

SolPEG Blendgutachten Solarpark Machtlfing

**Analyse der potenziellen Blendwirkung einer geplanten PV-Anlage
in der Nähe von Machtlfing in Oberbayern**

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.....	6
3	Ermittlung der potenziellen Blendwirkung	7
3.1	Rechtliche Hinweise	7
3.2	Blendwirkung von PV-Modulen	7
3.3	Berechnung der Blendwirkung.....	9
3.4	Technische Parameter der PV-Anlage.....	10
3.5	Standorte für die Analyse	11
3.6	Hinweise zum Simulationsverfahren.....	12
4	Ergebnisse	15
4.1	Ergebnisse am Messpunkt P1, St2067 westlich	16
4.2	Ergebnisse am Messpunkt P2, St2067 südwestlich.....	16
4.3	Ergebnisse am Messpunkt P3 und P4, St2067.....	19
4.4	Ergebnisse am Messpunkt P5, Gebäude westlich.....	19
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	21
6	Schlussbemerkung	21
7	Anhang	22 - 29

SolPEG Blendgutachten

Analyse der potenziellen Blendwirkung der geplanten PV-Anlage "Machtlfing"

1 Auftrag

1.1 Beauftragung

Die SolPEG GmbH verfügt über umfangreiche Erfahrung im Bereich Photovoltaik (PV) und bietet eine breite Palette von Dienstleistungen an. Mit über 800 erstellten Blendgutachten haben wir auch auf diesem Gebiet eine weitreichende Expertise. Vor diesem Hintergrund wurden wir beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der PV-Anlage „Machtlfing“ für Verkehrsteilnehmer auf angrenzenden Straßen sowie ggf. für Anwohner der 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 Machtlfing eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Lichtleitlinie ausgehen könnte. Dies gilt insbesondere für angrenzende Straßen sowie für Anwohner der umliegenden Gebäude.

Die zur Anwendung kommenden Berechnungs- und Beurteilungsgrundsätze resultieren im Wesentlichen aus den Empfehlungen in Anhang 2 der Lichtleitlinie in der aktuellen Fassung vom 08.10.2012. Die Berechnung der Blendwirkung erfolgt auf Basis von vorliegenden Planungsunterlagen der PV-Anlage. Eine Analyse der potenziellen 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 Lichtleitlinie 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 landwirtschaftlich geprägten Gebiet westlich von Machtlfing in Oberbayern, ca. 4,7 km südöstlich von Andechs. Südlich der Fläche verläuft die Traubinger Straße / St2067 von Machtlfing nach Traubing. Die folgenden Informationen und Bilder geben einen Überblick über den Standort.

Tabelle 1: Informationen über den Standort

Allgemeine Beschreibung des Standortes	Landwirtschaftliche Fläche westlich von Machtlfing in Oberbayern. Die Fläche ist leicht abfallend nach Südosten.
Koordinaten (Mitte)	47.944°N, 11.238°O, 709 m ü.N.N
Entfernung zu angrenzenden Straßen	ca. 11 m -15 m
Entfernung zu umliegenden Wohnhäusern	ca. 80 m (kleinste Entfernung)

Übersicht² über den Standort und die PV-Anlage (schematisch)

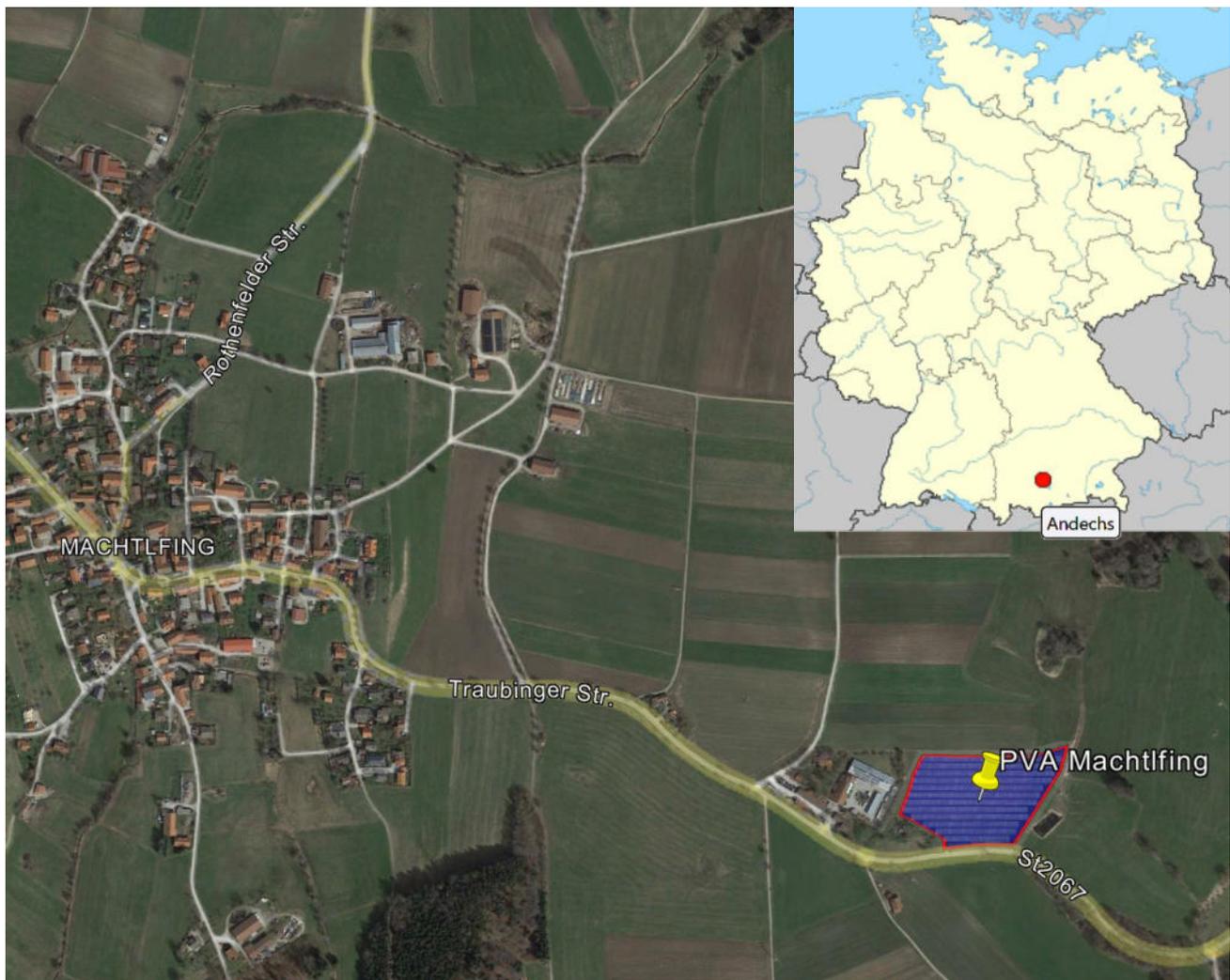


Bild 2.1.1: Luftbild der Anlage und Umgebung (Quelle: Google Earth/SolPEG)

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

Übersicht über die Fläche der PV-Anlage und die Umgebung.



Bild 2.1.2: Übersicht über die PV-Anlage und Umgebung (Google Earth/SolPEG)

Detailansicht der PV-Anlage.



Bild 2.1.3: Detail der PV-Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

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 westlich bzw. südwestlich der PV-Anlage. Aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz könnten einzelne Gebäude evt. von potenziellen Reflexionen durch die PV-Anlage erreicht werden aber aufgrund der örtlichen Gegebenheiten besteht überwiegend kein direkter Sichtkontakt zur Immissionsquelle. Die Standorte werden zu Kontrollzwecken dennoch analysiert. Andere Gebäude in der Umgebung, z.B. einzelne landwirtschaftliche Gebäude 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.

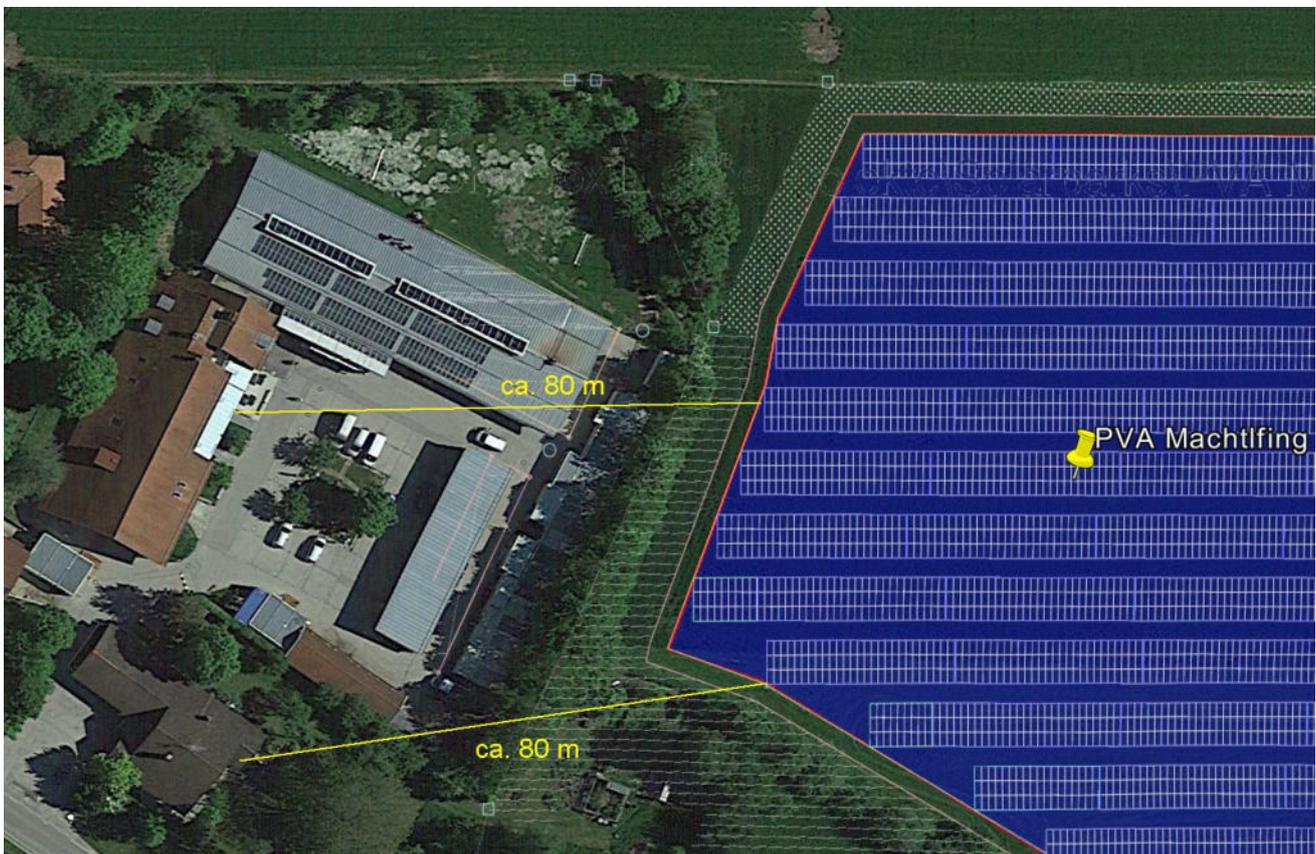


Bild 2.2.1: Gebäude im Bereich der PV-Anlage (Quelle: Google Earth / SolPEG)

3 Ermittlung der potenziellen 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 mög-
lichst 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 eines PV-Moduls:

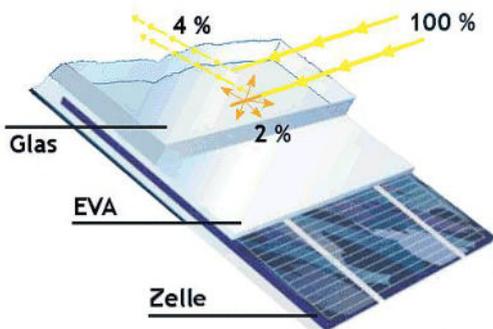


Bild 3.2.1: Anteil des reflektierten Sonnenlichtes bei einem PV-Modul (Quelle: Internet/SolPEG)

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 gestreut/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 3.5.1 dargestellt. Durch die strukturierte Oberfläche wird weniger Sonnenlicht reflektiert bzw. diffus reflektiert mit einer stärkeren Streuung. Die Leuchtdichte der Modulfläche ist entsprechend vermindert.

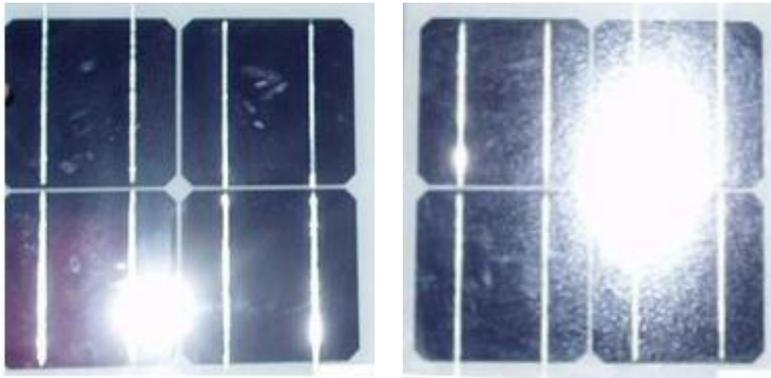


Bild 3.2.3: Diffuse Reflexion von unterschiedlichen Moduloberflächen (Quelle: Sandia National Laboratories, Ausschnitt)

Diese Eigenschaften können schematisch wie folgt dargestellt werden

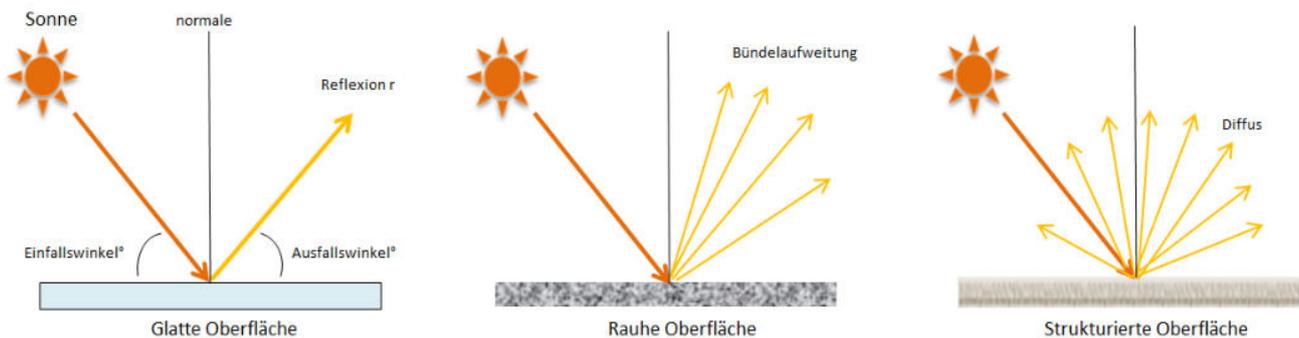


Bild 3.2.4: Reflexion von unterschiedlichen Oberflächen (Quelle: SolPEG)

Lt. Planungsunterlagen sollen PV-Module des Herstellers LONGi zum Einsatz kommen, die lt. vorliegender Stellungnahme des Herstellers über Anti-Reflexions-Eigenschaften verfügen. Die Simulationsparameter werden entsprechend eingestellt.

Es können aber auch Module eines anderen Herstellers (z.B. Trina Solar, Jinko) mit ähnlichen Eigenschaften verwendet werden. Damit kommen die nach aktuellem Stand der Technik möglichen Maßnahmen zur Vermeidung von Reflexion und Blendwirkungen zur Anwendung.

Mechanical Parameters	Operating Parameters
Cell Orientation: 144 (6x24)	Operational Temperature: -40 C ~ +85 C
Junction Box: IP68, three diodes	Power Output Tolerance: 0 ~ +5 W
Output Cable: 4mm ² , 300mm in length, length can be customized	Voc and Isc Tolerance: ±3%
Glass: Dual glass 2.0mm coated tempered glass	Maximum System Voltage: DC1500V (IEC/UL)
	Maximum Series Fuse Rating: 25A
	Nominal Operating Cell Temperature: 45±2 C

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:

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

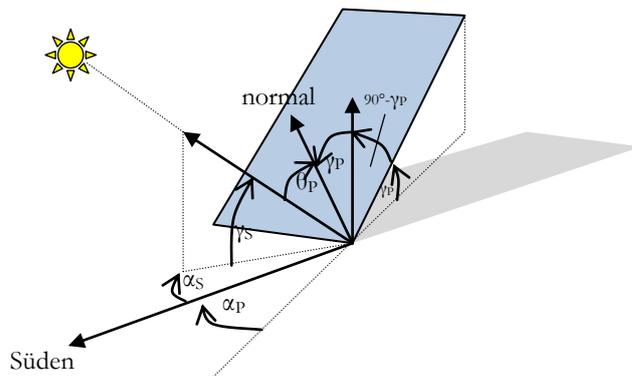


Bild 3.3.1: Schematische Darstellung der Reflexionen auf einer geneigten Fläche (Quelle: SolPEG)

Die unter 3.2 aufgeführten generellen Eigenschaften von PV-Modulen (Glasoberfläche, Antireflexionschicht) 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 einfachen Modulen. Dennoch sind Reflexionen nicht ausgeschlossen, insbesondere wenn das Sonnenlicht abends und morgens in einem flachen Winkel auf die Moduloberfläche trifft. Die folgenden Skizze verdeutlicht die Konstruktion der Modulinstallation.

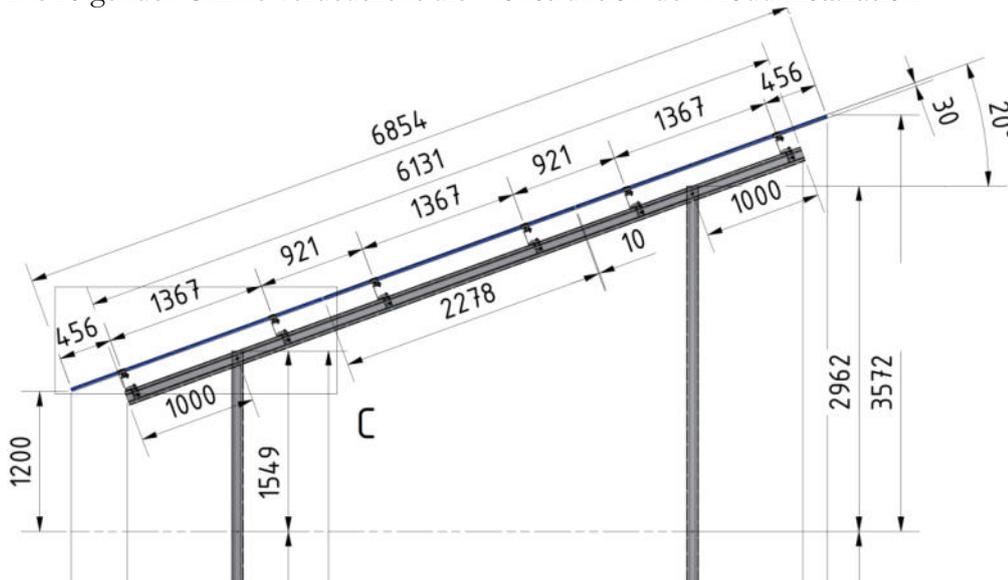


Bild 3.3.1: Skizzen der Modulkonstruktion (Quelle: Systemplanung, Auftraggeber)

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

Tabelle 2: Berechnungsparameter

PV-Modul	LONGi (oder vergleichbar)
Moduloberfläche	Solarglas mit Anti-Reflexionsbehandlung (lt. Datenblatt)
Modulinstallation	Modultische fest aufgeständert, 20° Neigung
Ausrichtung (Azimut)	180° (= Süden)
Höhe der sichtbaren Modulfläche	ca. 1,20 m - ca. 3,57 m
Anzahl Messpunkte gesamt	4 Messpunkte ⁷ (siehe Skizze 3.5.1)
Höhe Messpunkte	2 m (PKW, Transporter, LKW gemittelt ⁸)
Sichtwinkel Fahrzeugführer	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 Beeinträchtigung⁹ 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 Die exakten GPS-Koordinaten der Messpunkte finden sich im Anhang

⁸ Eine Höhe von 2 m ist ein konservativer Ansatz, die mittlere Sitzhöhe der Mehrzahl der Verkehrsteilnehmer (PKW) beträgt ca. 1,30 m

⁹ Ein Aspekt ist die Anordnung und Anzahl der relevanten Schellen (Zapfen und Stäbchen) im menschlichen Auge

3.5 Standorte für die Analyse

Bei der Analyse von potentiellen 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 bzw. der Fahrtrichtung (RiFa) und unabhängig davon ob Reflexionen überhaupt wahrnehmbar sein können. Bei der anschließenden Analyse und Bewertung einer potentiellen 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 Lichteitlinie 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 potenziellen Blendwirkung wurden insgesamt 5 Messpunkte im Bereich der PV-Anlage festgelegt und die jeweils im Jahresverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. 4 Messpunkte im Verlauf der St2067 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 PV-Anlage und die gewählten Messpunkte:



Bild 3.5.1: Exemplarisch gewählte Messpunkte 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 belästigende 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 fehlt¹⁰ 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 ForgeSolar¹¹ basiert auf einer Entwicklung der US Sandia National Laboratories¹². 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.

¹⁰ Licht-Leitlinie "2. Anwendungsbereich", Seite 2 ff., bzw. Anhang 2 ab Seite 22

¹¹ <https://forgesolar.com> is based on the licensed software from Sandia National Laboratories.

¹² Solar Glare Hazard Analysis Tool ("SGHAT") der 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 Licht-Leitlinie gibt es keine Hinweise wie mit meteorologischen Informationen zu verfahren ist obwohl zahlreiche Datenquellen und Klima-Modelle (z.B. TMY¹³) vorhanden sind. Der Deutsche Wetterdienst DWD hat für Deutschland für das Jahr 2023 eine mittlere Wolkenbedeckung¹⁴ 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.

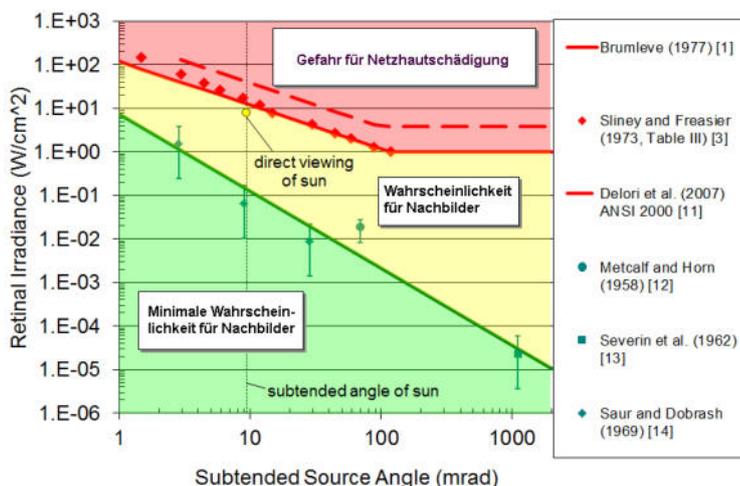


Bild 3.6.1: Kategorisierung von Reflexionen (Quelle: Sandia National Laboratories, siehe auch Diagramme im Anhang)

¹³ Handbuch: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

¹⁴ 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 potenziellen Blendwirkung der PV-Anlage Machtlfing wird für 5 exemplarisch gewählte Messpunkte (Immissionsorte) durchgeführt. Die exakten GPS-Koordinaten der Messpunkte sind unten aufgeführt. Aufgrund des Fahrbahn- bzw. Streckenverlaufes 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 von Straßen und Gebäuden ist auf 2 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 (PKW) nur ca. 1,20 m - 1,40 m beträgt. Eine Höhe von 2,5 m oder mehr liegt außerhalb des Median.

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 3.6.1 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 werden die örtlichen Gegebenheiten und die 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 3: Details zu den einzelnen Messpunkten (Immissionsorten):

Messpunkt Bezeichnung	Breitengrad [°N]	Längengrad [°O]	Geländehöhe ¹⁵ ü. N.N. [m]	Messpunkt ü. N.N. [m]	Reflexionen
P1 St2067 westlich	51.831118	13.984589	60,85	62,85	-
P2 St2067 südwestlich	51.834793	13.976150	60,51	62,51	möglich ^D
P3 St2067 südlich	51.835671	13.966556	61,53	63,53	-
P4 St2067 südöstlich	51.832075	13.987147	60,47	62,47	-
P5 Gebäude westlich	51.835833	13.981664	57,78	59,78	nicht relevant ^{SD}

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

¹⁵ GPS Längengrad, Breitengrad und Höhenangaben gemäß Google Earth Datenbasis (WGS84 / World Geodetic System 1984)

4.1 Ergebnisse am Messpunkt P1, St2067 westlich

Messpunkt P1 auf der Traubinger Straße / St2067 im Bereich der Einmündung zu den IWL Werkstätten wurde zu Kontrollzwecken untersucht, da aufgrund des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz kaum 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 bzw. eine Blendwirkung ausgeschlossen werden. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs ist gewährleistet.

4.2 Ergebnisse am Messpunkt P2, St2067 südwestlich

Am Messpunkt P2 auf der Traubinger Straße / St2067 können theoretisch Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 25. April - 17. August, in den frühen Morgenstunden zwischen 07:06 - 07:31 Uhr, für max. 13 Minuten aus östlicher Richtung auftreten. Die Einfallswinkel liegen bei der Fahrt Richtung Osten mit ca. -9° bis -26° links (östlich) der Fahrtrichtung teilweise in dem für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkel/Sektor ($\pm 20^\circ$ relativ zur Fahrtrichtung, 100 m Sichtweite). Aufgrund der Einfallswinkel kann es evt. zu Beeinträchtigungen von Fahrzeugführern durch die PV-Anlage kommen.

Zur Veranschaulichung sind in der folgenden Skizze die auf Basis der unbereinigten Rohdaten berechneten Reflexionen für den Messpunkt P2 grafisch dargestellt.

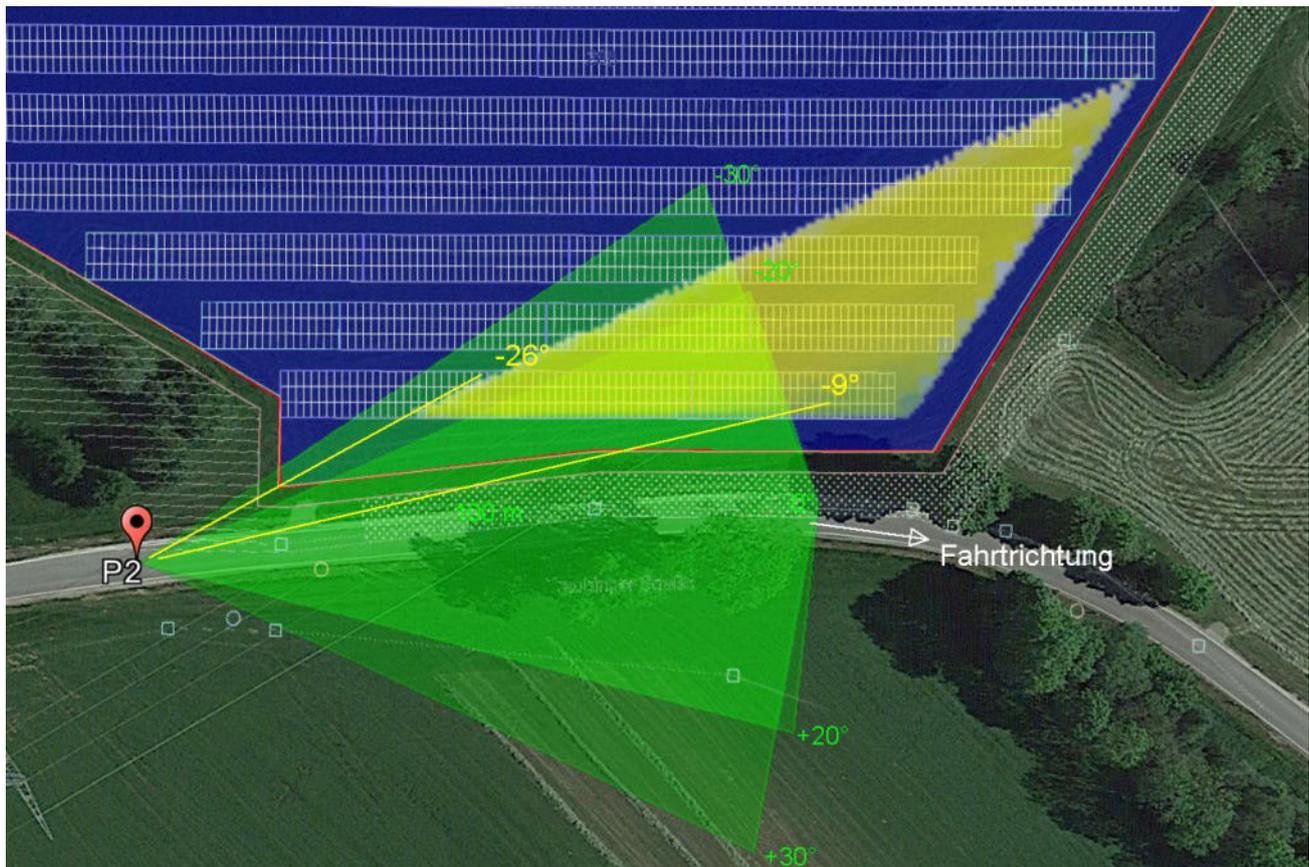


Bild 4.2.1: Simulation am Messpunkt P2 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der Grün markierte Bereich symbolisiert die für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkel/Sektor. Im Gelb markierten Bereich östlich der Fahrbahn können theoretisch morgens Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten.

Die folgende Skizze zeigt den Strahlenverlauf am Messpunkt P2 beispielhaft am 01. Juni um 07:14 Uhr mit Blick Richtung Osten. Auch die Sonne selbst ist Ursache für Blendwirkungen.

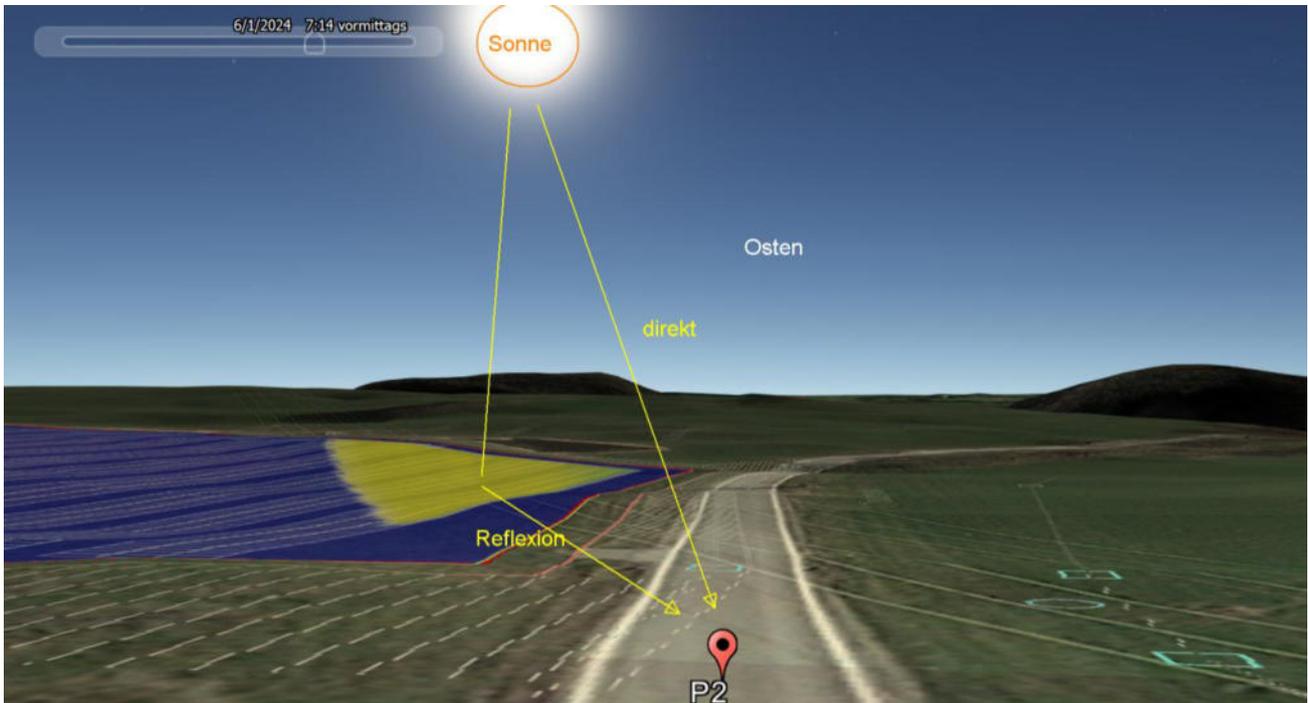


Bild 4.2.2: Simulation am Messpunkt P2 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Das folgende Panoramafoto zeigt die Situation am Messpunkt P2 bei der Fahrt Richtung Osten aus Sicht des Fahrzeugführers aus leicht erhöhter Position (ca. 2,1 m). Die Fläche der PV-Anlage ist teilweise links im Bild sichtbar. Potenzielle Reflexionen können in den frühen Morgenstunden links, teilweise in dem für Fahrzeugführer relevanten Sichtwinkel, zwischen -9° bis -26° auftreten.



Bild 4.2.3: Foto am Messpunkt P2 mit Blick Richtung Osten (Quelle: Google StreetView, August 2023, Ausschnitt)

Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer von max. 13 Minuten pro Tag besteht aus Immissionsschutzrechtlicher Sicht kein Handlungsbedarf aber zur Vorbeugung kann in diesem Bereich eine Sichtschutzmaßnahme installiert werden, um die Sichtachse zwischen der St2067 und der PV-Anlage zu unterbrechen. Diese kann mittels eines blickreduzierenden Gewebes aus PE (Polyethylen) oder HDPE (High-Density Polyethylen) mit einem Schattierwert von ca. 30% - 40% als Teil der geplanten Geländeeinzäunung realisiert werden. Der Verlauf der Sichtschutzmaßnahme erfolgt auf ca. 90 m Länge und einer Höhe von ca. 1 m - 1,8 m (max. 2 m) über Boden. Der untere Teil bis zu 1 m Höhe sollte freigehalten werden um ggf. auftretende Windlasten zu reduzieren, in diesem Bereich sind Reflexionen aufgrund der Modulinstallation ohnehin nicht möglich. Durch die Maßnahme wird die Sichtachse zwischen der PV-Anlage und der St2067 im relevanten Abschnitt unterbrochen, Reflexionen sind nicht mehr nachweisbar. Die folgende Skizze zeigt den Verlauf der Sichtschutzmaßnahme.



Bild 4.2.4: Verlauf der Sichtschutzmaßnahme (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Die folgende Skizze zeigt eine gängige Variante eines Sichtschutzzauns. Details sind mit dem jeweiligen Hersteller abzustimmen.

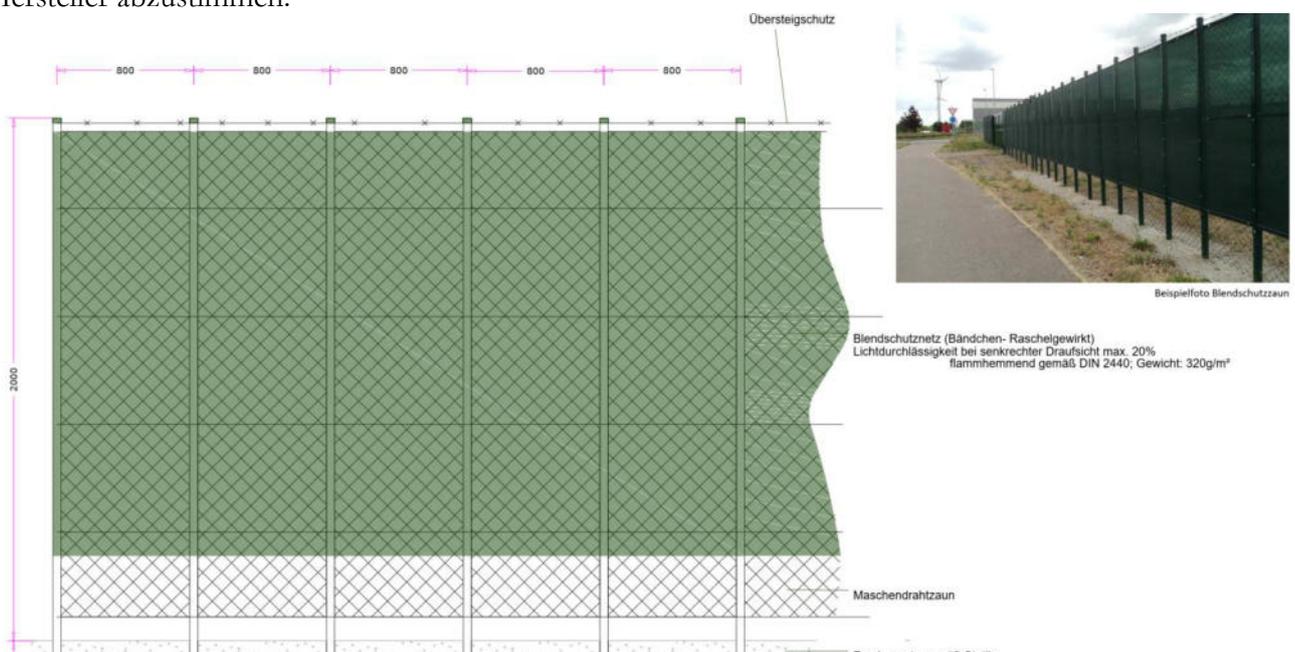


Bild 4.2.5: Beispiel für eine Sichtschutzmaßnahme (Quelle: Planungsunterlagen, Bsp.)

4.3 Ergebnisse am Messpunkt P3 und P4, St2067

Im weiteren Verlauf der Traubinger Straße / St2067 am Messpunkt P3 südlich der PV-Anlage und P4 südwestlich der PV-Anlage sind keine Reflexionen durch die PV-Anlage nachweisbar. Die Simulation zeigt keine Ergebnisse (auch ohne eine Sichtschutzmaßnahme) und daher kann eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV-Anlage bzw. eine Blendwirkung ausgeschlossen werden. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs ist gewährleistet.

4.4 Ergebnisse am Messpunkt P5, Gebäude westlich

Messpunkt P5 im Bereich der Gebäude im Bereich der IWL Werkstätten wurde zu Kontrollzwecken untersucht, da aufgrund der örtlichen Gegebenheiten kein direkter Sichtkontakt zur Fläche der PV-Anlage besteht. Insbesondere aufgrund von Büschen und Bäumen entlang der östlichen Geländegrenze und auch aufgrund vorhandener Gebäude ist die Sichtachse auf die PV-Anlage unterbrochen. Das folgende Foto zeigt den Blick von Osten (PV-Fläche) nach Westen auf den Bereich der IWL Werkstätten (Messpunkt P5)



Bild 4.4.1: Foto in Richtung Westen auf dem Messpunkt P5 (Quelle: Google StreetView, August 2023, Ausschnitt)

Der Bewuchs entlang der Geländegrenze verhindert einen direkten Sichtkontakt zur Immissionsquelle. Es handelt sich hier zwar um alten Baumbestand aber rechtlich gesehen ist es kein dauerhafter Sichtschutz. Dennoch können solche örtlichen Gegebenheiten nicht ignoriert werden.

Zu Kontrollzwecken wurde eine Simulation durchgeführt ohne den real vorhandenen Sichtschutz durch Bewuchs und Gebäude zu berücksichtigen. Diese Simulation zeigt am Messpunkt P5 nur von Mitte April - Mitte August an insgesamt nur 742 Minuten pro Jahr Reflexionen durch die PV-Anlage. Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer sind potentielle Reflexionen im Bereich von Messpunkt P5 zu vernachlässigen. Eine Beeinträchtigung von Anwohnern/Mitarbeitern durch die PV-Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann ausgeschlossen werden.

D.h. selbst wenn der Bereich komplett gerodet werden sollte und bestehende Gebäude entfernt werden, sind potenzielle Reflexionen aufgrund der geringen zeitlichen Dauer nicht relevant. Ggf. könnte die Situation aber in diesem Fall neu bewertet werden und evt. müsste dann entlang der westlichen Geländegrenze der PV-Anlage eine Sichtschutzmaßnahme installiert/nachgerüstet werden. Es ist allerdings nicht sinnvoll und in der Abwägung nicht verhältnismäßig wenn zum jetzigen Zeitpunkt davon auszugehen ist, dass weder Bewuchs noch Gebäude vorhanden sind. Es liegen keine Informationen zu Rodungs- oder Umbaumaßnahmen vor.

Zur Veranschaulichung sind in der folgenden Skizze die auf Basis der unbereinigten Rohdaten berechneten Reflexionen für den Messpunkt P5 grafisch dargestellt.



Bild 4.4.2: Simulation am Messpunkt P5 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

In einer weiteren Simulation wurde auch der real existierende Sichtschutz durch Büsche und Bäume modelliert und demnach sind keine Reflexionen durch die PV-Anlage nachweisbar. Dies gilt auch für das etwas weiter südwestlich gelegene Gebäude (P5a).

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die potenzielle Blendwirkung der hier betrachteten PV-Anlage Machtlfing kann als „unbedeutend“ klassifiziert¹⁶ werden. Im Vergleich zur Blendwirkung durch direktes Sonnenlicht oder durch Spiegelungen auf 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 nicht relevant eingestuft werden.

Durch den Einsatz von hochwertigen PV-Modulen hat der Auftraggeber die nach aktuellem Stand der Technik möglichen Maßnahmen zur Vermeidung von potenziellen Reflexionen ergriffen.

Die Analyse von 5 exemplarisch gewählten Messpunkten zeigt eine theoretische Wahrscheinlichkeit für Reflexionen. Im Verlauf der Traubinger Straße / St2067 können in geringem Umfang Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten. Aufgrund der geringen zeitlichen Dauer besteht aus Immissionsschutzrechtlicher Sicht kein Handlungsbedarf aber zur Vorbeugung kann in diesem Bereich eine Sichtschutzmaßnahme installiert werden. Details sind im Abschnitt 4.1 aufgeführt. Generell kann im Verlauf der St2067 eine Beeinträchtigung von Fahrzeugführern durch die PV-Anlage oder gar eine gefährdende Blendwirkung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Die Sicherheit des fließenden Verkehrs ist gewährleistet. Dies gilt für PKW und gleichermaßen auch für LKW mit erhöhter Sitzposition.

Im Bereich der Gebäude westlich der PV-Anlage (IWL Werkstätten) können nur an insgesamt 742 Minuten pro Jahr Reflexionen durch die PV-Anlage auftreten. Und dies auch nur wenn der real existierende Sichtschutz durch Büsche, Bäume und weitere Gebäude vernachlässigt wird. Aber aufgrund der geringen zeitlichen Dauer sind potenzielle Reflexionen ohnehin nicht relevant. Eine Beeinträchtigung von Anwohnern/Mitarbeitern durch die PV-Anlage bzw. eine „erhebliche Belästigung“ im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann ausgeschlossen werden. In der weiteren Umgebung sind keine relevanten Gebäude oder schutzwürdige Zonen vorhanden.

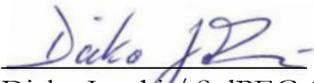
Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die theoretisch berechneten Reflexionen in der Praxis keine Blendwirkung entwickeln werden. Details zu den Ergebnissen an den jeweiligen Messpunkten finden sich in Abschnitt 4.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse 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 30.05.2024


Dieko Jacobi / SolPEG GmbH

¹⁶Die Klassifizierung entspricht den Wertebereichen der Simulationsergebnisse



3000

Baugrenze

HeckenPflanzung

Geltungsbereich

Traubinger Straße

Hi-MO 5

(G2)

LR5-72HIBD 530~550M

- Based on M10-182mm wafer, best choice for ultra-large power plants
- Advanced module technology delivers superior module efficiency
 - M10 Gallium-doped Wafer
 - Integrated Segmented Ribbons
 - 9-busbar Half-Cut Cell
- Globally validated bifacial energy yield
- High module quality ensures long-term reliability

12 12-year Warranty for Materials and Processing

30 30-year Warranty for Extra Linear Power Output

Complete System and Product Certifications

IEC 61215, IEC 61730, UL 61730

ISO9001:2015: ISO Quality Management System

ISO14001: 2015: ISO Environment Management System

ISO45001: 2018: Occupational Health and Safety

TS62941: Guideline for module design qualification and type approval

LONGI



21.3%
MAX. MODULE
EFFICIENCY

0~3%
POWER
TOLERANCE

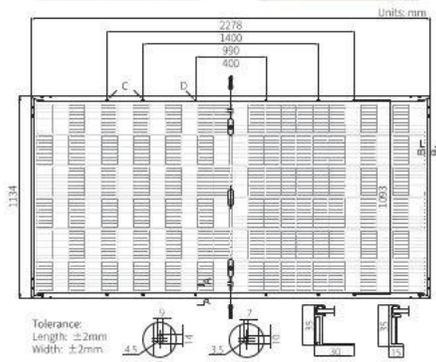
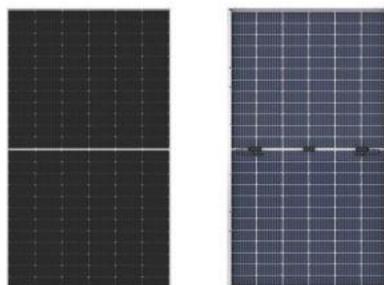
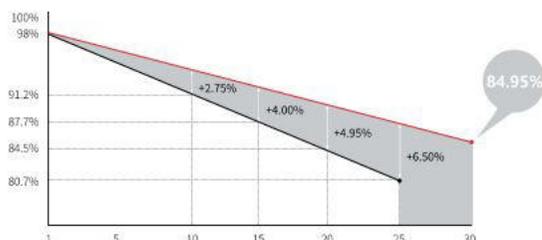
<2%
FIRST YEAR
POWER DEGRADATION

0.45%
YEAR 2-30
POWER DEGRADATION

HALF-CELL
Lower operating temperature

Additional Value

30-Year Power Warranty



Mechanical Parameters

Cell Orientation	144 (6×24)
Junction Box	IP68, three diodes
Output Cable	4mm ² , +400, -200mm length can be customized
Connector	LONGi LR5 or MC4 EVO2
Glass	Dual glass, 2.0+2.0mm heat strengthened glass
Frame	Anodized aluminum alloy frame
Weight	32.6kg
Dimension	2278×1134×35mm
Packaging	31pcs per pallet / 155pcs per 20' GP / 620pcs per 40' HC

Electrical Characteristics

STC: AM1.5 1000W/m² 25°C NOCT: AM1.5 800W/m² 20°C 1m/s

Test uncertainty for P_{max} ±3%

Module Type	LR5-72HIBD-530M		LR5-72HIBD-535M		LR5-72HIBD-540M		LR5-72HIBD-545M		LR5-72HIBD-550M	
	STC	NOCT								
Testing Condition										
Maximum Power (P _{max} /W)	530	396.2	535	399.9	540	403.6	545	407.4	550	411.1
Open Circuit Voltage (V _{oc} /V)	49.20	46.26	49.35	46.40	49.50	46.54	49.65	46.68	49.80	46.82
Short Circuit Current (I _{sc} /A)	13.71	11.07	13.78	11.12	13.85	11.17	13.92	11.23	13.99	11.29
Voltage at Maximum Power (V _{mp} /V)	41.35	38.58	41.50	38.72	41.65	38.86	41.80	39.00	41.95	39.14
Current at Maximum Power (I _{mp} /A)	12.82	10.27	12.90	10.33	12.97	10.39	13.04	10.45	13.12	10.51
Module Efficiency(%)	20.5		20.7		20.9		21.1		21.3	

Electrical characteristics with different rear side power gain (reference to 540W front)

P _{max} /W	V _{oc} /V	I _{sc} /A	V _{mp} /V	I _{mp} /A	P _{max} gain
567	49.50	14.54	41.65	13.61	5%
594	49.50	15.23	41.65	14.26	10%
621	49.60	15.92	41.75	14.91	15%
648	49.60	16.62	41.75	15.56	20%
675	49.60	17.31	41.75	16.21	25%

Operating Parameters

Operational Temperature	-40°C ~ +85°C
Power Output Tolerance	0 ~ 3%
V _{oc} and I _{sc} Tolerance	±3%
Maximum System Voltage	DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating	30A
Nominal Operating Cell Temperature	45±2°C
Protection Class	Class II
Bifaciality	70±5%
Fire Rating	UL type 29 IEC Class C

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of I _{sc}	+0.050%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.265%/°C
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.340%/°C

Machtlfing

Machtlfing_Sichtschutz

Created May 31, 2024
Updated May 31, 2024
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC2
Minimum sun altitude 8.0 deg
Site ID 120683.20713

Project type Basic
Project status: active
Category 500 kW to 1 MW
(1,000 kW / 32,400 m² limit)



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 low potential for temporary after-image predicted

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced
	deg	deg	min	min	kWh
PV Feld	20.0	180.0	113	0	-

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 22,083 m²

Name: PV Feld
Footprint area: 22,083 m²
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 20.0 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	47.943939	11.236169	711.23	2.00	713.23
2	47.944270	11.236357	711.14	2.00	713.14
3	47.944356	11.236351	711.62	2.00	713.62
4	47.944705	11.236555	711.20	2.00	713.20
5	47.944697	11.239275	707.86	2.00	709.86
6	47.944525	11.239264	707.49	2.00	709.49
7	47.943598	11.238342	705.58	2.00	707.58
8	47.943601	11.236979	708.49	2.00	710.49
9	47.943702	11.236990	708.27	2.00	710.27

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m	Height above ground m	Total Elevation m
OP 1	47.943713	11.234800	713.95	2.00	715.95
OP 2	47.943432	11.236756	708.97	2.50	711.47
OP 3	47.943489	11.237915	706.18	2.00	708.18
OP 4	47.943227	11.238999	705.60	2.50	708.10
OP 5	47.944181	11.235480	713.18	2.00	715.18

Obstruction Components

Name: Bewuchs
Upper edge height: 8.0 m



Vertex	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m
1	47.944684	11.236222	713.15
2	47.944361	11.236265	712.61
3	47.943922	11.235997	713.38
4	47.943646	11.236925	708.70

Name: Sichtschutz
Upper edge height: 2.0 m



Vertex	Latitude deg	Longitude deg	Ground elevation m
1	47.943582	11.236949	709.67
2	47.943578	11.238424	706.57

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	20.0	180.0	113	0	-	

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	20	57	36	0	0	0	0	0
pv-feld (yellow)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

PV Feld low potential for temporary after-image

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)
OP: OP 1	0	0
OP: OP 2	0	0
OP: OP 3	0	0
OP: OP 4	113	0
OP: OP 5	0	0

PV Feld: OP 1

No glare found

PV Feld: OP 2

No glare found

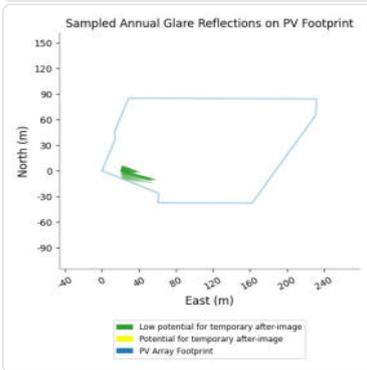
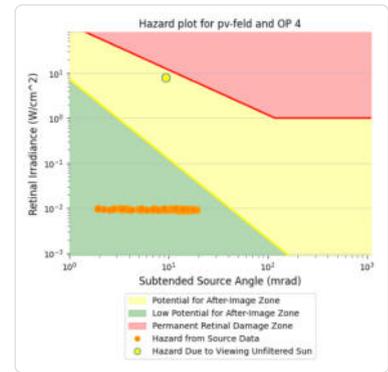
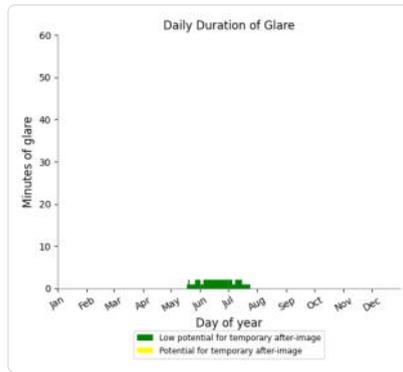
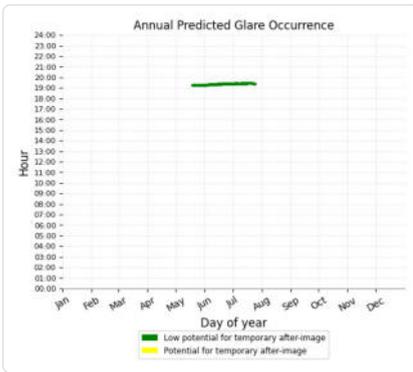
PV Feld: OP 3

No glare found

PV Feld: OP 4

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

- 113 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

No glare found

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.

	Corneal 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	Tag	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 5			
2024-04-20 07:12:00	0,006152	638,5116	1	0,361276	0,013084	0,007018	8,2	81,8	0,98	0,141	0,143	-0,98	-0,2	0,019	25. Apr.	2	07:05	07:07	01. Aug.	10. August	10	715	06:52	07:18	13. August
2024-04-21 07:12:00	0,007054	642,1741	1	0,355198	0,012937	0,022287	8,5	81,6	0,978	0,145	0,148	-0,978	-0,206	0,02	26. Apr.	1	07:07	07:07	13. August	13. August	5	5	07:09	07:15	
2024-04-22 07:08:00	0,008155	636,7704	1	0,382578	0,013817	0,030007	8,1	80,6	0,977	0,161	0,141	-0,977	-0,214	0,004	27. Apr.	2	07:02	07:07							
2024-04-22 07:09:00	0,008236	638,6265	1	0,373974	0,013546	0,032824	8,3	80,8	0,977	0,158	0,144	-0,977	-0,213	0,008	28. Apr.	4	07:01	07:06							
2024-04-22 07:12:00	0,007735	644,1725	1	0,349288	0,012762	0,032529	8,8	81,3	0,977	0,149	0,152	-0,977	-0,212	0,021	29. Apr.	4	07:00	07:06							
2024-04-23 07:06:00	0,008333	636,7009	1	0,393728	0,014219	0,029329	8	80	0,975	0,172	0,139	-0,975	-0,221	-0,004	30. Apr.	2	06:59	07:01							
2024-04-23 07:08:00	0,008426	640,3919	1	0,376248	0,013666	0,034131	8,3	80,4	0,976	0,165	0,145	-0,976	-0,22	0,005	1. Mai.	7	06:58	07:07							
2024-04-24 07:06:00	0,00861	640,2903	1	0,387269	0,014064	0,033459	8,3	79,8	0,974	0,175	0,144	-0,974	-0,227	-0,003	2. Mai.	6	06:58	07:07							
2024-04-24 07:08:00	0,00793	643,9495	1	0,370095	0,013517	0,029425	8,6	80,2	0,974	0,169	0,149	-0,974	-0,226	0,006	3. Mai.	6	06:57	07:05							
2024-04-24 07:11:00	0,006505	649,4108	1	0,345725	0,012734	0,0215703	9,1	80,7	0,974	0,16	0,158	-0,974	-0,224	0,018	4. Mai.	5	06:56	07:05							
2024-04-25 07:02:00	0,008748	634,8984	1	0,407756	0,014683	0,030901	8	79	0,977	0,189	0,139	-0,977	-0,234	-0,014	5. Mai.	6	06:57	07:04							
2024-04-25 07:03:00	0,007908	636,7362	1	0,398636	0,014397	0,023021	8,2	79,2	0,972	0,185	0,142	-0,972	-0,234	-0,01	6. Mai.	5	06:57	07:06							
2024-04-25 07:05:00	0,008639	640,4007	2	0,380993	0,013839	0,035291	8,5	79,6	0,973	0,179	0,148	-0,973	-0,232	-0,002	7. Mai.	8	06:56	07:07							
2024-04-25 07:07:00	0,008496	644,0508	2	0,364115	0,013301	0,037402	8,8	79,9	0,973	0,173	0,154	-0,973	-0,231	0,007	8. Mai.	6	06:55	07:07							
2024-04-25 07:10:00	0,007258	649,4985	1	0,340166	0,012531	0,028194	9,3	80,5	0,973	0,163	0,162	-0,973	-0,229	0,019	9. Mai.	8	06:55	07:07							
2024-04-26 07:01:00	0,008471	636,6206	1	0,41036	0,014817	0,026937	8,1	78,6	0,971	0,196	0,141	-0,971	-0,24	-0,018	10. Mai.	8	06:55	07:05							
2024-04-26 07:02:00	0,008811	638,4462	1	0,401197	0,014528	0,032585	8,3	78,8	0,971	0,192	0,144	-0,971	-0,24	-0,014	11. Mai.	10	06:54	07:06							
2024-04-26 07:03:00	0,008624	640,2683	1	0,392235	0,014244	0,032427	8,4	79	0,971	0,189	0,146	-0,971	-0,239	-0,009	12. Mai.	8	06:54	07:04							
2024-04-26 07:04:00	0,007629	642,0867	1	0,383468	0,013965	0,022474	8,6	79,2	0,971	0,186	0,149	-0,971	-0,238	-0,005	13. Mai.	8	06:54	07:06							
2024-04-26 07:05:00	0,006324	643,9016	1	0,374894	0,013691	0,005112	8,7	79,3	0,971	0,183	0,152	-0,971	-0,238	-0,001	14. Mai.	7	06:54	07:06							
2024-04-26 07:06:00	0,00684	645,7128	1	0,366508	0,013423	0,015454	8,9	79,5	0,971	0,18	0,155	-0,971	-0,237	0,003	15. Mai.	10	06:53	07:06							
2024-04-26 07:07:00	0,00854	647,5205	2	0,358306	0,013159	0,038852	9,1	79,7	0,972	0,177	0,158	-0,972	-0,237	0,007	16. Mai.	8	06:53	07:04							
2024-04-27 06:59:00	0,008162	634,8823	1	0,422451	0,015212	0,020681	8	78	0,969	0,205	0,139	-0,969	-0,247	-0,025	17. Mai.	6	06:54	07:02							
2024-04-27 07:00:00	0,008832	636,707	1	0,413039	0,014916	0,030316	8,2	78,2	0,969	0,202	0,142	-0,969	-0,246	-0,021	18. Mai.	8	06:53	07:05							
2024-04-27 07:01:00	0,008746	638,5282	1	0,403832	0,014625	0,031252	8,3	78,4	0,969	0,199	0,145	-0,969	-0,246	-0,017	19. Mai.	7	06:53	07:05							
2024-04-27 07:02:00	0,008867	640,3458	2	0,394826	0,01434	0,034399	8,5	78,6	0,969	0,196	0,148	-0,969	-0,245	-0,013	20. Mai.	7	06:53	07:05							
2024-04-27 07:03:00	0,008386	642,1598	1	0,386016	0,01406	0,031009	8,7	78,7	0,97	0,193	0,151	-0,97	-0,245	-0,009	21. Mai.	7	06:52	07:03							
2024-04-27 07:04:00	0,008519	643,9702	1	0,3774	0,013784	0,034352	8,8	78,9	0,97	0,19	0,153	-0,97	-0,244	-0,004	22. Mai.	8	06:52	07:03							
2024-04-27 07:06:00	0,008012	647,5803	1	0,360727	0,013249	0,032307	9,2	79,3	0,97	0,183	0,159	-0,97	-0,243	0,004	23. Mai.	9	06:52	07:04							
2024-04-27 07:07:00	0,008555	649,3799	2	0,352663	0,012989	0,040196	9,3	79,5	0,97	0,18	0,162	-0,97	-0,242	0,008	24. Mai.	8	06:52	07:04							
2024-04-27 07:09:00	0,005812	652,9682	1	0,337063	0,012483	0,00596	9,6	79,8	0,97	0,174	0,168	-0,97	-0,241	0,017	25. Mai.	7	06:52	07:04							
2024-04-28 06:58:00	0,008566	636,5597	1	0,425255	0,015354	0,024555	8,1	77,6	0,967	0,212	0,141	-0,967	-0,253	-0,029	26. Mai.	7	06:53	07:04							
2024-04-28 06:59:00	0,008889	638,3726	1	0,415797	0,015055	0,030046	8,2	77,8	0,967	0,209	0,143	-0,967	-0,252	-0,025	27. Mai.	6	06:52	07:01							
2024-04-28 07:00:00	0,008926	640,1819	1	0,406544	0,014762	0,0323	8,4	78	0,968	0,206	0,146	-0,968	-0,252	-0,02	28. Mai.	6	06:52	07:04							
2024-04-28 07:01:00	0,00895	641,9877	2	0,397493	0,014474	0,034397	8,6	78,2	0,968	0,203	0,149	-0,968	-0,251	-0,016	29. Mai.	8	06:52	07:04							
2024-04-28 07:02:00	0,006533	643,79	1	0,388639	0,014191	0,004756	8,7	78,3	0,968	0,2	0,152	-0,968	-0,251	-0,012	30. Mai.	8	06:52	07:04							
2024-04-28 07:03:00	0,008897	645,5887	2	0,379978	0,013914	0,037506	8,9	78,5	0,968	0,196	0,155	-0,968	-0,25	-0,008	31. Mai.	7	06:52	07:04							
2024-04-28 07:04:00	0,008795	647,3838	2	0,371506	0,013641	0,038258	9,1	78,7	0,968	0,193	0,158	-0,968	-0,249	-0,004	1. Jun.	6	06:52	07:04							
2024-04-28 07:06:00	0,008664	650,9633	2	0,355113	0,013111	0,040494	9,4	79,1	0,969	0,187	0,163	-0,969	-0,248	0,005	2. Jun.	6	06:52	07:04							
2024-04-28 07:09:00	0,006692	656,3054	1	0,331843	0,012353	0,021652	9,9	79,6	0,969	0,178	0,172	-0,969	-0,246	0,017	3. Jun.	5	06:53	07:03							
2024-04-29 06:57:00	0,00841	638,2017	1	0,428142	0,015498	0,021821	8,2	77,2	0,965	0,219	0,142	-0,965	-0,259	-0,032	4. Jun.	8	06:53	07:04							
2024-04-29 06:58:00	0,00886	640,0029	1	0,418636	0,015196	0,028832	8,3	77,4	0,966	0,216	0,145	-0,966	-0,258	-0,028	5. Jun.	8	06:53	07:04							
2024-04-29 06:59:00	0,008968	641,8007	1	0,409336	0,014901	0,031861	8,5	77,6	0,966	0,213	0,147	-0,966	-0,258	-0,024	6. Jun.	7	06:54	07:04							
2024-04-29 07:00:00	0,009011	643,5948	2	0,400239	0,01461	0,034156	8,6	77,8	0,966	0,209	0,15	-0,966	-0,257	-0,02	7. Jun.	5	06:54	07:02							
2024-04-29 07:01:00	0,009139	645,3855	2	0,391339	0,014325	0,036076	8,8	77,9	0,966	0,206	0,153	-0,966	-0,256	-0,015	8. Jun.	8	06:52	07:04							
2024-04-29 07:02:00	0,007653	647,1726	1	0,382633	0,014045	0,022225	9	78,1	0,967	0,203	0,156	-0,967	-0,256	-0,011	9. Jun.	7	06:54	07:05							
2024-04-29 07:03:00	0,006367	648,9562	1	0,374116	0,01377	0,005222	9,1	78,3	0,967	0,2	0,159	-0,967	-0,255	-0,007	10. Jun.	7	06:53	07:05							
2024-04-29 07:04:00	0,008879	650,7362	2	0,365785	0,013501	0,040058	9,3	78,5	0,967	0,197	0,162	-0,967	-0,255	-0,003	11. Jun.	8	06:53	07:05							
2024-04-29 07:06:00	0,00871	654,2855	2	0,349663	0,012976	0,041902	9,6	78,9	0,967	0,191	0,167	-0,967	-0,254	0,006	12. Jun.	8	06:53	07:05							

Potentielle Reflexionen am Messpunkt OP 5:
 720 Minuten pro Jahr (Summe gesamt)
 495 Minuten im Juni-September mit Sichtschutz durch Blattwerk
 225 Minuten im Oktober-Mai ohne Sichtschutz durch Blattwerk
 10 Minuten pro Tag (Max)

Parameter für Daten Bereinigung (Datensatz mit 1266 Einträgen /-523):
 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)

