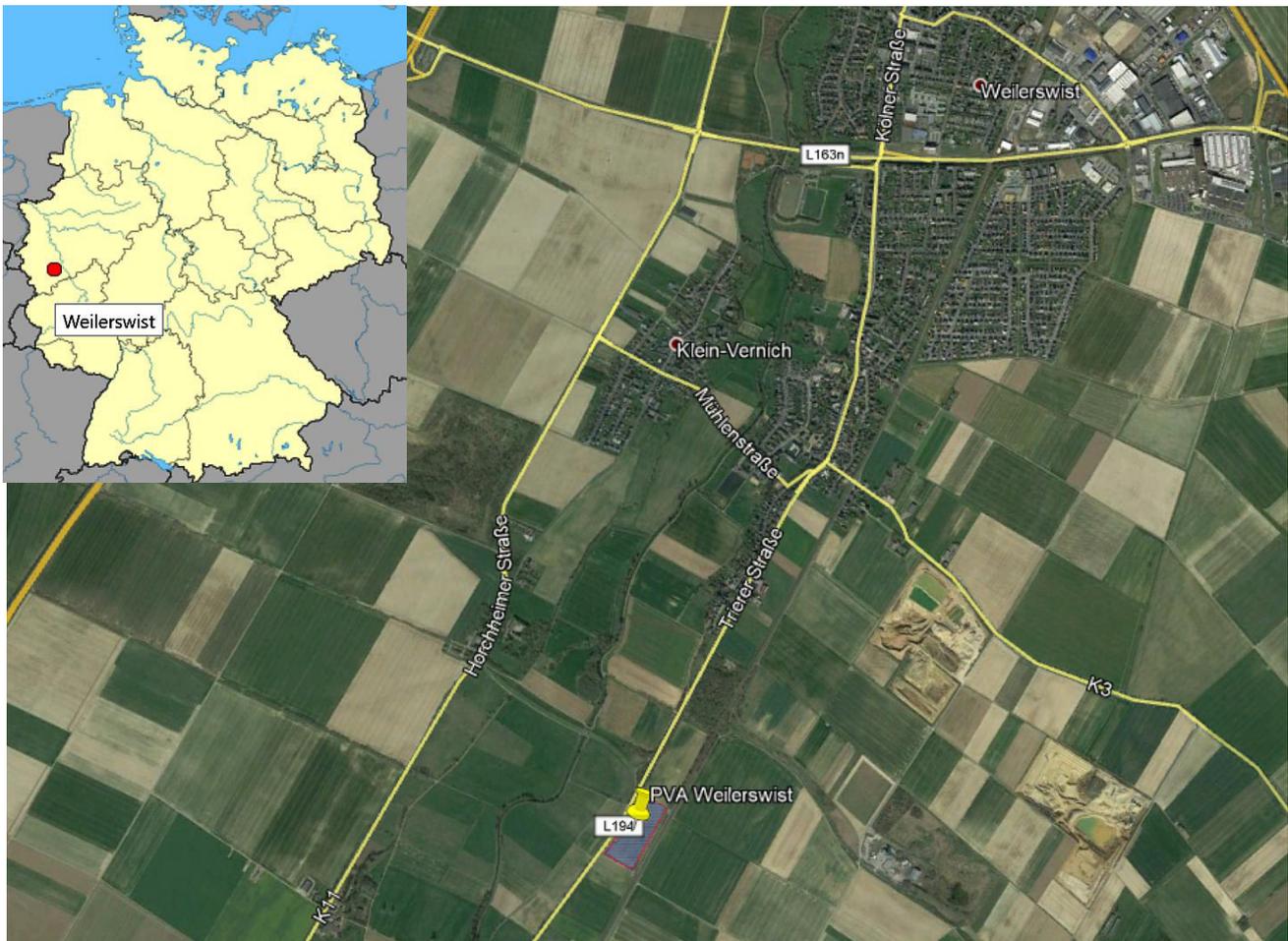


Bild 2.1.1: Luftbild der PV Anlage und Umgebung (Quelle: Google Earth/SolPEG)

² Eifelstrecke, DB Streckennummer 2631, DB Kursbuchstrecke 474

Die folgenden Bilder zeigen die Fläche der geplanten PV Anlage sowie Umgebung.

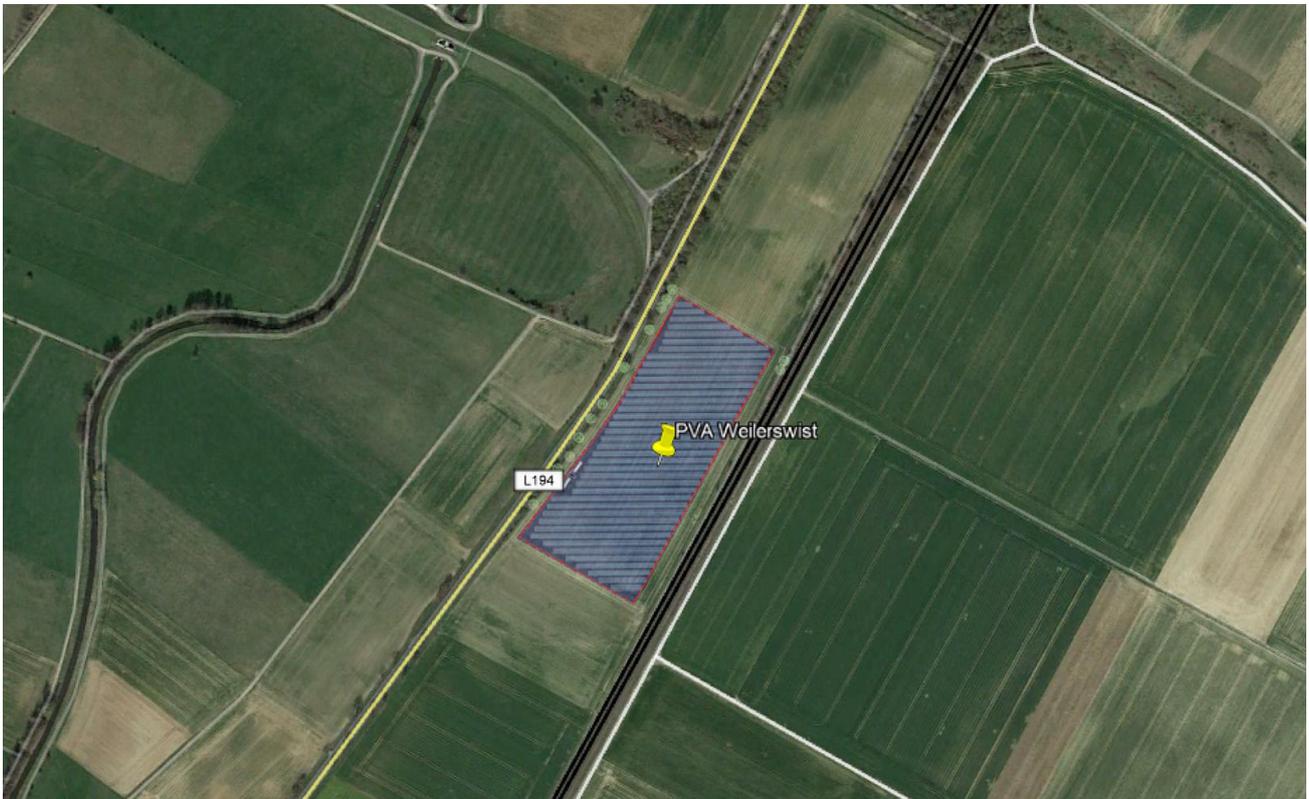


Bild 2.1.2: Detail der PVA und L194 (Quelle: SolPEG)

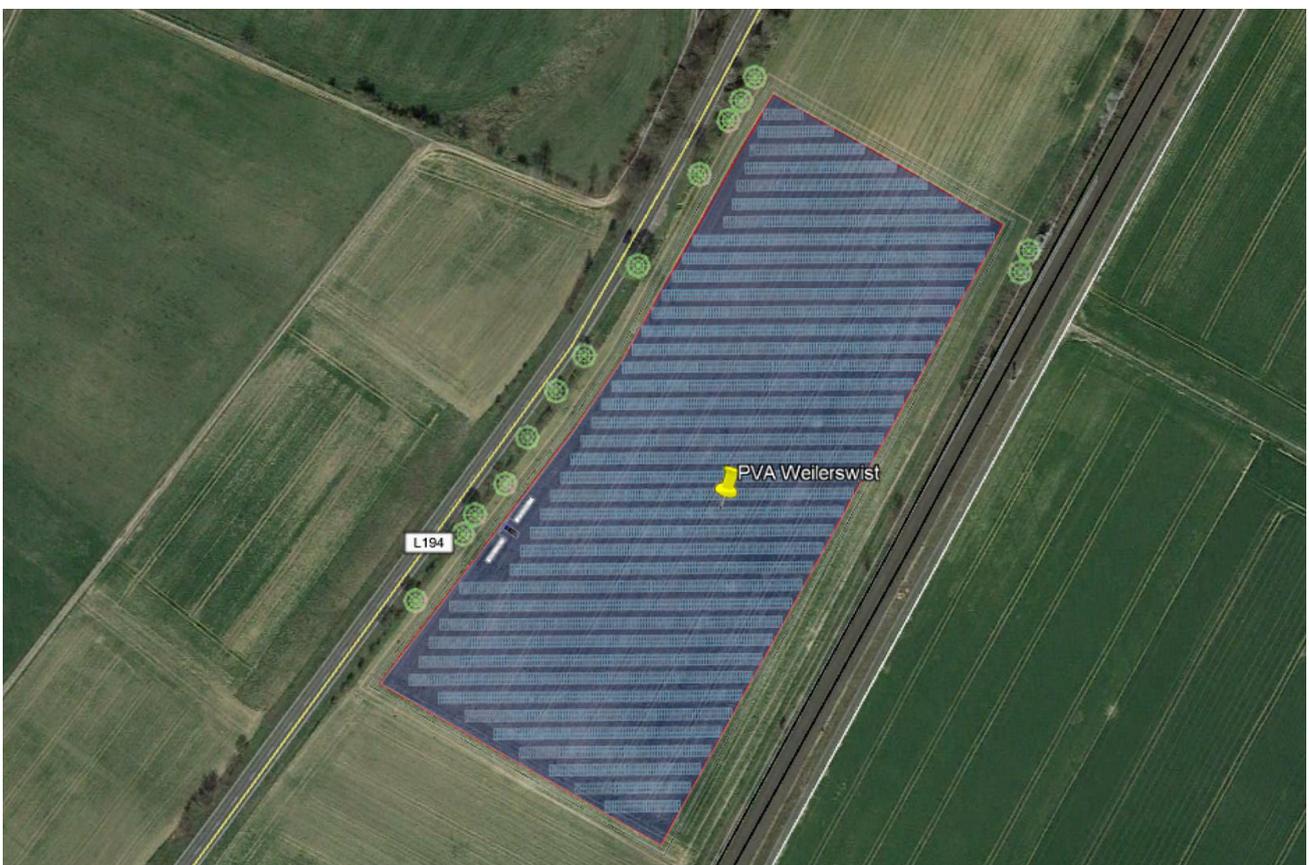


Bild 2.1.3: Detail der PVA (Quelle: SolPEG)

Fotos der PV Fläche. Blick von Südwesten Richtung Nordosten.



Bild 2.1.3: Blick von Südwesten Richtung Nordosten (Quelle: Google StreetView / picsandplan 11/2020, Ausschnitt)

Blick von Nordwesten Richtung Südosten auf die Fläche der PV Anlage.



Bild 2.1.4: Blick von Nordwesten Richtung Südosten (Quelle: Google StreetView / picsandplan 11/2020, 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.

Das folgende Bild zeigt Gebäude in der Umgebung der PV Anlage. Diese können aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz nicht von potentiellen Reflexionen durch die PV Anlage erreicht werden und/oder sind aufgrund der großen Entfernung nicht von Reflexionen betroffen. Nur der Standort östlich der PV Anlage wird zur Kontrollzwecken analysiert.



Bild 2.2.1: Gebäude in der Umgebung der PV Anlage (Quelle: Google Earth / SolPEG)

3 Ermittlung der potentiellen Blendwirkung

3.1 Rechtliche Hinweise

Weitere Hinweise u.a. zur Licht-Leitlinie sind nicht Bestandteil dieses Dokumentes.

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 reflektierten Lichtes auf 1-4 % reduzieren können. Folgende Skizze zeigt den Aufbau:

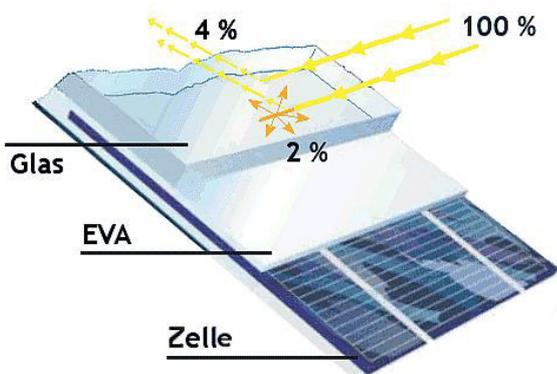


Bild 3.2.1: Anteil des reflektierten Sonnenlichtes bei einem PV Modul (Quelle: SolPEG)

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)

Das folgende Bild verdeutlicht die Reflexion von verschiedenen Moduloberflächen im direkten Vergleich. Das mittlere Modul entspricht den aktuell marktüblichen PV Modulen wie auch im Bild 3.2.2 dargestellt. Durch die strukturierte Oberfläche wird das Sonnenlicht diffus mit einer stärkeren Streuung reflektiert und die Leuchtdichte ist entsprechend vermindert. Das Modul rechts im Bild zeigt aufgrund der speziellen Oberfläche praktisch keine direkte, sondern durch die starke Bündelaufweitung der Lichtstrahlen, ausschließlich diffuse Reflexion.



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

Diese Eigenschaften können schematisch wie folgt dargestellt werden

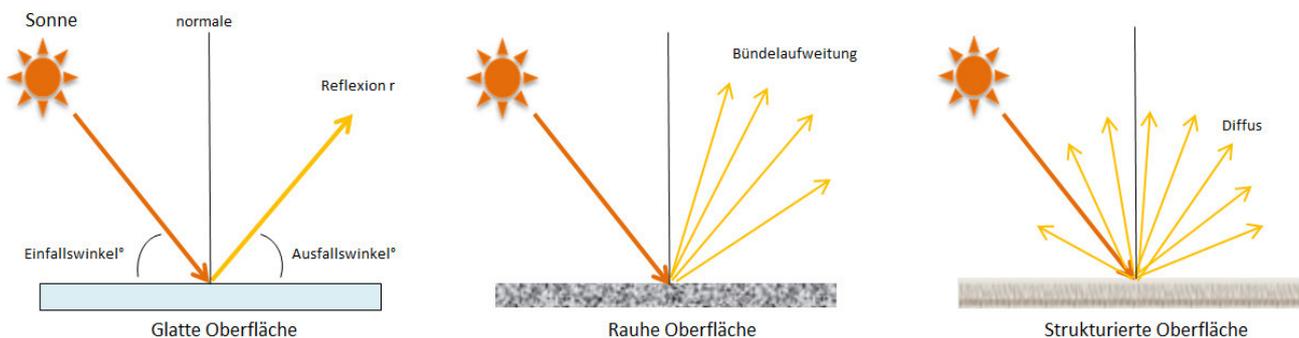


Bild 3.2.4: Reflexion von unterschiedlichen Oberflächen (Quelle: SolPEG)

Lt. Informationen des Auftraggebers sollen PV Module des Herstellers Suntech Power mit speziellen Anti-Reflexions-Eigenschaften 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 Characteristics	
Solar Cell	Monocrystalline silicon 166 mm
No. of Cells	144 (6 x 24)
Dimensions	2115 x 1052 x 35 mm (83.3 x 41.4 x 1.4 inches)
Weight	24 kg (52.9 lbs.)
Front Glass	3.2 mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68 rated (3 bypass diodes)

Bild 3.2.5: Auszug aus den Herstellerangaben

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 FAA³ 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 sind, kann der Winkel der Reflexion (θ_p) mit der folgenden Formel berechnet werden:

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

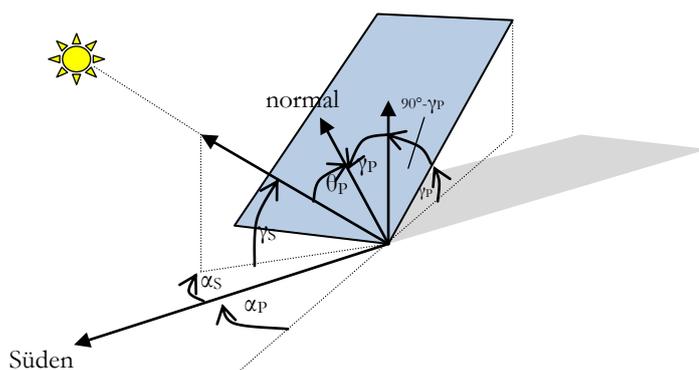


Bild 3.3.1: Schematische Darstellung der Reflexionen auf einer geneigten Fläche (Quelle: SolPEG)

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 Immissionsquelle 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-Leitlinie⁴ wird eine Entfernung von 100 m genannt.

Die durchgeführten Berechnungen wurden u.a. mit Simulationen und Modellen des Sandia National Laboratories⁵, New Mexico überprüft.

³ US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths:
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

⁴ Licht-Leitlinie Seite 22: Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden, erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen.

⁵ 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 einfachen 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.

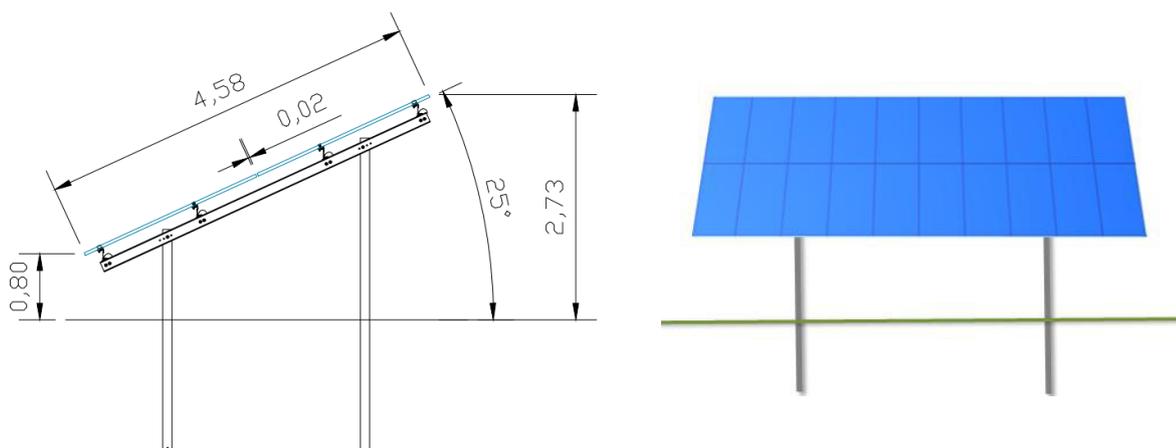


Bild 3.4.1: Skizze der Modulkonstruktion (Quelle: Systemplanung)

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

Berechnungsparameter

PV Modul	Suntech Power (oder vergleichbar)
Moduloberfläche	Solarglas mit Anti-Reflexionsbehandlung (lt. Datenblatt)
Unterkonstruktion	Modultische, fest aufgeständert
Modulinstallation	2 Module hochkant übereinander
Ausrichtung (Azimut)	180,7° Süden (180° = Süden)
Modulneigung	25°
Höhe der sichtbaren Modulfläche	min. 0,8 m, max. 2,75 m
Anzahl Messpunkte gesamt	6 Messpunkte (siehe Skizze 3.5.1)
Höhe Messpunkte	2 m über Boden
Azimut Blickrichtung Fahrzeugführer ⁶	Fahrtrichtung +/- 20°

⁶ Überwiegend wird angenommen, dass Reflexionen in einem Winkel von 20° und mehr 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 wird der für Reflexionen relevante Blickwinkel als Fahrtrichtung +/- 20° definiert.

3.5 Standorte für die Analyse

Eine Analyse der potentiellen Blendwirkung 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 gewählt und die jeweils im Jahresverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. Die Position der Messpunkte wird anhand von Erfahrungswerten sowie den Ausführungen der Licht-Leitlinie zu schutzwürdigen Zonen festgelegt. U.a. können Objekte im Süden von PV Anlagen aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz nicht von potentiellen Reflexionen erreicht werden und werden daher nur in besonderen Fällen untersucht.

Für die Analyse der potentiellen Blendwirkung wurden exemplarisch insgesamt 4 Messpunkte festgelegt und die jeweils im Jahresverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. 1 Messpunkt entlang der Bahnlinie, 2 Messpunkte im Verlauf der Straße L194 sowie 1 Messpunkt im Bereich von umliegenden Gebäuden. Privat-, Feld- und Wirtschaftswege werden nicht analysiert. Die Einzelergebnisse sind im Abschnitt 4 dargestellt und kommentiert.

Die folgende Übersicht zeigt die gewählten Messpunkte P1 - P3, Messpunkt P4 liegt weiter östlich:

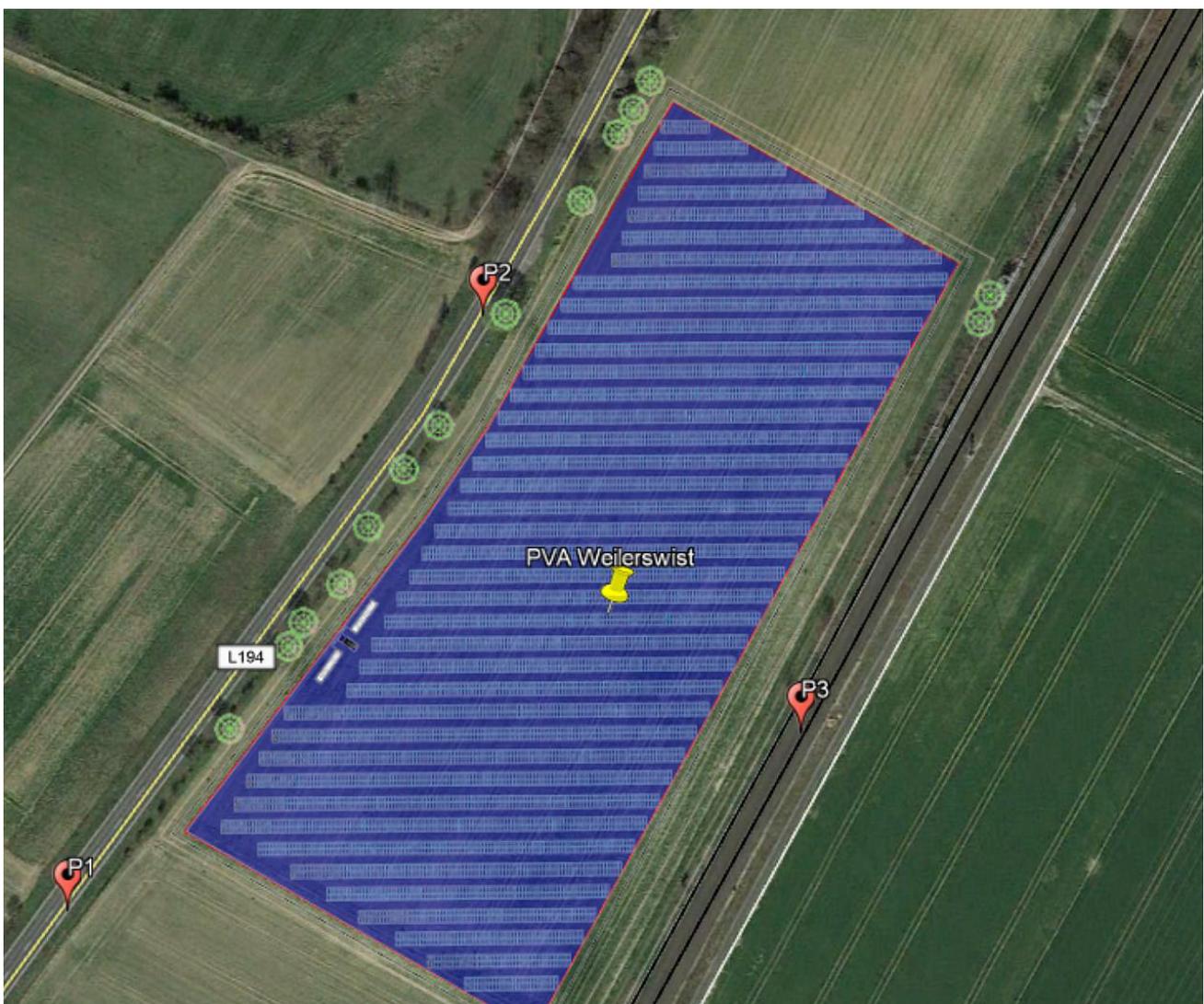


Bild 3.5.1: Exemplarisch gewählte Messpunkte P1 – P3 für die Analyse der Reflexionen (Quelle: Google Earth/SolPEG)

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 belästigenden 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 fehlt⁷ 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 Leutdichte 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 Schärffpunktes (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."

In der hier zur Anwendung kommenden Simulationssoftware 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.

⁷ Licht-Leitlinie "2. Anwendungsbereich", Seite 2 ff., bzw. Anhang 2 ab Seite 22

Sonderfall Zugführer

Das Simulationsprogramm ermittelt alle Lichtstrahlen/Reflexionen die einen Immissionsort erreichen können (360°). Das Verfahren ist rechnerisch korrekt aber es kann die Realität von bestimmten Umgebungen nicht ausreichend abbilden.

Der Arbeitsplatz des Zugführers hat ein eingeschränktes Sichtfeld u.a. um während der Fahrt Störungen aus dem seitlichen Sichtbereich zu verhindern. Die folgenden Bilder zeigen den Frontbereich von gängigen Loks bzw. Triebwagentypen.



Bild 3.6.1: Fensterfront gängiger Loktypen (Quelle: Wikipedia, CC 0.0 Lizenz, Ausschnitt bearbeitet)

Konstruktionsbedingt verfügen auch aktuelle Lokomotiven bzw. Triebwagen nur über einen eingeschränkten Sichtbereich und daher können potentielle Reflexionen den Zugführer kaum erreichen. Die o.g. Aspekte unterstützen die gängige Einschätzung, dass der Sichtbereich für Zug- und Fahrzeugführer auf +/-20° zur Fahrtrichtung als relevant festgelegt ist. Die in der Simulation berechneten Ergebnisse beziehen sich auf einen Ort im freien Raum (360° Rundumblick) und sind daher nur mit Einschränkungen verwendbar. Die folgenden Bilder zeigen beispielhaft den Führerstand gängiger Loktypen und den Sichtbereich der Zugführer.



Bild 3.6.2: Blick aus dem Führerstand. Links Baureihe 143, rechts 155 (Quelle: Wikipedia, CC 0.0 Lizenz, Ausschnitt)

Es ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht möglich alle aktuellen bzw. auch älteren Baureihen der zum Einsatz kommenden Loktypen mit den jeweiligen Fenstergrößen, dem Sichtwinkel von Sitzplatz zu Fensteraußenkante sowie Sitzhöhe des Zugführers zu simulieren. Beispielsweise wird die momentan noch verwendete Baureihe 143 / 243 (RB) u.a. aufgrund der gestiegenen Sicherheitsanforderungen (Crash-Optimierung) bis 2021 gegen neuere Baureihen oder Triebwagen ersetzt. Aber auch hier ist die Fensterfront im Randbereich überwiegend nur unwesentlich verändert und daher sind die entsprechenden Aspekte der Simulation weiterhin anwendbar.

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. TMY⁸) vorhanden sind. Der Deutsche Wetterdienst DWD hat für Deutschland für das Jahr 2020 eine mittlere Wolkenbedeckung⁹ von ca. 78 % ermittelt. Der Durchschnittswert für den Zeitraum 1982-2009 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.

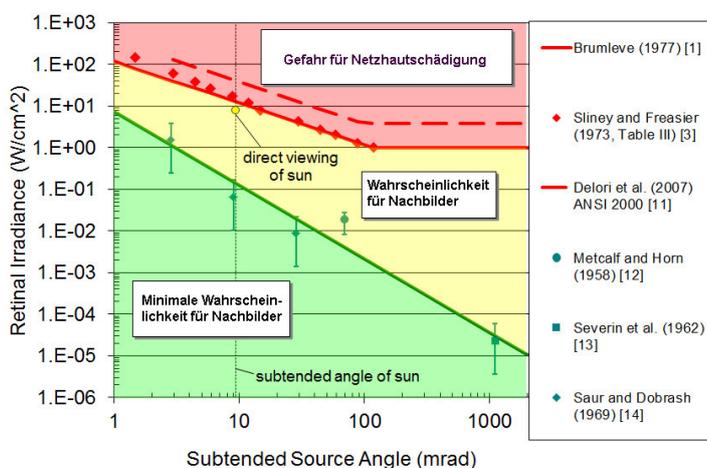


Bild 3.6.3: Kategorisierung von Reflexionen (Quelle: Sandia National Laboratories, siehe auch Diagramme im Anhang)

⁸ Handbuch: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

⁹ DWD Service: https://www.dwd.de/DE/leistungen/rcccm/int/rcccm_int_cfc.html

Bild: https://www.dwd.de/DWD/klima/rcccm/int/rcc_eude_cen_cfc_mean_2020_17.png

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisübersicht

Die Berechnung der potentiellen Blendwirkung der PV Anlage Weilerswist wird für 4 exemplarisch gewählte Messpunkte durchgeführt. Das Ergebnis 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 3.6.3 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.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebniswerte nach Bereinigung der Rohdaten und Anmerkungen zu weiteren Einschränkungen. Die Zahlen dienen der Übersicht aus formellen Gründen und sind nur im Kontext und mit den genannten Einschränkungen zu verwenden. Individuelle Ausführungen erfolgen im weiteren Abschnitt gesondert für die jeweiligen Messpunkte.

Potentielle Blendwirkung an den jeweiligen Messpunkten [Kategorie ■, Minuten pro Jahr]

Messpunkt	PV Feld
P1 Straße L194, südwestlich	1884 ^W
P2 Straße L194, nordwestlich	2120 ^W
P3 Bahnstrecke, östlich	3004 ^W
P4 Gebäude, östlich	82 ^E

^W Aufgrund des Einfallswinkels zu vernachlässigen

^E Aufgrund der Entfernung zur Immissionsquelle zu vernachlässigen

^S Aufgrund von Sichtschutz durch Geländestruktur, natürliche oder künstliche Objekte zu vernachlässigen

Die unbereinigten Daten sind im Anhang aufgeführt.

4.2 Ergebnisse am Messpunkt P1, Straße L194 südwestlich

Am Messpunkt P1 auf der Straße L194 südwestlich der PV Anlage können theoretisch bei der Fahrt Richtung Nordosten (Weilerswist) zwischen dem 28. April - 15. August Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch in der Zeit zwischen 06:12 Uhr - 06:40 Uhr für max. 19 Minuten pro Tag auftreten.

Die Einfallswinkel von potentiellen Reflexionen liegen allerdings mit ca. $+30^\circ$ bis $+61^\circ$ rechts (östlich) zur Fahrtrichtung außerhalb des für Fahrzeugführer relevanten Blickwinkels (Fahrtrichtung $\pm 20^\circ$, ca. 100 m) und sind daher zu vernachlässigen.

Eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Die folgende Skizze zeigt die Situation am Messpunkt P1.

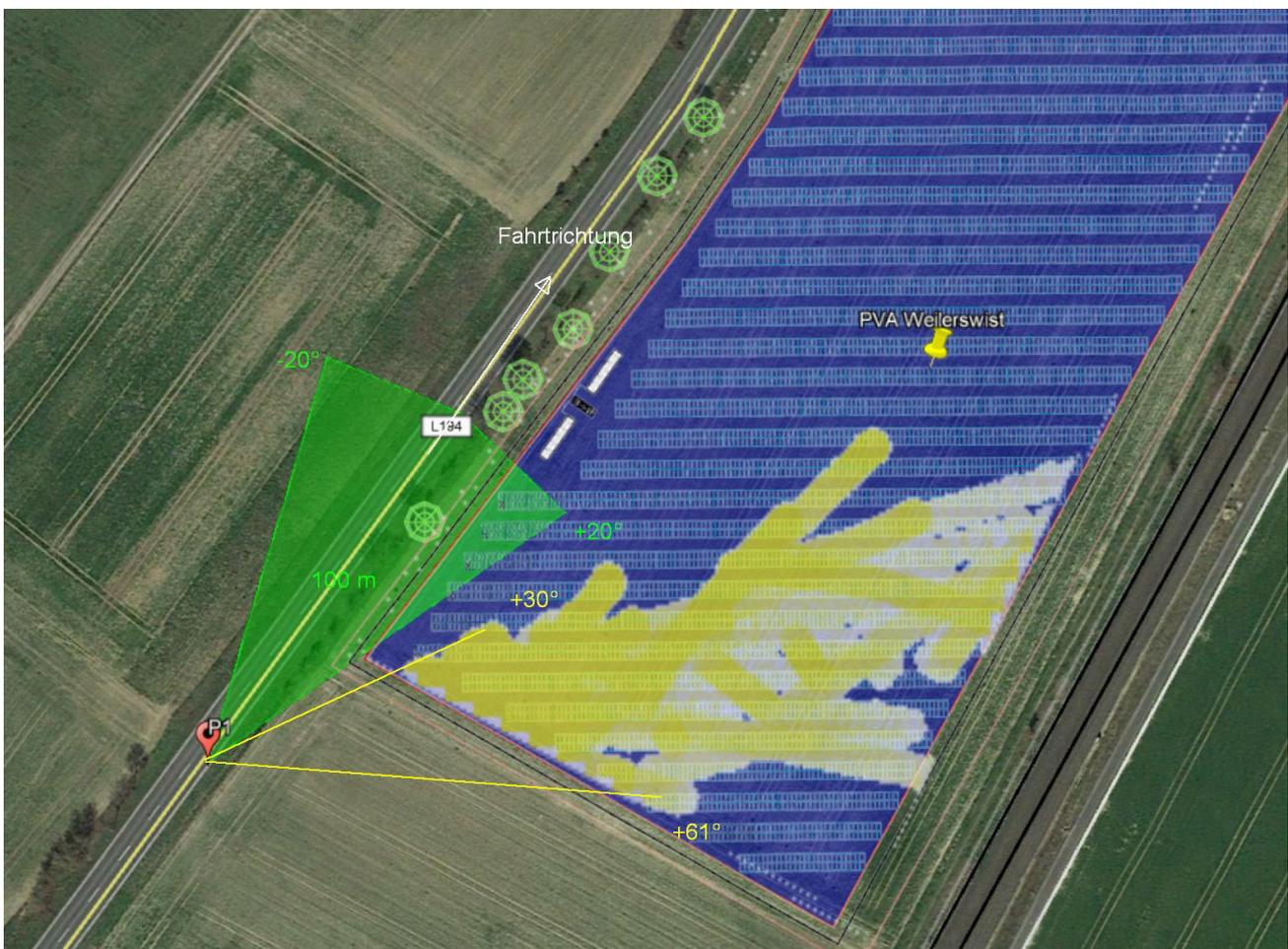


Bild 4.2.1: Potentielle Reflexionen am Messpunkt P1 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der grün markierte Bereich symbolisiert den relevanten Sichtwinkel bei der Fahrt Richtung Nordosten. Potentielle Reflexionen können theoretisch in der gelb/weiß markierten Fläche¹⁰ auftreten. Aufgrund des Einfallswinkels wären diese jedoch zu vernachlässigen.

¹⁰ Fläche der nicht bereinigten Simulationsergebnisse

Die folgende Skizze (Pseudo 3D) zeigt die Situation am Messpunkt P1 aus Sicht des Fahrzeugführers bei der Fahrt Richtung Nordosten. Rechts im Bild, außerhalb des relevanten Sichtwinkels, sind potentielle Reflexionen als gelbe Fläche dargestellt.

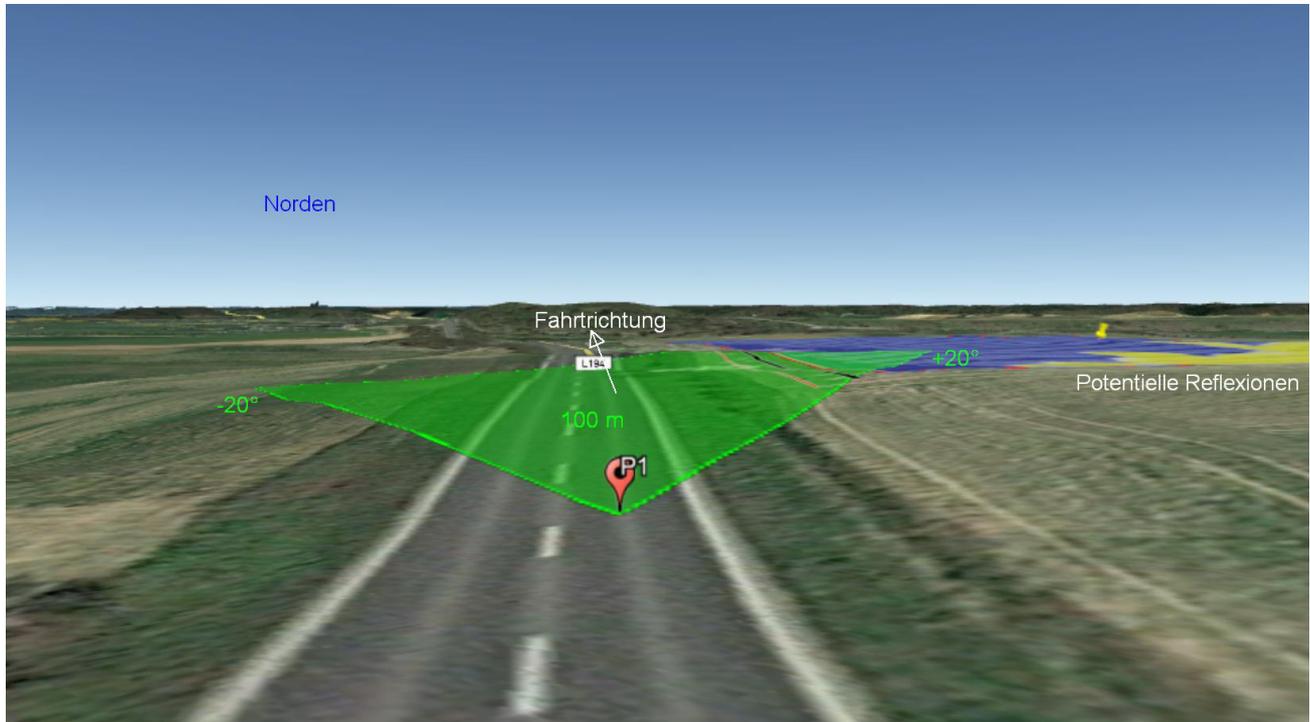


Bild 4.2.2: Messpunkt P1, Blick Richtung Norden (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Das folgende Bild zeigt die Situation am Messpunkt P1 auf der L194 bei der Fahrt Richtung Nordosten in der Realität. Der relevante Sichtbereich ist leicht aufgehellt. Das PV Feld liegt rechts im Bild, überwiegend außerhalb des relevanten Sichtwinkels, Reflexionen entsprechend noch weiter rechts.



Bild 4.2.3: Foto am Messpunkt P1, Blick Richtung Nordosten (Quelle: Google StreetView / picsandplan 11/2020, Ausschnitt)

4.3 Ergebnisse am Messpunkt P2, Straße L194 nordwestlich

Am Messpunkt P2 auf der Straße L194 nordwestlich der PV Anlage können in ähnlicher Weise wie auch am Messpunkt P1 theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 18. April - 25. August in der Zeit zwischen 06:30 Uhr - 06:57 Uhr für max. 17 Minuten pro Tag auftreten.

Aufgrund des Fahrbahnverlaufes liegen die Einfallswinkel von potentiellen Reflexionen auch in diesem Bereich mit ca. $+36^\circ$ bis $+67^\circ$ rechts (östlich) zur Fahrtrichtung außerhalb des für Fahrzeugführer relevanten Blickwinkels (Fahrtrichtung $\pm 20^\circ$, ca. 100 m) und sind daher zu vernachlässigen.

Eine Beeinträchtigung von Verkehrsteilnehmern kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Die folgende Skizze zeigt die Situation am Messpunkt P2.



Bild 4.3.1: Potentielle Reflexionen am Messpunkt P2 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der grün markierte Bereich symbolisiert den relevanten Sichtwinkel bei der Fahrt Richtung Norden. Potentielle Reflexionen können theoretisch in den gelb/weiß markierten Flächen auftreten. Aufgrund des Einfallswinkels wären diese jedoch zu vernachlässigen.

Potentielle Reflexionen wären nur wahrnehmbar, wenn der Fahrzeugführer den Blick aktiv von der Straße abwendet und direkt in Richtung der aufgehenden Sonne blicken würde. Aber selbst beim Blick in die Immissionsquelle für ca. 10 – 15 Sekunden könnte sich eine Blendwirkung nur in Form von kurzzeitigen Nachbildern bemerkbar machen.

Da ein derartiges Fahrverhalten nicht den allgemeinen Vorschriften für eine sichere Fahrzeugführung entspricht, wird es daher als unwahrscheinlich bzw. als nicht relevant angenommen.

4.4 Ergebnisse am Messpunkt P3, Bahnstrecke östlich

Am Messpunkt P3 auf der Bahnstrecke östlich der PV Anlage können theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch in der Zeit zwischen dem 18. April - 15. August abends zwischen 18:29 – 19:11 Uhr aus westlicher Richtung auftreten.

Die Einfallswinkel von potentiellen Reflexionen liegen allerdings deutlich außerhalb des für Zugführer relevanten Blickwinkels (Fahrtrichtung +/- 20°, ca. 100 m) und sind daher zu vernachlässigen. Dies gilt sowohl für die Fahrt Richtung Norden (Weilerswist) als auch Richtung Süden (Euskirchen).

Eine Beeinträchtigung von Zugführern kann mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die folgende Skizze verdeutlicht die Situation am Messpunkt P3 auf Basis der unbereinigten Rohdaten.



Bild 4.4.1: Potentielle Reflexionen am Messpunkt P3 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der grün markierte Bereich symbolisiert den relevanten Sichtwinkel bei der Fahrt Richtung Norden. Potentielle Reflexionen können theoretisch in den gelb/weiß markierten Flächen auftreten. Nach Bereinigung der Rohdaten ist die Fläche entsprechend kleiner bzw. schmaler. Aufgrund des Einfallswinkels wären Reflexionen jedoch zu vernachlässigen. Die Sichtbarkeit von ggf. vorhandenen DB Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt.

4.5 Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude östlich

Messpunkt P4 östlich der PV Anlage im Bereich des Werksgeländes der Basalt-Union GmbH wurde nur zu Kontrollzwecken untersucht da aufgrund der großen Entfernung von ca. 930 m zur Immissionsquelle ohnehin kaum mit Reflexionen zu rechnen ist. Erwartungsgemäß sind nur an insgesamt 82 Minuten pro Jahr zwischen dem 29. April – 07. August in der Zeit zwischen 18:30 Uhr - 18:54 Uhr für max. 7 Minuten pro Tag¹¹ nachweisbar.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse in der Übersicht.

Mögliches Auftreten und Dauer von Reflexionen am Messpunkt P3

Zeitraum Beginn	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag (max.)	Minuten im Zeitraum	Erstes Auftreten	Letztes Auftreten
29. April	01. Mai	5	15	18:30	18:39
05. Mai	09. Mai	6	27	18:31	18:45
04. August	05. August	7	12	18:39	18:50
07. August	07. August	7	7	18:41	18:54

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

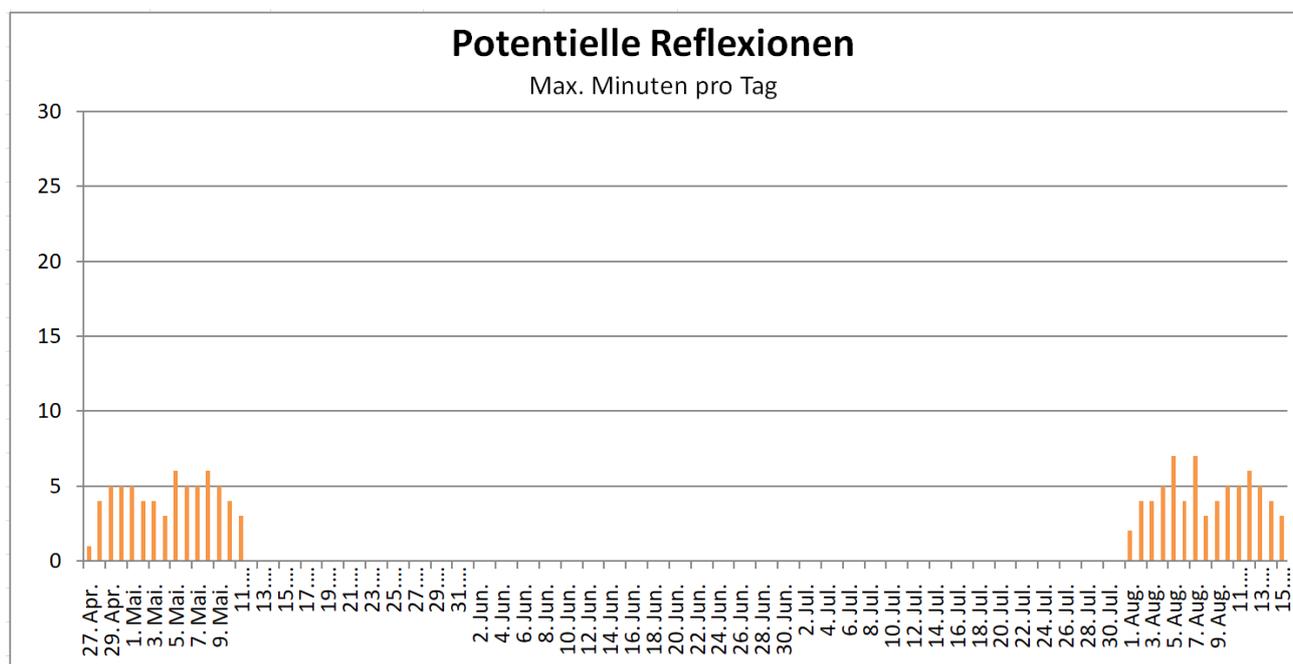


Bild 4.5.1: Reflexionen pro Tag im Jahresverlauf (Quelle: Simulationsergebnisse, aufbereitet)

Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer und insbesondere aufgrund der großen Entfernung zur Immissionsquelle sind potentielle Reflexionen zu vernachlässigen. Eine Beeinträchtigung der Mitarbeiter im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden.

¹¹ Generell wird das Auftreten von Reflexionen an weniger als 5 Minuten pro Tag nicht berücksichtigt (Messunsicherheit)

Die folgende Skizze zeigt die große Entfernung zur Immissionsquelle.



Bild 4.5.2: Übersicht PV Anlage und Messpunkt P4 (Quelle: Simulationsergebnisse, aufbereitet)

Beispielhaft für die Simulationsergebnisse zeigen die folgenden Diagramme das Auftreten der Reflexionen im Tages- bzw. im Jahresverlauf am Messpunkt P4. Die jeweiligen Farben (Grün/ Gelb) symbolisieren die Kategorie der potentiellen Blendwirkung in Bezug zur Leuchtdichte der Reflexionen. Wie bereits in Abschnitt 3.6 ausgeführt sind die theoretischen Maximalwerte für einen ortsfesten Standort berechnet, die nicht ohne Einschränkungen verwendet werden können. Weitere Details auch zu den anderen Messpunkten finden sich im Anhang. Die minutengenauen Rohdaten der Berechnungsergebnisse sind nicht Bestandteil dieses Dokumentes.

PV Feld - OP Receptor (OP 4)

PV array is expected to produce the following glare for receptors at this location:

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

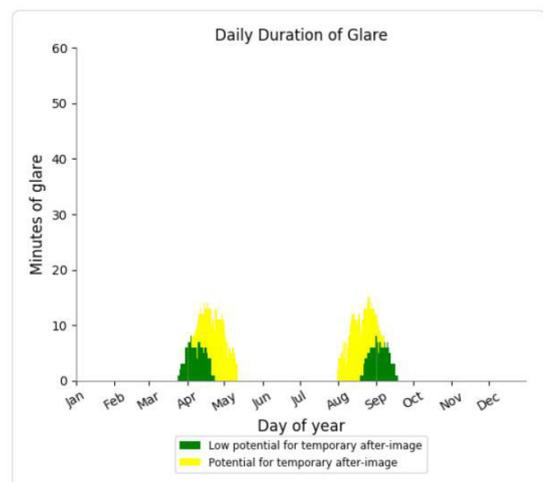
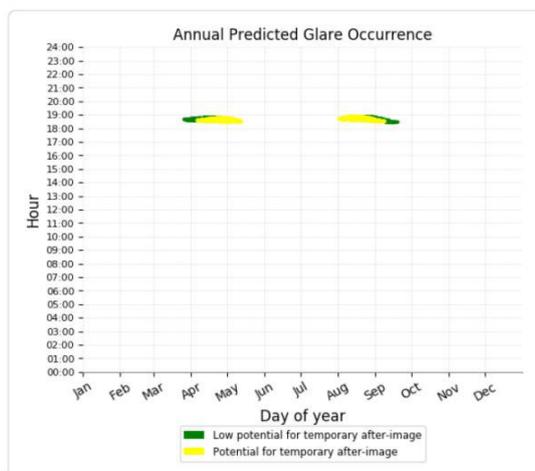


Bild 4.5.2: Ergebnisdetails für Messpunkt P4 / OP = Observation Point (Quelle: Simulationsergebnisse)

Weitere Ergebnisse sind im Anhang aufgeführt

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

5.1 Zusammenfassung

Die Berechnung der Reflexionen für 4 exemplarisch gewählte Messpunkte der geplanten PV Anlage „Weilerswist“ ergibt eine theoretische aber geringfügige und zeitlich begrenzte Blendwirkung durch Reflexionen.

Verkehrsteilnehmer auf der Straße L194 werden nicht durch potentielle Reflexionen durch die PV Anlage beeinträchtigt, da die Einfallswinkel deutlich außerhalb des für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkels liegen.

Auch Zugführer auf der östlich verlaufenden Bahnstrecke Köln-Euskirchen werden nicht durch potentielle Reflexionen durch die PV Anlage beeinträchtigt da auch hier die Einfallswinkel deutlich außerhalb des für Zugführer relevanten Sichtwinkels liegen. Die Sichtbarkeit von evt. vorhandenen DB Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt.

Für Mitarbeiter im Bereich des Produktionsstandortes der Firma Basalt-Union GmbH, östlich der PV Anlage, sind potentielle Reflexionen durch die PV Anlage aufgrund der geringen zeitlichen Dauer und aufgrund der großen Entfernung von ca. 930 m zur Immissionsquelle zu vernachlässigen. Eine Beeinträchtigung für Anwohner bzw. für schutzwürdige Räume im Sinne der LAI Lichtleitlinie ist nicht gegeben.

Details zu den Ergebnissen an den jeweiligen Messpunkten finden sich in Abschnitt 4 und im Anhang.

5.2 Beurteilung der Ergebnisse

Die potentielle Blendwirkung der hier betrachteten PV Anlage „Weilerswist“ kann aufgrund der Dauer und Leuchtdichte als „geringfügig“ klassifiziert werden. Im Vergleich zur Blendwirkung durch direktes Sonnenlicht oder durch Spiegelungen von Wasserflächen, Gewächshäusern o.ä. ist diese „vernachlässigbar“.

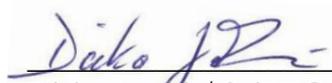
Unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. lokalen Wetterbedingungen (Frühnebel, etc.) kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten derartiger Reflexion als äußerst gering eingestuft werden. Eine Beeinträchtigung von Zugführern, Verkehrsteilnehmern und Anwohnern durch Reflexionen der geplanten PV Anlage kann mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse sind keine Sichtschutzmaßnahmen erforderlich bzw. angeraten.

6 Schlussbemerkung

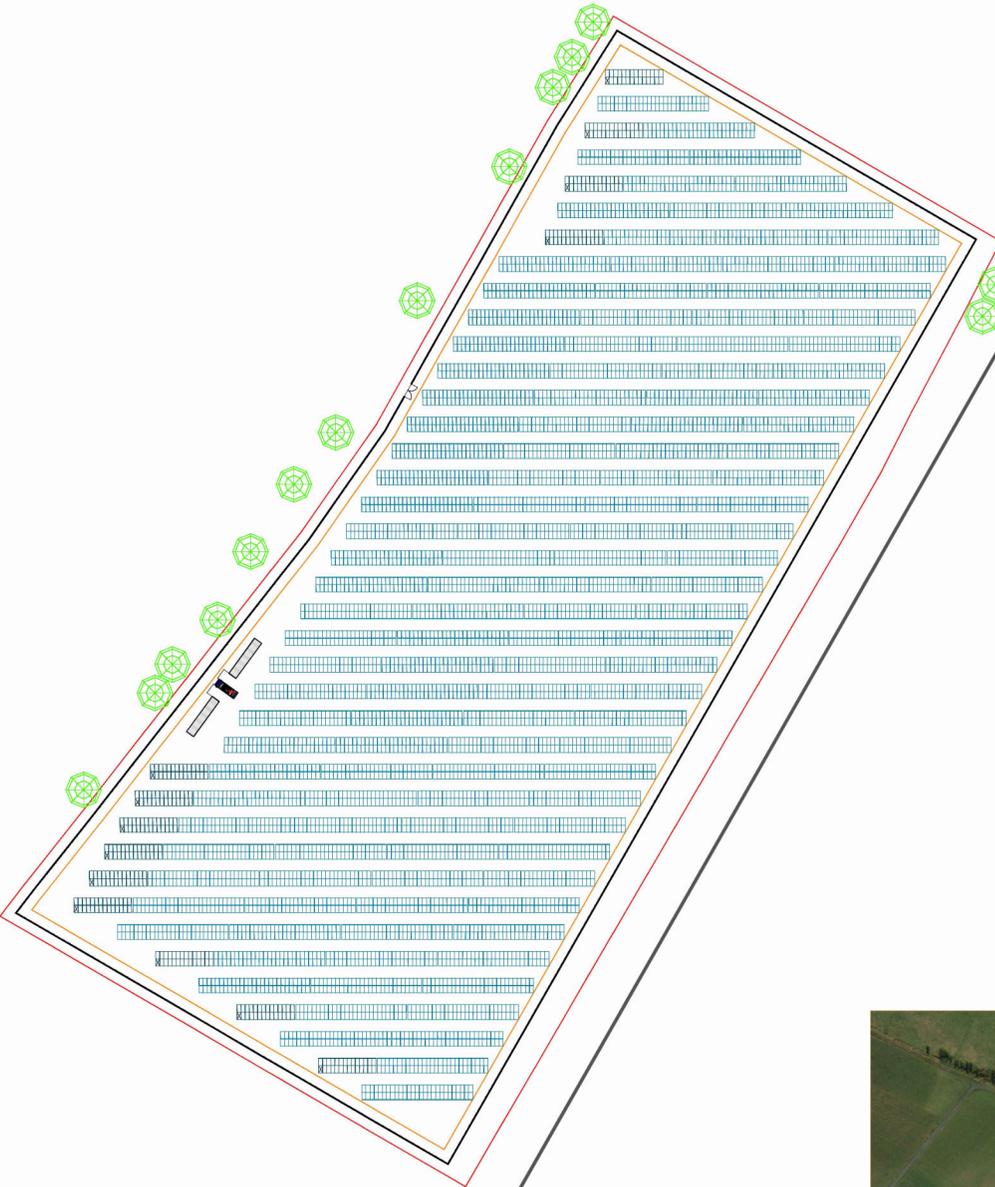
Die hier dargestellten Untersuchungen, Sachverhalte und Einschätzungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen und anhand von vorgelegten Informationen, eigenen Untersuchungen und weiterführenden Recherchen angefertigt. Eine Haftung für etwaige Schäden, die aus diesen Ausführungen bzw. weiterer Maßnahmen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

Hamburg, den 23.07.2021


Dieko Jacobi / SolPEG GmbH



GENERAL	
Country	Germany
Address	Wellerweist Lommersum
Coordinates	50°43'26.18"N, 6°49'17.56"E
Altitude	128m
Fence Area (ha)	3,07
Fence Length (m)	853,05
AREA LAYOUT	
Number of Rack Type [2V27]	128
Number of Rack Type [2V14]	13
Modules per Table	54 27
Number of tables	141
Azimuth	0,7°
Tilt	25°
Pitch	7,5 m
Row to row distance	3,351 m
Power per table	29,43 kWp
TOTAL DC POWER IN LAYOUT	3.958,335 kWp
PV MODULES	
Number of Modules	7.263
Module Power	545 Wp
Module Dimensions	2,279x1,134mm
Modules per string	27
Total number of strings	269
INVERTERS	
Number inverter	14 (each 225 kVA)
Inverter	250 kVA (@ 30°C)
TOTAL AC POWER	3.500 MVA (@ 30°C)
PLANT EQUIPMENT	
NOMINAL OUTPUT AC POWER	



LEGEND / LEGENDE

- Parcel limits
- PV Area
- Fence
- Roadway
- PV Modules (full frame)
- PV Modules (half frame)
- Battery
- Trees / Vegetation
- Gate
- Transformer station

Revision	Author	Date	Version

DE_WSL_Wellerweist - Lommersum
ABO WIND
 Solar Energy
 Ullrichstr. 7
 65536 Wiesbaden
 Tel: +49 (0)611 20 761 - 100
 Fax: +49 (0)611 20 761 - 2
 www.abowind.de

Project Name: PV Plant Wellerweist Lommersum
 File Name: ETR5891UTH-32
 Project No.: DE9362
 Design No.: BES_GSD_DWG6997
 Design: KHY
 Checked: BES_GSD_DWG6997
 Approved: MHP
 Date: 24-06-2021
 Scale: 01:100
 Sheet: 01
 Total: 05
 Status: Final
 Drawn: AT
 T: 750

General plant layout

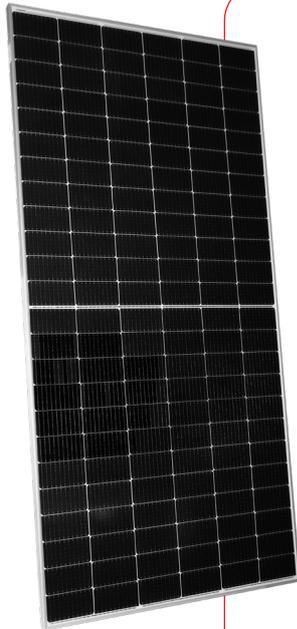
This document must not be copied, changed or used by third party without ABO WIND written permission

Ultra V

144 HALF-CELL BIFACIAL MODULE

530-550W

STPXXXS - C72/Pmh+



Features



High module conversion efficiency

Module efficiency up to 21.3 % achieved through advanced cell technology and manufacturing process



Suntech current sorting process

Up to 2 % power loss caused by current mismatch could be diminished by current sorting technique to maximize system power output



Excellent weak light performance

More power output in weak light condition, such as cloudy, morning and sunset



Lower operating temperature

Lower operating temperature and temperature coefficient increases the power output



Extended wind and snow load tests

Module certified to withstand extreme wind (2400 Pascal) and snow loads (5400 Pascal) *



Withstanding harsh environment

Reliable quality leads to a better sustainability even in harsh environment like desert, farm and coastline

Certifications and standards:
IEC 61215, IEC 61730, conformity to CE



Trust Suntech to Deliver Reliable Performance Over Time

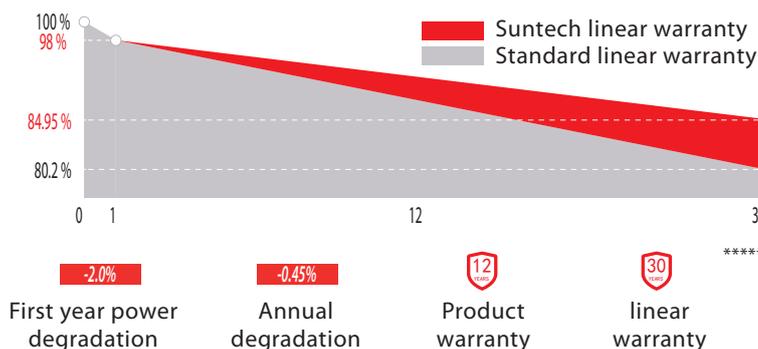
- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Rigorous quality control meeting the highest international standards: ISO 9001, ISO 14001 and ISO17025
- Regular independently checked production process from international accredited institute/company
- Tested for harsh environments (IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2-68) ****
- Long-term reliability tests
- 2 x 100% EL inspection ensuring defect-free modules

Half-Cell +Bifacial



MBB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase. Half-cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency.

Industry-leading Warranty based on nominal power



IP68 Rated Junction Box



The Suntech IP68 rated junction box ensures an outstanding waterproof level, supports installations in all orientations and reduces stress on the cables.

* Please refer to Suntech Standard Module Installation Manual for details. ** Suntech reserves the right to the final interpretation of the warranty by Munich Re.
 *** WEEE only for EU market. **** Please refer to Suntech Product Near-coast Installation Guide for details.
 ***** Please refer to Suntech Limited Warranty for details.

Electrical Characteristics



STC	STPXXXS-C72/Pmh+				
Maximum Power at STC (Pmax)	550W	545W	540W	535W	530W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	42.05V	41.87V	41.75V	41.57V	41.39V
Optimum Operating Current (Imp)	13.08A	13.02A	12.94A	12.87A	12.81A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.88V	49.69V	49.54V	49.39V	49.24V
Short Circuit Current (Isc)	14.01A	13.96A	13.89A	13.83A	13.76A
Module Efficiency	21.3%	21.1%	20.9%	20.7%	20.5%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C				
Maximum System Voltage	1500 V DC (IEC)				
Maximum Series Fuse Rating	25 A				
Power Tolerance	0/+5 W				

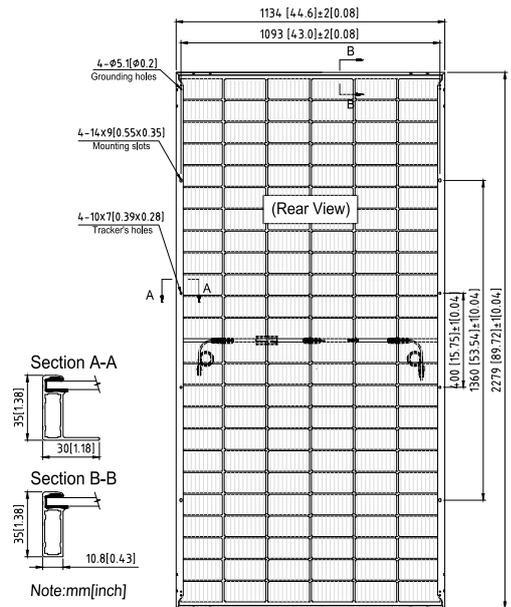
STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5;

Tolerance of Pmax is within +/- 3%;

For tracker installation, please turn to Suntech for mechanical load information.

NMOT	STPXXXS-C72/Pmh+				
Maximum Power at NMOT (Pmax)	415.0W	411.5W	408.0W	404.3W	400.6W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	38.9V	38.7V	38.6V	38.4V	38.2V
Optimum Operating Current (Imp)	10.67A	10.63A	10.58A	10.53A	10.47A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.9V	46.7V	46.5V	46.4V	46.3V
Short Circuit Current (Isc)	11.22A	11.18A	11.13A	11.08A	11.02A

NMOT: Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s.



Note:mm[inch]

Electrical Characteristics with Different Rearside Power Gain (Reference to 540 W Front)

Rearside Power Gain	5%	15%	25%
Maximum Power at STC (Pmax)	567W	621W	675W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	41.8V	41.8V	41.9V
Optimum Operating Current (Imp)	13.59A	14.88A	16.18A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.5V	49.5V	49.6V
Short Circuit Current (Isc)	14.48A	15.86A	17.24A
Module Efficiency	21.9%	24.0%	26.1%

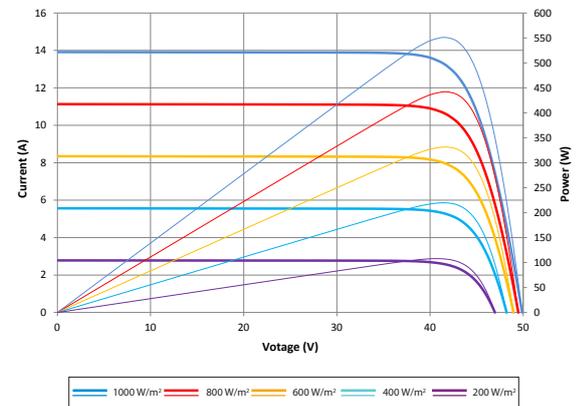
Temperature Characteristics

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	42 ± 2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.36%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.304%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.050%/°C

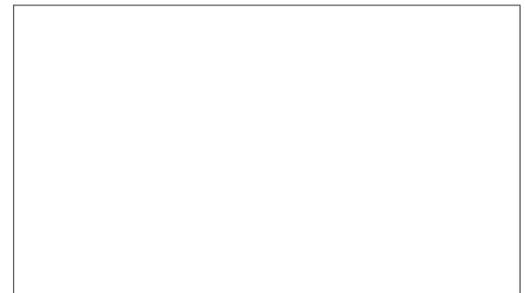
Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon 182 mm
No. of Cells	144 (6 × 24)
Dimensions	2279 × 1134 × 35 mm (89.7 × 44.6 × 1.4 inches)
Weight	32.8 kgs (72.3 lbs.)
Front and Back Glass	2.0+2.0 mm (0.079+ 0.079inches) semi-tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68 rated (3 bypass diodes)
Output Cables	4.0 mm ² , (-) 350 mm and (+) 160 mm in length or customized length
Connectors	MC4 EVO2, Cable 01S
Refer. Bifaciality Factor	(70 ± 5) %

Current-Voltage & Power-Voltage Curve (550S)



Dealer information



Packing Configuration

Container	40' HC
Pieces per pallet	31
Pallets per container	20
Pieces per container	620
Packaging box dimensions	2310×1130×1245 mm
Packaging box weight	1080 kg

Information on how to install and operate this product is available in the installation instruction. All values indicated in this data sheet are subject to change without prior announcement. The specifications may vary slightly. All specifications are in accordance with standard EN 50380. Color differences of the modules relative to the figures as well as discolorations of/in the modules which do not impair their proper functioning are possible and do not constitute a deviation from the specification.

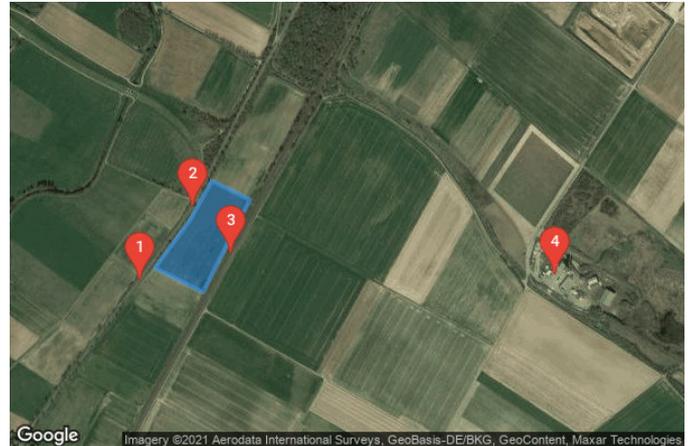
PV Projekt

Weilerswist

Site description:

Created July 20, 2021
Updated July 20, 2021
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC+1
Site ID 56478.1215

Project type V1
Project status: active



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

Analysis Methodologies:

- Observation point: **Version 1**
- 2-Mile Flight Path: **Version 1**
- Route: **Version 1**

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	25.0	180.7	284	10,896	-

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 35,196 m²

Name: PV Feld
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 25.0 deg
Orientation: 180.7 deg
Footprint area: 35,196 m²
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	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total elevation
	deg	deg	m	m	m
1	50.723394	6.822024	135.71	2.00	137.71
2	50.724596	6.823397	133.54	2.00	135.54
3	50.725513	6.824196	130.77	2.00	132.77
4	50.725055	6.825650	133.28	2.00	135.28
5	50.722807	6.823858	136.89	2.00	138.89

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total Elevation
	deg	deg	m	m	m
OP 1	50.723098	6.821450	134.76	2.00	136.76
OP 2	50.724870	6.823478	133.68	2.00	135.68
OP 3	50.723750	6.824937	134.92	2.50	137.42
OP 4	50.723222	6.837288	132.06	2.00	134.06

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	25.0	180.7	284	10,896	-	

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	0	0	0	0	0	0	0	0	0
pv-feld (yellow)	0	0	251	1280	2036	2031	2072	1709	548	0	0	0

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

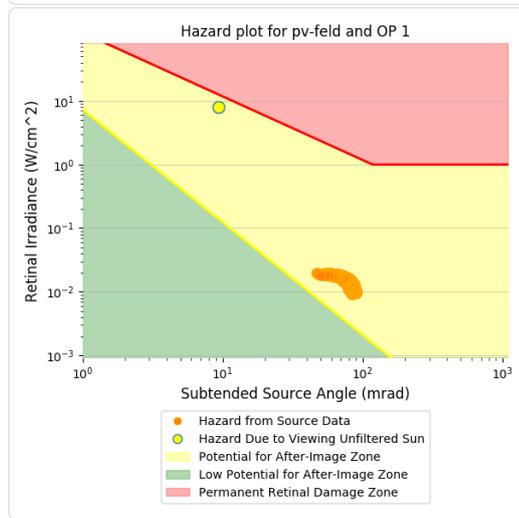
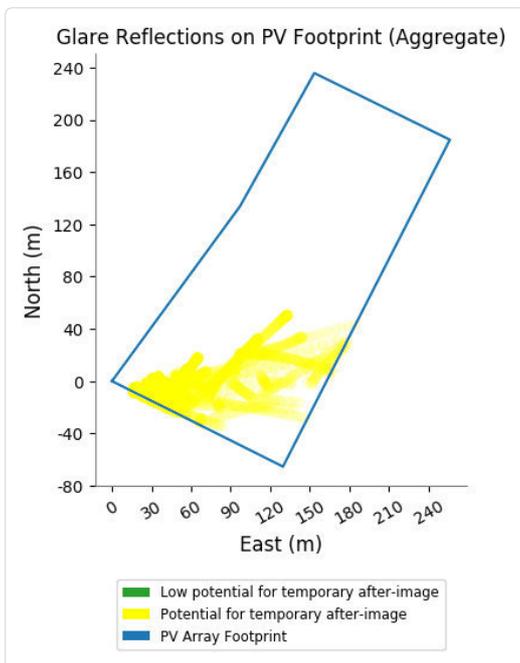
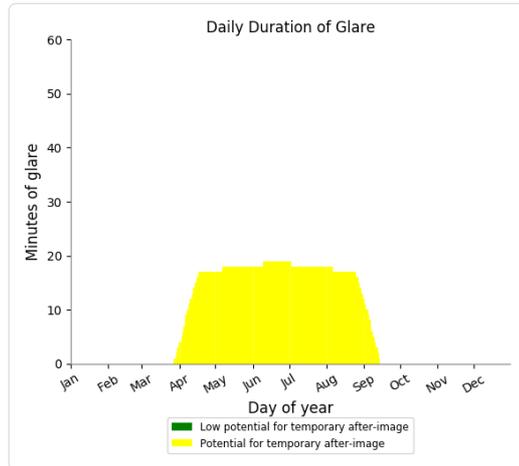
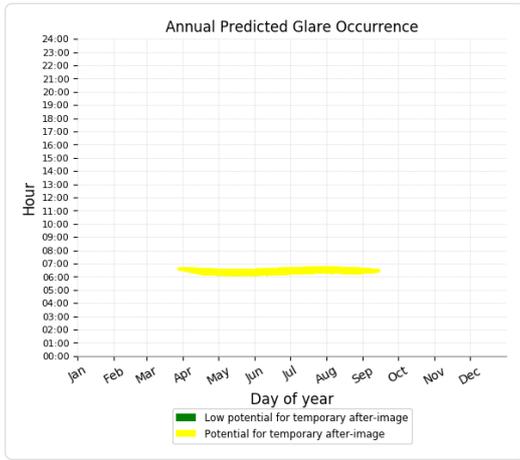
PV Feld potential temporary after-image

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)
OP: OP 1	0	2688
OP: OP 2	0	3259
OP: OP 3	0	4416
OP: OP 4	284	533

PV Feld - OP Receptor (OP 1)

PV array is expected to produce the following glare for receptors at this location:

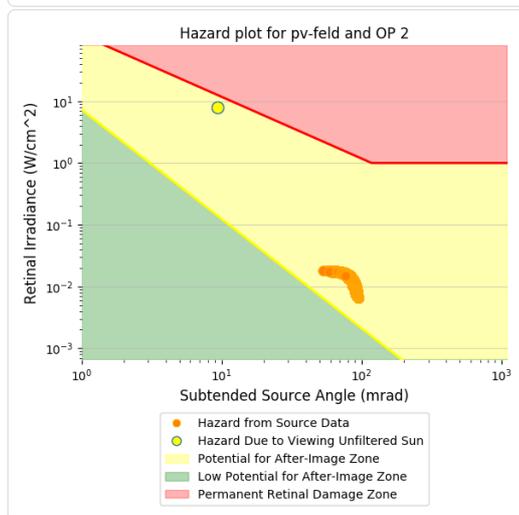
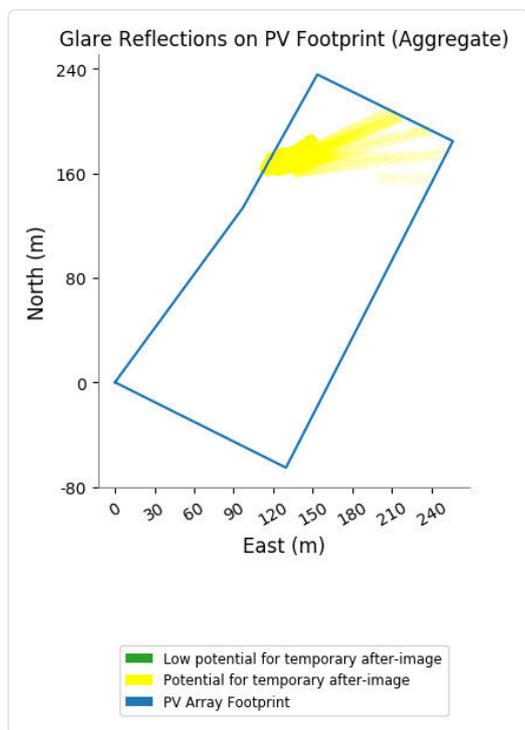
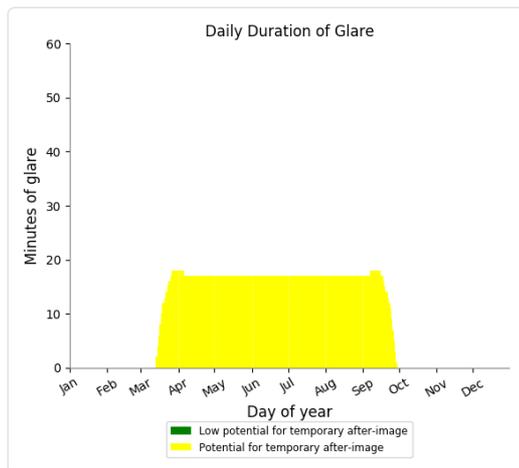
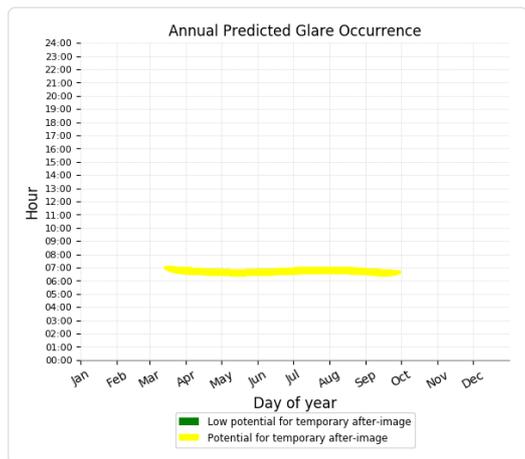
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 2,688 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 2)

PV array is expected to produce the following glare for receptors at this location:

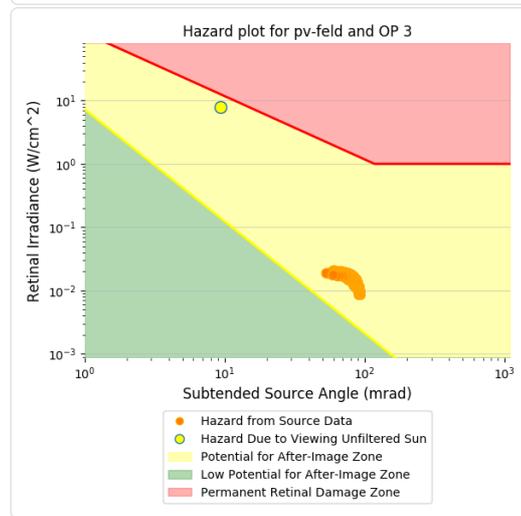
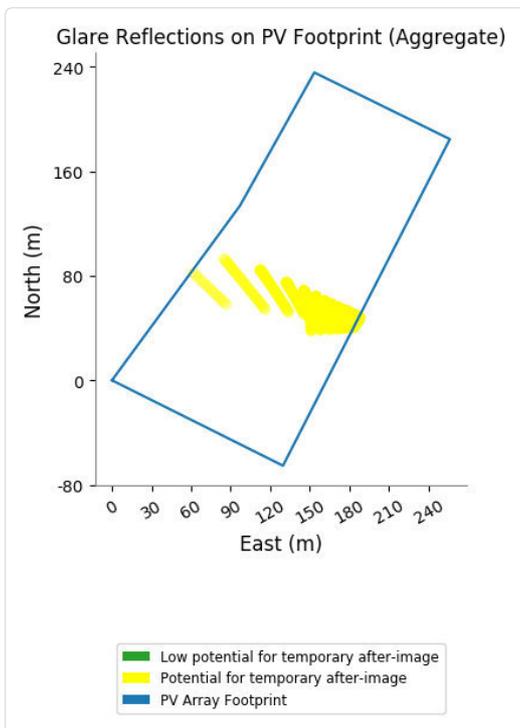
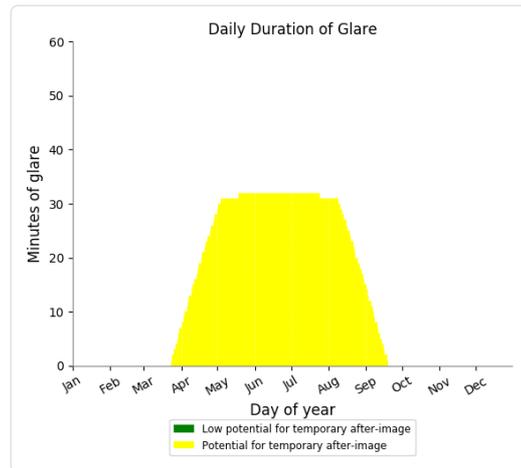
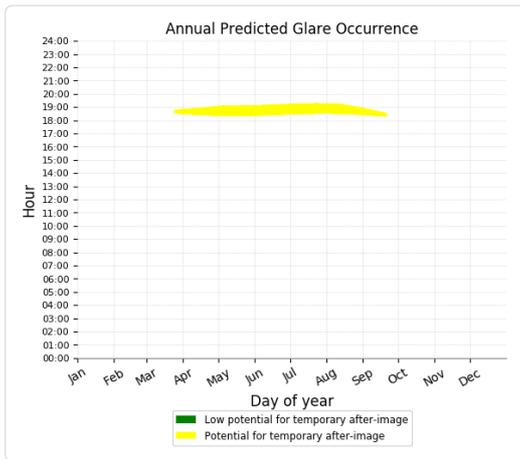
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 3,259 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 3)

PV array is expected to produce the following glare for receptors at this location:

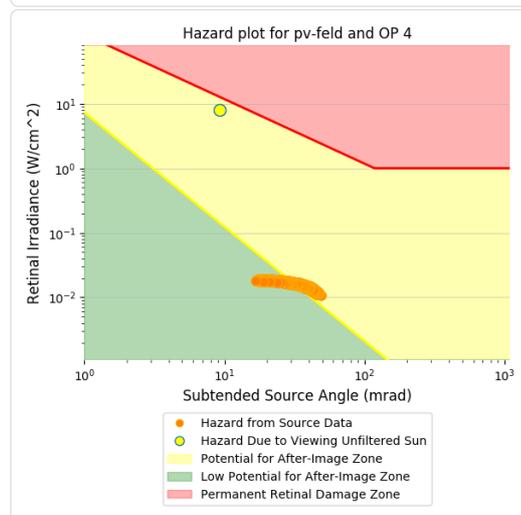
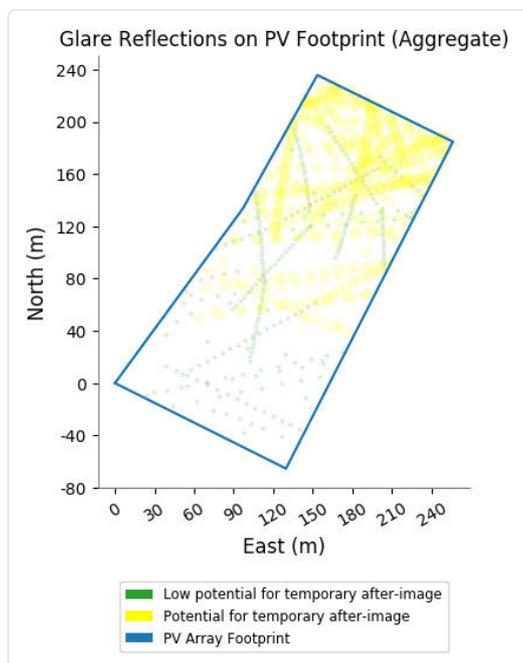
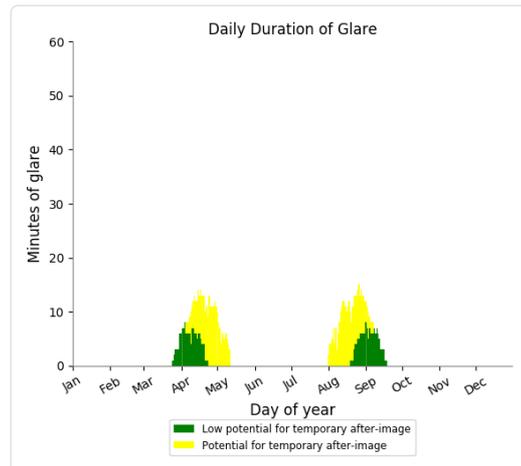
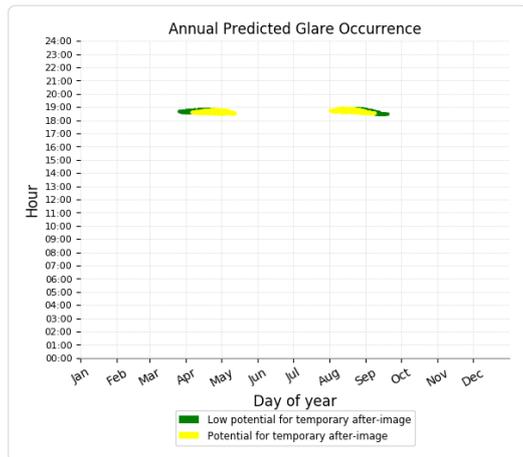
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 4,416 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 4)

PV array is expected to produce the following glare for receptors at this location:

- 284 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 533 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 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.
- Glare vector plots are simplified representations of analysis data. Actual glare emanations and results may differ.
- Refer to the **Help page** for detailed assumptions and limitations not listed here.

	Corneal Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irrad.	Subtended Glare Angle	Sun Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	L	Tag	Anzahl		Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 1
																			Minuten	Minuten									
2021-03-28 06:38:00	0,01326	564,1924	2	0,575747	0,018424	0,04803	88,3	1,7	0,999	0,03	0,03	-0,999	-0,038	-0,013			25. Apr.	1	06:31	06:31		28.04.2021	15.08.2021	19	1884	06:12	06:40		
2021-03-29 06:38:00	0,013835	569,1893	2	0,565307	0,01825	0,052462	88	2	0,999	0,035	0,035	-0,999	-0,045	-0,013			26. Apr.	2	06:30	06:31									
2021-03-30 06:36:00	0,014569	569,7369	2	0,568354	0,018366	0,056242	87,6	2,2	0,998	0,042	0,038	-0,999	-0,052	-0,017			27. Apr.	4	06:28	06:31									
2021-03-30 06:37:00	0,014244	571,9264	2	0,555079	0,018006	0,056012	87,8	2,3	0,998	0,039	0,041	-0,999	-0,052	-0,013			28. Apr.	6	06:26	06:31									
2021-03-31 06:35:00	0,014968	572,4543	2	0,571433	0,018554	0,057621	87,1	2,3	0,998	0,05	0,041	-0,998	-0,059	-0,022			29. Apr.	7	06:24	06:30									
2021-03-31 06:36:00	0,015580	574,6272	2	0,558093	0,018189	0,059718	87,3	2,5	0,998	0,047	0,043	-0,998	-0,059	-0,017			30. Apr.	9	06:22	06:30									
2021-03-31 06:37:00	0,014626	576,796	2	0,545062	0,017832	0,058973	87,5	2,6	0,998	0,043	0,046	-0,998	-0,059	-0,013			1. Mai.	10	06:21	06:30									
2021-04-01 06:34:00	0,014685	575,1348	2	0,574546	0,018742	0,05522	86,7	2,5	0,997	0,058	0,043	-0,997	-0,066	-0,026			2. Mai.	12	06:19	06:30									
2021-04-01 06:35:00	0,015489	577,2912	2	0,56114	0,018373	0,061176	86,9	2,6	0,997	0,054	0,046	-0,998	-0,066	-0,022			3. Mai.	13	06:18	06:30									
2021-04-01 06:36:00	0,015442	579,4437	2	0,548045	0,018011	0,062518	87,1	2,8	0,998	0,051	0,049	-0,998	-0,066	-0,017			4. Mai.	15	06:16	06:30									
2021-04-01 06:37:00	0,014944	581,5921	2	0,535255	0,017656	0,061494	87,3	3	0,998	0,048	0,051	-0,998	-0,066	-0,013			5. Mai.	16	06:15	06:30									
2021-04-02 06:33:00	0,015165	577,7783	2	0,564222	0,01849	0,058968	86,4	2,8	0,997	0,062	0,049	-0,997	-0,073	-0,026			6. Mai.	17	06:14	06:30									
2021-04-02 06:34:00	0,015831	579,9185	2	0,551064	0,018126	0,06398	86,6	2,9	0,997	0,059	0,051	-0,997	-0,073	-0,021			7. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-02 06:35:00	0,015695	582,0548	2	0,53821	0,017768	0,064865	86,8	3,1	0,997	0,055	0,054	-0,997	-0,073	-0,017			8. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-02 06:36:00	0,015156	584,187	2	0,525655	0,017417	0,063691	87	3,3	0,997	0,052	0,057	-0,997	-0,073	-0,013			9. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-03 06:32:00	0,014469	580,3846	2	0,567342	0,018676	0,054283	86	2,9	0,996	0,07	0,051	-0,996	-0,08	-0,03			10. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-03 06:33:00	0,015569	582,5088	2	0,55412	0,018307	0,061872	86,2	3,1	0,996	0,067	0,054	-0,996	-0,08	-0,026			11. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-03 06:34:00	0,016144	584,6291	2	0,541203	0,017946	0,066281	86,4	3,2	0,996	0,063	0,057	-0,997	-0,08	-0,021			12. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-03 06:35:00	0,015945	586,7454	2	0,528586	0,017591	0,066866	86,6	3,4	0,996	0,06	0,059	-0,997	-0,08	-0,017			13. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-03 06:36:00	0,01538	588,8576	2	0,51626	0,017243	0,065622	86,8	3,6	0,996	0,056	0,062	-0,997	-0,08	-0,013			14. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:31:00	0,015122	582,9536	2	0,570501	0,018863	0,057637	85,5	3,1	0,996	0,078	0,054	-0,996	-0,087	-0,034			15. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:32:00	0,014898	585,062	2	0,557214	0,01849	0,057521	85,7	3,2	0,996	0,074	0,056	-0,996	-0,087	-0,03			16. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:33:00	0,01588	587,1665	2	0,544235	0,018125	0,064224	85,9	3,4	0,996	0,071	0,059	-0,996	-0,087	-0,026			17. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:34:00	0,01639	589,267	2	0,531556	0,017766	0,068218	86,1	3,6	0,996	0,068	0,062	-0,996	-0,087	-0,021			18. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:35:00	0,016148	591,3636	2	0,51917	0,017413	0,068613	86,3	3,7	0,996	0,064	0,065	-0,996	-0,086	-0,017			19. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-04 06:36:00	0,014962	593,4561	2	0,50707	0,017068	0,064265	86,5	3,9	0,996	0,061	0,067	-0,996	-0,086	-0,013			20. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-05 06:29:00	0,014201	583,3884	2	0,573701	0,018983	0,051341	85,1	3,2	0,995	0,085	0,056	-0,995	-0,094	-0,038			21. Mai.	18	06:12	06:29									
2021-04-05 06:30:00	0,01566	585,4852	2	0,56035	0,018608	0,06104	85,3	3,4	0,995	0,082	0,059	-0,995	-0,094	-0,034			22. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-05 06:31:00	0,015181	587,578	2	0,547308	0,01824	0,060152	85,5	3,5	0,995	0,079	0,062	-0,995	-0,093	-0,03			23. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-05 06:32:00	0,016064	589,6669	2	0,534566	0,017878	0,066188	85,7	3,7	0,995	0,075	0,065	-0,995	-0,093	-0,025			24. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-05 06:33:00	0,016527	591,7519	2	0,52212	0,017524	0,069891	85,9	3,9	0,995	0,072	0,067	-0,995	-0,093	-0,021			25. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-05 06:34:00	0,016255	593,8329	2	0,50996	0,017176	0,070149	86,1	4	0,995	0,068	0,07	-0,995	-0,093	-0,017			26. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-05 06:35:00	0,015089	595,91	2	0,498082	0,016835	0,065997	86,3	4,2	0,995	0,065	0,073	-0,996	-0,093	-0,012			27. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-06 06:28:00	0,014929	585,898	2	0,576943	0,019172	0,054709	84,7	3,4	0,994	0,093	0,059	-0,994	-0,1	-0,043			28. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-06 06:29:00	0,014644	587,9793	2	0,563529	0,018793	0,054766	84,9	3,5	0,994	0,09	0,062	-0,994	-0,1	-0,038			29. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-06 06:30:00	0,016036	590,0567	2	0,550423	0,018421	0,06372	85	3,7	0,994	0,086	0,064	-0,994	-0,1	-0,034			30. Mai.	18	06:13	06:30									
2021-04-06 06:31:00	0,015448	592,1302	2	0,53762	0,018056	0,062353	85,2	3,8	0,994	0,083	0,067	-0,995	-0,1	-0,03			31. Mai.	18	06:14	06:30									
2021-04-06 06:32:00	0,016251	594,1998	2	0,525112	0,017697	0,067861	85,4	4	0,994	0,079	0,07	-0,995	-0,1	-0,025			1. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-06 06:33:00	0,01668	596,2655	2	0,512893	0,017346	0,071352	85,6	4,2	0,994	0,076	0,073	-0,995	-0,1	-0,021			2. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-06 06:34:00	0,016385	598,3273	2	0,500956	0,017	0,071521	85,8	4,3	0,995	0,073	0,075	-0,995	-0,1	-0,017			3. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-06 06:35:00	0,015242	600,3851	2	0,489294	0,016662	0,06757	86	4,5	0,995	0,069	0,078	-0,995	-0,1	-0,012			4. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-06 06:36:00	0,016133	602,4389	2	0,477902	0,01633	0,073359	86,2	4,6	0,995	0,066	0,081	-0,995	-0,1	-0,008			5. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-07 06:28:00	0,015495	590,4358	2	0,566752	0,01898	0,058592	84,4	3,7	0,993	0,097	0,064	-0,993	-0,107	-0,043			6. Jun.	18	06:14	06:31									
2021-04-07 06:29:00	0,014969	592,498	2	0,553583	0,018603	0,057408	84,6	3,8	0,993	0,094	0,067	-0,994	-0,107	-0,038			7. Jun.	18	06:15	06:32									
2021-04-07 06:30:00	0,01633	594,5564	2	0,540718	0,018234	0,065936	84,8	4	0,993	0,09	0,07	-0,994	-0,107	-0,034			8. Jun.	18	06:15	06:32									
2021-04-07 06:31:00	0,015662	596,6108	2	0,528149	0,017872	0,064243	85	4,1	0,994	0,087	0,072	-0,994	-0,107	-0,03			9. Jun.	18	06:15	06:32									
2021-04-07 06:32:00	0,01683	598,6614	2	0,51587	0,017516	0,071286	85,2	4,3	0,994	0,084	0,075	-0,994	-0,107	-0,025			10. Jun.	19	06:14	06:32									

	Corneal Irradiance		DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	L	Tag	Anzahl Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 2
	1	2																											
2021-03-14 06:59:00	0,015748	541,199	2	0,498249	0,015294	0,07638	95,1	0	0,996	-0,089	0,001	-0,996	0,061	0,06	15. Apr.	1	06:50	06:50	18.04.2021	25.08.2021	17	2120	06:30	06:57					
2021-03-14 07:00:00	0,015732	543,6412	2	0,48663	0,015005	0,077677	95,3	0,2	0,996	-0,093	0,003	-0,996	0,061	0,064	16. Apr.	2	06:49	06:50											
2021-03-15 06:57:00	0,015788	541,8741	2	0,512833	0,015761	0,074372	94,5	0	0,997	-0,078	0,001	-0,997	0,054	0,051	17. Apr.	4	06:47	06:50											
2021-03-15 06:58:00	0,015844	544,3009	2	0,500864	0,015463	0,076024	94,7	0,2	0,997	-0,082	0,003	-0,997	0,054	0,055	18. Apr.	6	06:45	06:50											
2021-03-15 06:59:00	0,015843	546,7231	2	0,489177	0,015169	0,077405	94,9	0,3	0,996	-0,085	0,006	-0,997	0,054	0,06	19. Apr.	8	06:42	06:49											
2021-03-15 07:00:00	0,0158	549,1408	2	0,477764	0,014881	0,07858	95,1	0,5	0,996	-0,088	0,009	-0,996	0,054	0,064	20. Apr.	9	06:41	06:49											
2021-03-16 06:55:00	0,015806	542,5539	2	0,527855	0,016243	0,072233	93,9	0	0,998	-0,067	0	-0,998	0,047	0,042	21. Apr.	11	06:39	06:49											
2021-03-16 06:56:00	0,015796	544,9656	2	0,515528	0,015935	0,073607	94,0	0,2	0,998	-0,071	0,003	-0,998	0,047	0,047	22. Apr.	13	06:37	06:49											
2021-03-16 06:57:00	0,015922	547,3727	2	0,50349	0,015631	0,075596	94,2	0,3	0,997	-0,074	0,006	-0,998	0,047	0,051	23. Apr.	14	06:36	06:49											
2021-03-16 06:58:00	0,015943	549,7753	2	0,491735	0,015333	0,077081	94,4	0,5	0,997	-0,077	0,009	-0,997	0,047	0,055	24. Apr.	16	06:33	06:48											
2021-03-16 06:59:00	0,015914	552,1734	2	0,480256	0,015041	0,078332	94,6	0,7	0,997	-0,081	0,011	-0,997	0,047	0,06	25. Apr.	17	06:32	06:48											
2021-03-16 07:00:00	0,015848	554,5668	2	0,469046	0,014753	0,079405	94,8	0,8	0,996	-0,084	0,014	-0,997	0,047	0,064	26. Apr.	17	06:32	06:48											
2021-03-17 06:52:00	0,015601	540,8366	2	0,543326	0,016667	0,069321	93,2	0	0,998	-0,056	0	-0,999	0,04	0,034	27. Apr.	17	06:32	06:48											
2021-03-17 06:53:00	0,015811	543,2376	2	0,530632	0,01635	0,071772	93,4	0,2	0,998	-0,059	0,003	-0,998	0,04	0,038	28. Apr.	17	06:32	06:48											
2021-03-17 06:54:00	0,015927	545,6342	2	0,518235	0,016038	0,073738	93,6	0,3	0,998	-0,063	0,006	-0,998	0,04	0,043	29. Apr.	17	06:31	06:47											
2021-03-17 06:55:00	0,015866	548,0263	2	0,506128	0,015732	0,074787	93,8	0,5	0,998	-0,066	0,009	-0,998	0,04	0,047	30. Apr.	17	06:31	06:47											
2021-03-17 06:56:00	0,015957	550,414	2	0,494306	0,015431	0,076687	94	0,7	0,998	-0,069	0,011	-0,998	0,04	0,051	1. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-17 06:57:00	0,015095	552,7971	2	0,482761	0,015136	0,078038	94,2	0,8	0,997	-0,073	0,014	-0,998	0,04	0,056	2. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-17 06:58:00	0,015897	555,1758	2	0,471487	0,014846	0,079178	94,4	1	0,997	-0,076	0,017	-0,997	0,04	0,06	3. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-17 06:59:00	0,015811	557,5499	2	0,460478	0,014562	0,080162	94,6	1,1	0,997	-0,08	0,02	-0,997	0,04	0,064	4. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-18 06:50:00	0,015192	541,538	2	0,55926	0,017178	0,064959	92,6	0	0,999	-0,045	0	-0,999	0,033	0,025	5. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-18 06:51:00	0,015623	543,9241	2	0,546187	0,016885	0,068596	92,8	0,2	0,999	-0,048	0,003	-0,999	0,033	0,03	6. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-18 06:52:00	0,015869	546,3058	2	0,533421	0,016528	0,071234	93	0,3	0,999	-0,052	0,006	-0,999	0,033	0,034	7. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-18 06:53:00	0,016013	548,6831	2	0,520954	0,016212	0,073339	93,2	0,5	0,998	-0,055	0,009	-0,999	0,033	0,038	8. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:54:00	0,016077	551,056	2	0,508779	0,015902	0,07505	93,3	0,6	0,998	-0,058	0,011	-0,999	0,033	0,043	9. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:55:00	0,015975	553,4244	2	0,49689	0,015597	0,075994	93,5	0,8	0,998	-0,062	0,014	-0,998	0,033	0,047	10. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:56:00	0,016037	555,7884	2	0,48528	0,015298	0,077767	93,7	1	0,998	-0,065	0,017	-0,998	0,033	0,051	11. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:57:00	0,016004	558,1478	2	0,473942	0,015004	0,078906	93,9	1,1	0,997	-0,068	0,02	-0,998	0,033	0,056	12. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:58:00	0,01593	560,5028	2	0,46287	0,014715	0,079953	94,1	1,3	0,997	-0,072	0,022	-0,998	0,033	0,06	13. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-18 06:59:00	0,015826	562,8532	2	0,452058	0,014431	0,08086	94,3	1,4	0,997	-0,075	0,025	-0,997	0,033	0,064	14. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:48:00	0,014677	542,2411	2	0,575667	0,017705	0,059829	91,9	0	0,999	-0,034	0	-1	0,026	0,017	15. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:49:00	0,014361	544,6125	2	0,562206	0,017366	0,059631	92,1	0,2	0,999	-0,037	0,003	-0,999	0,026	0,021	16. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:50:00	0,015572	546,9795	2	0,549061	0,017034	0,067518	92,3	0,3	0,999	-0,04	0,006	-0,999	0,026	0,025	17. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:51:00	0,015907	549,3421	2	0,536223	0,016707	0,070603	92,5	0,5	0,999	-0,044	0,008	-0,999	0,026	0,03	18. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:52:00	0,016083	551,7004	2	0,523687	0,016387	0,072869	92,7	0,6	0,999	-0,047	0,011	-0,999	0,026	0,034	19. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:53:00	0,016172	554,0542	2	0,511445	0,016072	0,074705	92,9	0,8	0,999	-0,051	0,014	-0,999	0,026	0,038	20. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:54:00	0,016194	556,4036	2	0,499489	0,015763	0,076216	93,1	1	0,998	-0,054	0,017	-0,999	0,026	0,043	21. Mai.	17	06:30	06:46											
2021-03-19 06:55:00	0,016056	558,7486	2	0,487814	0,015459	0,077001	93,3	1,1	0,998	-0,057	0,02	-0,999	0,026	0,047	22. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-19 06:56:00	0,016094	561,0891	2	0,476412	0,015161	0,078562	93,5	1,3	0,998	-0,061	0,022	-0,998	0,026	0,051	23. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-19 06:57:00	0,016039	563,4252	2	0,465278	0,014869	0,0797	93,7	1,4	0,998	-0,064	0,025	-0,998	0,026	0,056	24. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-19 06:58:00	0,015946	565,7567	2	0,454406	0,014581	0,080667	93,9	1,6	0,997	-0,067	0,028	-0,998	0,026	0,06	25. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-19 06:59:00	0,015827	568,0838	2	0,443788	0,014299	0,081507	94,1	1,8	0,997	-0,071	0,031	-0,998	0,026	0,064	26. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:47:00	0,015214	545,3017	2	0,565167	0,01748	0,063709	91,7	0,3	1	-0,029	0,006	-1	0,019	0,017	27. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:48:00	0,014493	547,6542	2	0,551949	0,017145	0,061393	91,9	0,5	0,999	-0,033	0,008	-1	0,019	0,021	28. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:49:00	0,0158	550,0023	2	0,539041	0,016815	0,069609	92,1	0,6	0,999	-0,036	0,011	-0,999	0,019	0,025	29. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:50:00	0,016046	552,3461	2	0,526436	0,016492	0,072306	92,3	0,8	0,999	-0,039	0,014	-0,999	0,019	0,03	30. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:51:00	0,016183	554,6855	2	0,514126	0,016175	0,074285	92,4	1	0,999	-0,043	0,017	-0,999	0,019	0,034	31. Mai.	17	06:31	06:47											
2021-03-20 06:52:00	0,016228	557,0206	2	0,502104	0,015863	0,075909	92,6	1,1	0,999	-0,046	0,019	-0,999	0,019	0,038	1. Jun.	17	06:32	06:48											
2021-03-20 06:53:00	0,016216	559,3512	2	0,490364	0,015557	0,077																							

	Corneal Irradiance		Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	L	Tag	Anzahl		Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 3
	(W/m²)	(W/m²)																	Minuten pro Tag	Minuten				
2021-03-24 18:40:00	0,014879	546,4054	2	0,568673	0,017624	0,061294	270,5	0,6	-1	0,009	0,011	1	-0,018	0,01			25. Apr.	1	18:31	18:31				
2021-03-25 18:40:00	0,015326	550,2302	2	0,558309	0,017424	0,064532	270,8	0,9	-1	0,013	0,016	1	-0,025	0,01			26. Apr.	2	18:31	18:32				
2021-03-25 18:41:00	0,014866	547,9405	2	0,571168	0,017767	0,060577	271	0,8	-1	0,017	0,014	1	-0,026	0,005			27. Apr.	4	18:31	18:34				
2021-03-26 18:40:00	0,015659	553,9988	2	0,548145	0,017224	0,067097	271	1,2	-1	0,018	0,022	0,999	-0,033	0,01			28. Apr.	6	18:31	18:36				
2021-03-26 18:41:00	0,015358	551,7283	2	0,561271	0,017564	0,064067	271,2	1,1	-1	0,021	0,019	0,999	-0,033	0,005			29. Apr.	7	18:30	18:36				
2021-03-26 18:42:00	0,014812	549,4537	2	0,574711	0,01791	0,059635	271,4	0,9	-1	0,025	0,016	0,999	-0,033	0,001			30. Apr.	9	18:30	18:38				
2021-03-27 18:39:00	0,015975	559,9604	2	0,53818	0,017093	0,069205	271,3	1,6	-0,999	0,022	0,027	0,999	-0,04	0,01			1. Mai.	10	18:30	18:39				
2021-03-27 18:40:00	0,015785	557,7131	2	0,551066	0,017432	0,066791	271,5	1,4	-0,999	0,026	0,024	0,999	-0,04	0,005			2. Mai.	12	18:30	18:41				
2021-03-27 18:41:00	0,015416	555,4616	2	0,564259	0,017777	0,06342	271,7	1,2	-0,999	0,029	0,022	0,999	-0,04	0,001			3. Mai.	13	18:30	18:42				
2021-03-28 18:39:00	0,016163	563,6034	2	0,528414	0,016892	0,07098	271,5	1,9	-0,999	0,027	0,033	0,999	-0,047	0,01			4. Mai.	15	18:30	18:44				
2021-03-28 18:40:00	0,016058	561,3749	2	0,541062	0,017228	0,069002	271,7	1,7	-0,999	0,03	0,03	0,999	-0,047	0,006			5. Mai.	16	18:30	18:45				
2021-03-28 18:41:00	0,015813	559,1422	2	0,554013	0,01757	0,066318	271,9	1,6	-0,999	0,033	0,027	0,999	-0,047	0,001			6. Mai.	18	18:30	18:47				
2021-03-28 18:42:00	0,015384	556,9055	2	0,567272	0,017918	0,062627	272,1	1,4	-0,999	0,037	0,024	0,999	-0,047	-0,003			7. Mai.	19	18:30	18:48				
2021-03-29 18:39:00	0,016301	567,1961	2	0,518844	0,016691	0,072505	271,8	2,2	-0,999	0,031	0,038	0,999	-0,054	0,01			8. Mai.	21	18:29	18:49				
2021-03-29 18:40:00	0,016263	564,986	2	0,53126	0,017024	0,070856	272	2	-0,999	0,035	0,035	0,999	-0,054	0,006			9. Mai.	22	18:29	18:50				
2021-03-29 18:41:00	0,01611	562,772	2	0,543973	0,017363	0,068652	272,2	1,9	-0,999	0,038	0,033	0,999	-0,054	0,01			10. Mai.	23	18:29	18:51				
2021-03-29 18:42:00	0,015817	560,5538	2	0,556989	0,017709	0,065724	272,4	1,7	-0,999	0,041	0,03	0,999	-0,054	-0,003			11. Mai.	25	18:29	18:53				
2021-03-29 18:43:00	0,015324	558,3316	2	0,570315	0,01806	0,061691	272,6	1,5	-0,999	0,045	0,027	0,999	-0,054	-0,007			12. Mai.	26	18:29	18:54				
2021-03-30 18:38:00	0,016464	572,9278	2	0,50947	0,016555	0,07384	272	2,5	-0,998	0,036	0,043	0,998	-0,061	0,01			13. Mai.	27	18:29	18:55				
2021-03-30 18:39:00	0,016477	570,7401	2	0,521659	0,016887	0,072434	272,2	2,3	-0,998	0,039	0,041	0,998	-0,061	0,006			14. Mai.	29	18:29	18:57				
2021-03-30 18:40:00	0,016396	568,5484	2	0,534138	0,017224	0,070589	272,4	2,2	-0,998	0,042	0,038	0,998	-0,061	0,001			15. Mai.	30	18:29	18:58				
2021-03-30 18:41:00	0,016204	566,3527	2	0,546914	0,017568	0,068198	272,6	2	-0,998	0,046	0,035	0,998	-0,061	-0,003			16. Mai.	31	18:29	18:59				
2021-03-30 18:42:00	0,015862	564,1529	2	0,559995	0,017919	0,06503	272,8	1,9	-0,998	0,049	0,032	0,998	-0,061	-0,007			17. Mai.	31	18:29	18:59				
2021-03-30 18:43:00	0,015301	561,9491	2	0,573387	0,018275	0,060624	273	1,7	-0,998	0,052	0,03	0,998	-0,061	-0,012			18. Mai.	31	18:29	18:59				
2021-03-31 18:38:00	0,016529	576,4069	2	0,500291	0,016356	0,075021	272,3	2,8	-0,998	0,04	0,049	0,998	-0,067	0,01			19. Mai.	32	18:29	19:00				
2021-03-31 18:39:00	0,016585	574,2373	2	0,512256	0,016684	0,073811	272,5	2,6	-0,998	0,043	0,046	0,998	-0,068	0,006			20. Mai.	32	18:29	19:00				
2021-03-31 18:40:00	0,01656	572,0637	2	0,524506	0,017018	0,072234	272,7	2,5	-0,998	0,047	0,043	0,998	-0,068	0,001			21. Mai.	32	18:29	19:00				
2021-03-31 18:41:00	0,016445	569,8861	2	0,537047	0,017359	0,070227	272,9	2,3	-0,998	0,05	0,041	0,998	-0,068	-0,003			22. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-03-31 18:42:00	0,016215	567,7044	2	0,549887	0,017706	0,067653	273,1	2,2	-0,998	0,053	0,038	0,998	-0,068	-0,007			23. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-03-31 18:43:00	0,015824	565,5188	2	0,563032	0,018059	0,064233	273,3	2	-0,998	0,057	0,035	0,998	-0,068	-0,012			24. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-03-31 18:44:00	0,015189	563,3292	2	0,57649	0,018419	0,059402	273,5	1,9	-0,998	0,06	0,032	0,998	-0,068	-0,016			25. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:38:00	0,016568	579,841	2	0,491305	0,016158	0,076075	272,5	3,1	-0,998	0,044	0,054	0,997	-0,074	0,01			26. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:39:00	0,016658	577,6893	2	0,503051	0,016483	0,075024	272,7	3	-0,998	0,048	0,051	0,997	-0,074	0,006			27. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:40:00	0,016679	575,5336	2	0,515076	0,016814	0,073657	272,9	2,8	-0,998	0,051	0,049	0,997	-0,075	0,002			28. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:41:00	0,016623	573,3739	2	0,527387	0,017151	0,07194	273,1	2,6	-0,997	0,054	0,046	0,997	-0,075	-0,003			29. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:42:00	0,016476	571,2101	2	0,539991	0,017495	0,069785	273,3	2,5	-0,997	0,058	0,043	0,997	-0,075	-0,007			30. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:43:00	0,016209	569,0424	2	0,552894	0,017845	0,067027	273,5	2,3	-0,997	0,061	0,04	0,997	-0,075	-0,012			31. Mai.	32	18:30	19:01				
2021-04-01 18:44:00	0,015769	566,8708	2	0,569104	0,018201	0,063342	273,7	2,2	-0,997	0,065	0,038	0,997	-0,075	-0,016			1. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:37:00	0,016643	585,3618	2	0,482511	0,01602	0,077021	272,8	3,4	-0,997	0,049	0,06	0,997	-0,081	0,01			2. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:38:00	0,016764	583,2318	2	0,494042	0,016343	0,076104	273	3,3	-0,997	0,052	0,057	0,997	-0,081	0,006			3. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:39:00	0,016822	581,0977	2	0,505846	0,016672	0,074906	273,2	3,1	-0,997	0,055	0,054	0,997	-0,081	0,002			4. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:40:00	0,016817	578,9597	2	0,517932	0,017008	0,073419	273,4	2,9	-0,997	0,059	0,051	0,997	-0,081	-0,003			5. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:41:00	0,016735	576,8176	2	0,530304	0,017349	0,071579	273,6	2,8	-0,997	0,062	0,049	0,997	-0,082	-0,007			6. Jun.	32	18:31	19:02				
2021-04-02 18:42:00	0,016557	574,6716	2	0,54297	0,017698	0,069282	273,8	2,6	-0,997	0,066	0,046	0,997	-0,082	-0,011			7. Jun.	32	18:32	19:03				
2021-04-02 18:43:00	0,016251	572,5217	2	0,555936	0,018053	0,066331	274	2,5	-0,997	0,069	0,043	0,997	-0,082	-0,016			8. Jun.	32	18:32	19:03				
2021-04-02 18:44:00	0,015752	570,3677	2	0,56921	0,018414	0,062341	274,1	2,3	-0,997	0,072	0,04	0,996	-0,082	-0,02			9. Jun.	32	18:32	19:03				
2021-04-03 18:37:00	0,016638	588,6933	2	0,473906	0,015824	0,077884	273	3,7	-0,996	0,053	0,065	0,996	-0,088	0,01			10. Jun.	32	18:32	19:03				
2021-04-03 18:38:00	0,016784	586,5807	2	0,485226	0,016143	0,077075	273,2	3,6	-0,996	0,056	0,062	0,996	-0,088	0,006			11. Jun.	32	18:32	19:03				
2021-04-03 18:39:00	0,016873	584,4641	2	0,496815	0,016469	0,076016	273,4	3,4	-0,996	0,06	0,059	0,996	-0,088	0,002			12. Jun.	32	18:33	19:04				

Potentielle Reflexionen am Messpunkt OP 3:
3004 Minuten pro Jahr (Summe gesamt)
2167 Minuten pro Jahr mit Sichtschutz durch Blattwerk (Juni-September)
837 Minuten pro Jahr ohne Sichtschutz durch Blattwerk (Oktober-Mai)
32 Minuten pro Tag (Max)

Parameter für Daten Bereinigung (Datensatz mit 4417 Einträgen):
1.: Zeitraum zwischen 06:00 - 22:00 Uhr (bzw. Sonnensuntergang)
2.: Sonnenstand über Horizont ist min. 10° (Standard: min. 10°)
3.: Dauer der Reflexion ist min. 5 Minuten pro Tag (Standard: min. 5 Minuten)

