

SolPEG Blendgutachten Solarpark Denklingen

**Analyse der potentiellen Blendwirkung einer geplanten PV Anlage
in der Nähe von Denklingen 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 potentiellen 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	16
4.1	Ergebnisübersicht	16
4.2	Ergebnisse am Messpunkt P1, Bahnstecke südöstlich	17
4.3	Ergebnisse am Messpunkt P2, Bahnstecke östlich	18
4.4	Ergebnisse am Messpunkt P3, Bahnstecke mordöstlich	19
4.5	Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude westlich	20
5	Zusammenfassung der Ergebnisse	22
6	Schlussbemerkung	22
7	Anhang	23 - 36

SolPEG Blendgutachten

Analyse der potentiellen Blendwirkung der geplanten PV Anlage Denklingen

1 Auftrag

1.1 Beauftragung

Als unabhängiger Gutachter für Photovoltaik (PV) ist die SolPEG GmbH beauftragt, die potentielle Blendwirkung der geplanten PV Anlage „Denklingen“ für die Bahnstrecke Landsberg-Schongau und - sofern vorhanden - für Anwohner von umliegenden Gebäuden 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 „Denklingen“ eine Blendwirkung für schutzbedürftige Zonen im Sinne der Licht-Leitlinie ausgehen könnte. Dies gilt insbesondere für die Bahnstrecke Landsberg-Schongau (Fuchstalbahn).

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 in einem landwirtschaftlichen Gebiet ca. 1,5 km südöstlich der Ortschaft Denklingen, ca. 15 km südlich von Landsberg am Lech in Oberbayern. Östlich der Fläche verläuft die eingleisige Strecke der Fuchstalbahn (Landsberg-Schongau). Die folgenden Informationen und Bilder geben einen Überblick über den Standort.

Tabelle 1: Informationen über den Standort

Allgemeine Beschreibung des Standortes	Landwirtschaftliche Flächen ca. 1,5 km südöstlich der Ortschaft Denklingen in Oberbayern. Die Fläche ist überwiegend eben.
Koordinaten (Mitte)	47.904°N, 10.869°O 690 m ü.N.N.
Grenzlänge entlang der Bahnstrecke	ca. 440 m
Abstand zur Bahnstrecke	ca. 20 m – 25 m
Entfernung zu umliegenden Gebäuden	ca. 370 m

Übersicht über den Standort und die PV Anlage (schematisch)

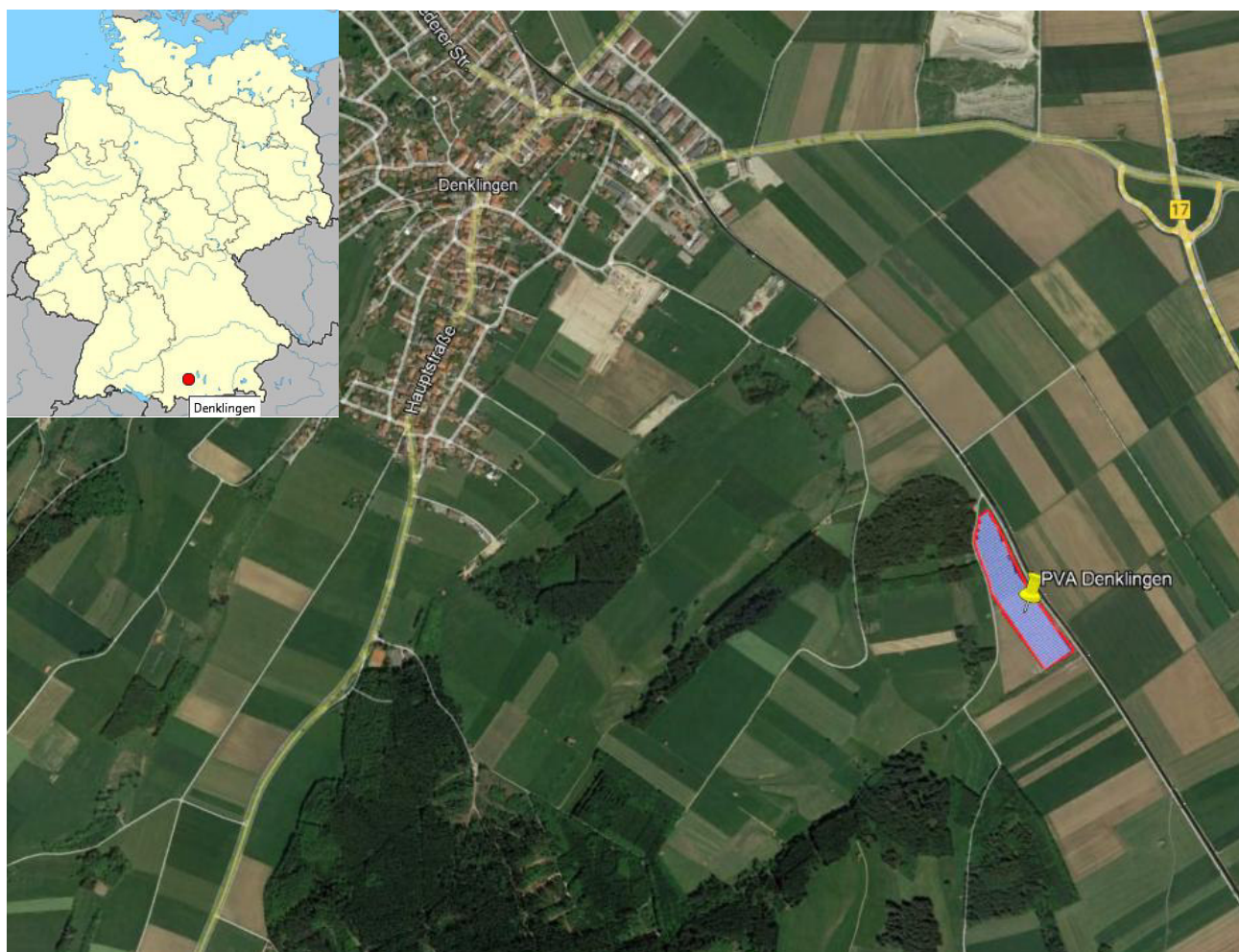


Bild 2.1.1: Luftbild mit Schema der PV Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

Detailansicht der PV Anlage und Umgebung.



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

Detailansicht der PV Anlage.



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

2.2 Umliegende Gebäude

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

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

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

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

Die folgende Skizze zeigt die PV Anlage sowie westlich gelegene Gebäude. Aufgrund der Ausrichtung der PV Module und des Strahlenverlaufs gemäß Reflexionsgesetz können die Gebäude von potentiellen Reflexionen durch die PV Anlage erreicht werden aber aufgrund der Entfernung sind diese kaum relevant. Der Standort wird dennoch untersucht. Andere umliegende Gebäude sind aufgrund der Lage und Entfernung nicht von Reflexionen durch die PV Anlage betroffen und eine nähere Untersuchung ist nicht erforderlich.

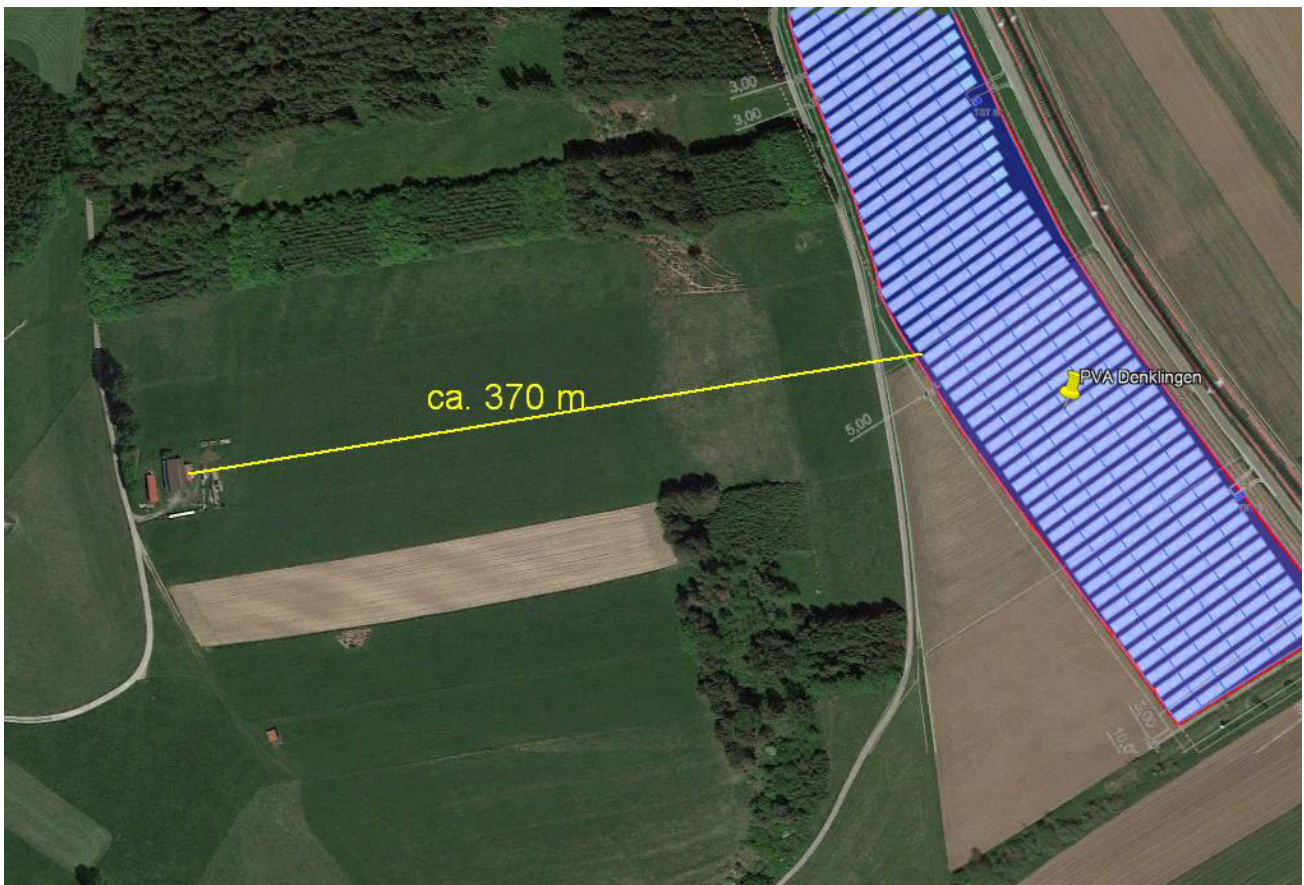


Bild 2.2.1: Gebäude nördlich der PV Anlage (Quelle: Google Earth/SolPEG)

3 Ermittlung der potentiellen Blendwirkung

3.1 Rechtliche Hinweise

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

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 eines PV Moduls:

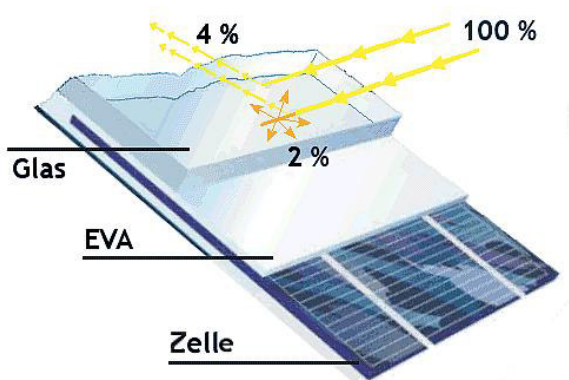


Bild 3.2.1: Anteil des reflektierten Sonnenlichtes bei einem PV Modul (Quelle: SolPEG)

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



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

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

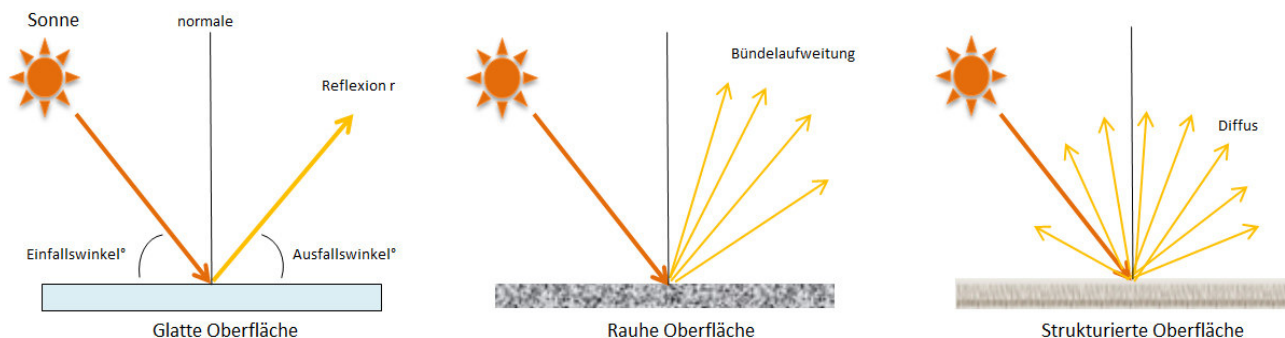


Bild 3.2.4: Reflexion von unterschiedlichen Oberflächen (Quelle: SolPEG)

Lt. Informationen des Auftraggebers sollen PV Module des Herstellers Q-CELLS mit 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 SPECIFICATION

Format	2416 mm × 1134 mm × 35 mm (including frame)
Weight	30.7 kg
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 26 monocrystalline Q.ANTUM solar half cells
Junction box	53-101 mm × 32-60 mm × 15-18 mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ≥ 750 mm, (-) ≥ 350 mm
Connector	Stäubli MC4-Evo2. Hanwha Q CELLS HQC4: IP68

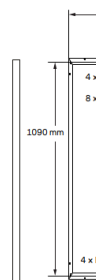


Bild 3.2.5: Auszug aus dem Moduldatenblatt, siehe auch Anhang

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 FAA² 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:

$$\cos(\theta_P) = -\cos(\gamma_S) \cdot \sin(\gamma_P) \cdot \cos(\alpha_S + 180^\circ - \alpha_P) + \sin(\gamma_S) \cdot \cos(\gamma_P)$$

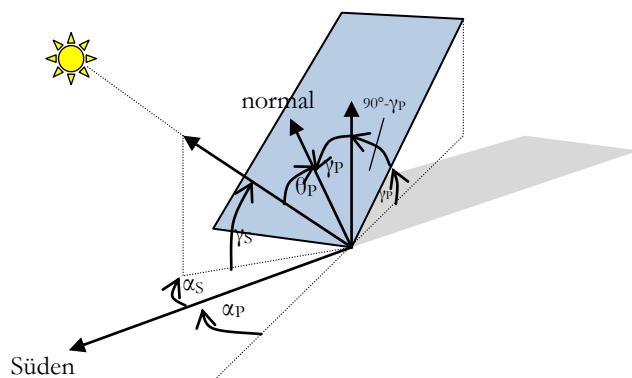


Bild 3.3.1: Schematische Darstellung der Reflexionen auf einer geneigten Fläche (Quelle: SolPEG)

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

Die Simulation von Reflexionen geht zu jedem Zeitpunkt von einem klaren Himmel und direkter Sonneneinstrahlung aus, daher wird im Ergebnis immer die höchst mögliche Blendwirkung angegeben. Dies entspricht nur selten den realen Umgebungsbedingungen und auch Informationen über möglichen Sichtschutz durch Bäume, Gebäude oder andere Objekte können nicht ausreichend verarbeitet werden. Auch Wettereinflüsse wie z.B. Frühnebel/Dunst oder lokale Besonderheiten der Wetterbedingungen können nicht berechnet werden. Die Entfernung zur Blendquelle fließt in die Berechnung ein, jedoch sind sich die Experten uneinig ab welcher Entfernung eine Blendwirkung durch PV Anlagen zu vernachlässigen ist. In der Licht-Leitlinie³ wird eine Entfernung von 100 m genannt.

Die durchgeführten Berechnungen wurden u.a. mit Simulationen und Modellen des Sandia National Laboratories⁴, New Mexico überprüft.

² US Federal Aviation Administration (FAA) guidelines for analyzing flight paths:
<https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2013-10-23/pdf/2013-24729.pdf>

³ Licht-Leitlinie Seite 22: Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen.

⁴ Webseite der Sandia National Laboratories: <http://www.sandia.gov>

3.4 Technische Parameter der PV Anlage

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

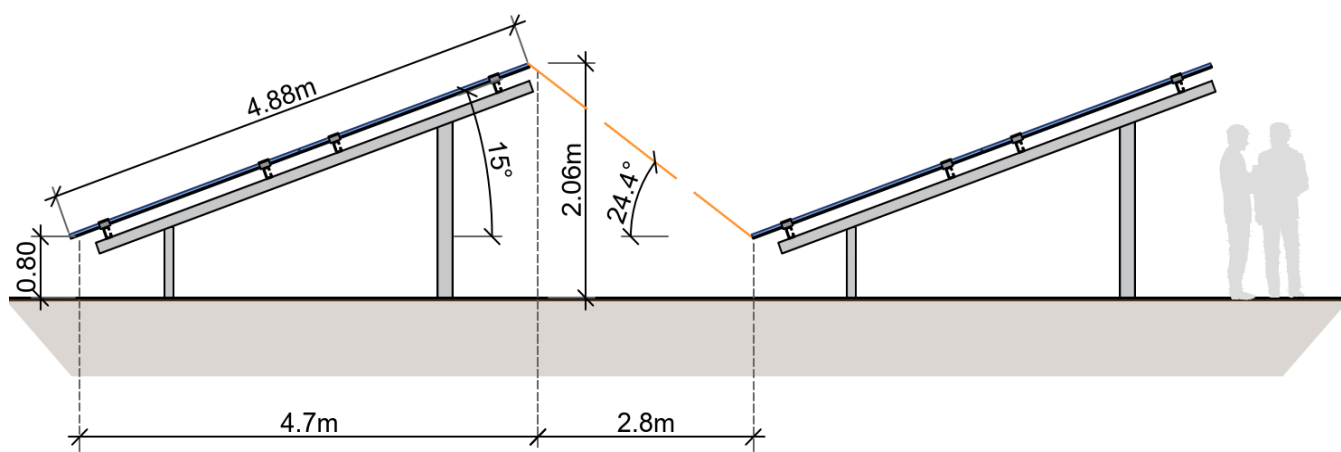


Bild 3.4.1: Skizze der Modulkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

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

Tabelle 2: Berechnungsparameter

PV Modul	Q-CELLS (oder vergleichbar)
Moduloberfläche	Solarglas mit Anti-Reflexionsbehandlung (lt. Datenblatt)
Unterkonstruktion	Modultische, fest aufgeständert
Modulinstallation	2 Module hochkant übereinander
Ausrichtung (Azimut, 180° = Süden)	145° (Süden = 180°)
Modulneigung	15°
Höhe der sichtbaren Modulfläche	min. 0,80 m, max. 2,06 m (leichte Abweichungen möglich)
Mittlere Höhe der Modulfläche	1,5 m
Anzahl Messpunkte Bahnstrecke	4 Messpunkte (siehe Skizze 3.5.1)
Anzahl Messpunkte Straße	1 Messpunkt (kombiniert)
Anzahl Messpunkte Gebäude	1 Messpunkt
Höhe Messpunkte über Boden	2,5 m (Zugführer)

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 nicht untersucht.

Für die Analyse einer potentiellen Blendwirkung der PV Anlage Denklingen wurden insgesamt 4 Messpunkte festgelegt, 3 Messpunkte im Verlauf der Bahnstrecke sowie 1 Messpunkt im Bereich der westlich gelegenen Gebäude. Der Messpunkt P3 wird auch für die Beurteilung der parallel verlaufenden Straße Buchweg genutzt. Für die gewählten Messpunkte werden die im Jahres- und Tagesverlauf auftretenden Reflexionen ermittelt. Andere Standorte wurden nicht weiter untersucht, da aufgrund von Entfernung und/oder Winkel zur Immissionsquelle keine Reflexionen zu erwarten sind.

Die folgende Übersicht zeigt die PV Anlage und die gewählten Messpunkte P1-P4:



Bild 3.5.1: Übersicht über die PV Anlage und die Messpunkte P1–P4 (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 weiterführender Forschung und Konkretisierung der vorhandenen Regelungen. U.a.

Christoph Schierz, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012:

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

Michaela Fischbach, Wolfgang Rosenthal, Solarpraxis AG:

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

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

Schutzwürdige Räume

In der Licht-Leitlinie sind einige "schutzwürdige Räume" - also ortsfeste Standorte - aufgeführt, für die zu bestimmten Tageszeiten störende oder belästigende Einflüsse durch Lichtimmissionen zu vermeiden sind. Es fehlt⁵ 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 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."

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.

⁵ 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, CC0 1.0 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 $\pm 20^\circ$ 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.

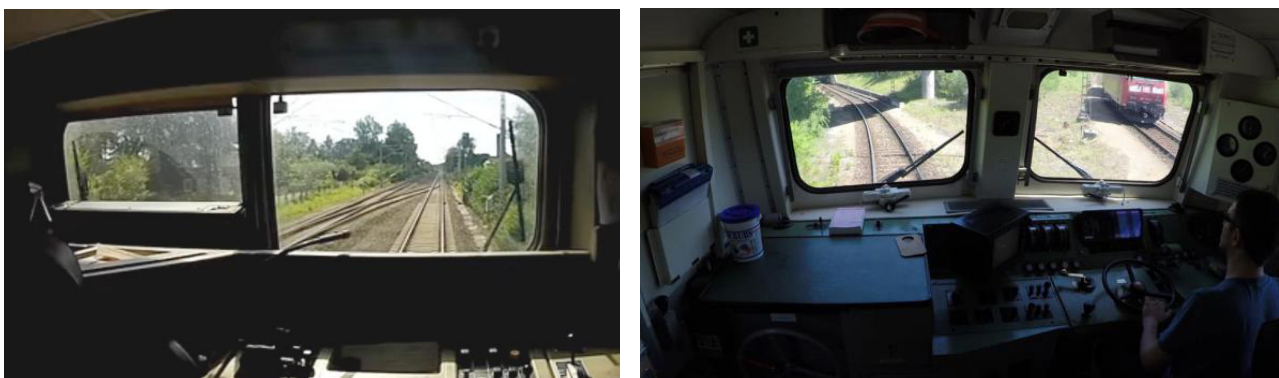


Bild 3.6.2: Blick aus dem Führerstand. Links Baureihe 143, rechts 155 (Quelle: Wikipedia, CC0 1.0 Lizenz, Ausschnitt)

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. TMY⁶) vorhanden sind. Der Deutsche Wetterdienst DWD hat für Deutschland für das Jahr 2020 eine mittlere Wolkenbedeckung⁷ 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 Tagesadaption 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.

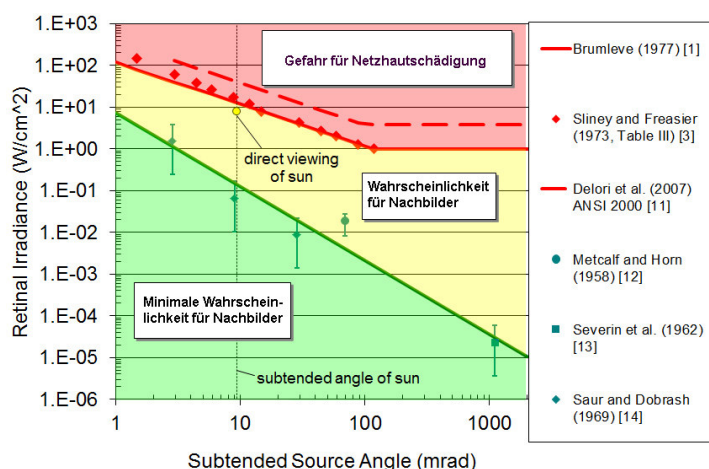


Bild 3.6.3: Kategorisierung von Reflexionen (Quelle: Sandia National Laboratories, siehe auch Diagramme im Anhang)

⁶ Handbuch: <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>

⁷ 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 Denklingen wird für 3 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 Licht-Leitlinie 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 zwischen 22 Uhr abends und 06 Uhr morgens auftreten (sofern möglich), sind relativiert zu bewerten 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. Details zu den jeweiligen Messpunkten werden im weiteren Verlauf von Abschnitt 4 beschrieben.

Tabelle 3: Potentielle Blendwirkung an den jeweiligen Messpunkten [Kategorie ■, Minuten pro Jahr]

Messpunkt	PV Fläche
P1 Bahnstrecke südlich	1360 ^W
P2 Bahnstrecke Mitte	4509 ^W
P3 Bahnstrecke nordöstlich / Straße	5652 ^W
P4 Gebäude westlich	- ^E

^W Aufgrund des Einfallswinkels zu vernachlässigen

^G Aufgrund der Geländestruktur oder Hindernissen/Sichtschutz zu vernachlässigen

^E Aufgrund der Entfernung zur Immissionsquelle zu vernachlässigen

Die unbereinigten Daten sind im Anhang aufgeführt.

4.2 Ergebnisse am Messpunkt P1, Bahnstecke südöstlich

Auf der hier betrachteten Bahnstrecke (Fuchstalbahn) ist in diesem Bereich der Personenverkehr seit 1984 eingestellt und der verbliebene Gütertransport verkehrt unregelmäßig und mit geringer Frequenz. Am Messpunkt P1 auf der Bahnstrecke können bei der Fahrt Richtung Nordwesten theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Diese können rein rechnerisch zwischen dem 10. Mai - 02. August in der Zeit zwischen 17:19 Uhr - 17:47 Uhr aus westlicher Richtung auftreten. Die Einfallswinkel von potentiellen Reflexionen liegen allerdings mit ca. -37° bis -42° links (westlich) zur Fahrtrichtung deutlich außerhalb des für Zugführer relevanten Blickwinkels (Fahrtrichtung $\pm 20^\circ$, ca. 100 m). Eine Beeinträchtigung von Zugführern kann demnach mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden. Die Sichtbarkeit von ggf. vorhandenen DB-Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt. Die Ergebnisse gelten gleichermaßen für den parallel zur Bahnstrecke verlaufenden Buchweg, auch hier kann eine Beeinträchtigung von Verkehrsteilnehmern durch die PV Anlage ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung werden dennoch in der folgenden Skizze die potentiellen Reflexionen am Messpunkt P1 auf Basis der unbereinigten Rohdaten dargestellt.

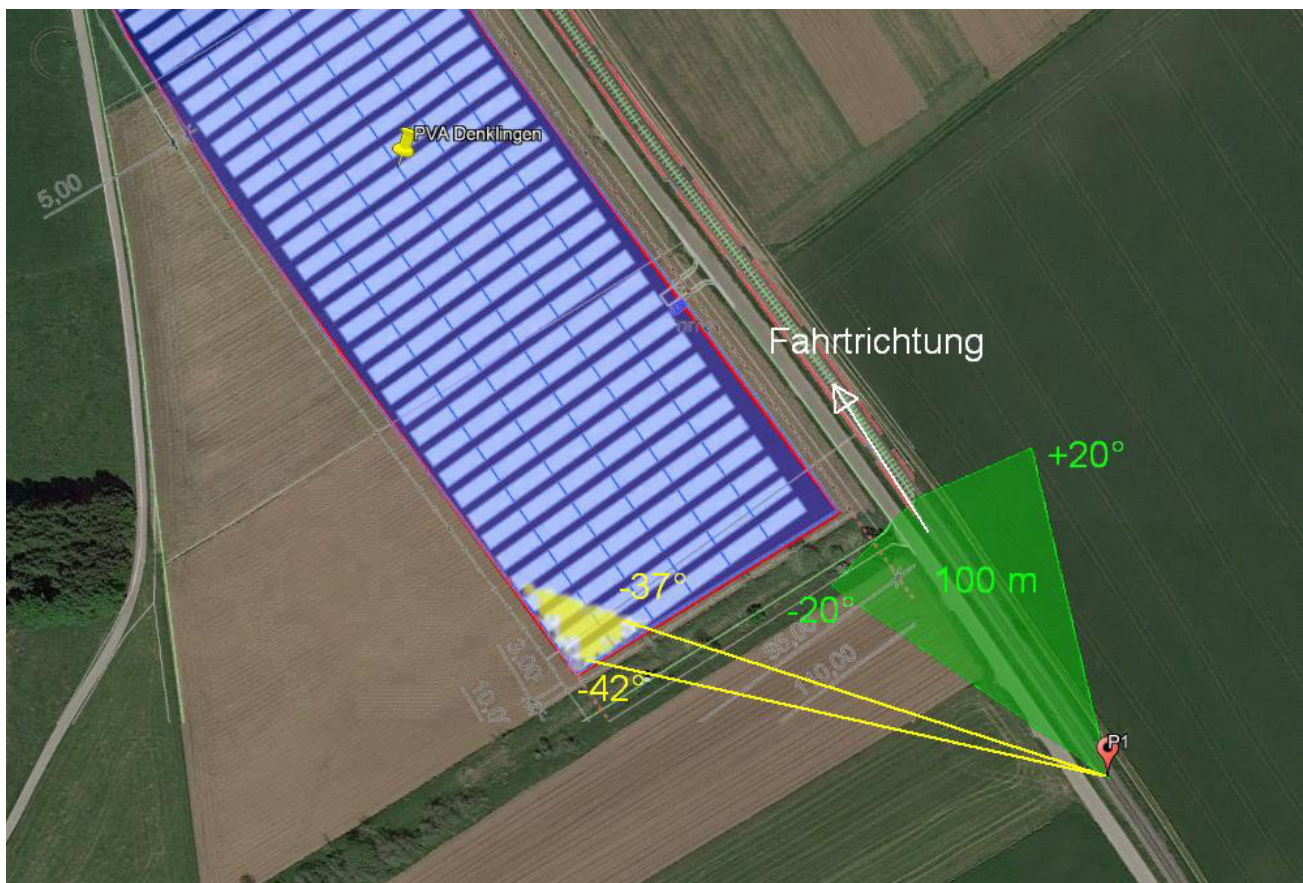


Bild 4.2.1: Situation am Messpunkt P1 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der grün markierte Bereich ist der für Zugführer relevante Sichtbereich. Im gelb/weiß markierten Bereich können theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Nach Bereinigung der Rohdaten ist der Bereich entsprechend kleiner bzw. schmaler.

Die Skizze verdeutlicht, dass Reflexionen nur außerhalb des für Zugführer relevanten Blickwinkels auftreten können und daher zu vernachlässigen sind.

4.3 Ergebnisse am Messpunkt P2, Bahnstecke östlich

Auch am Messpunkt P2 auf der Bahnstrecke können bei der Fahrt Richtung Nordwesten theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Aufgrund der Ausrichtung der PV Anlage können potentielle Reflexionen rein rechnerisch zwischen dem 01. März - 12. Oktober in der Zeit zwischen 16:18 Uhr - 17:47 Uhr für maximal 22 Minuten pro Tag aus westlicher Richtung auftreten. Die Einfallswinkel liegen mit ca. -51° bis -96° links (westlich) zur Fahrtrichtung deutlich außerhalb des für Zugführer relevanten Blickwinkels. Eine Beeinträchtigung von Zugführern kann daher auch am Messpunkt P2 mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Auch für den parallel zur Bahnstrecke verlaufenden Buchweg kann eine Beeinträchtigung von Verkehrsteilnehmern durch die PV Anlage ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung werden dennoch in der folgenden Skizze die potentiellen Reflexionen am Messpunkt P2 auf Basis der unbereinigten Rohdaten dargestellt.

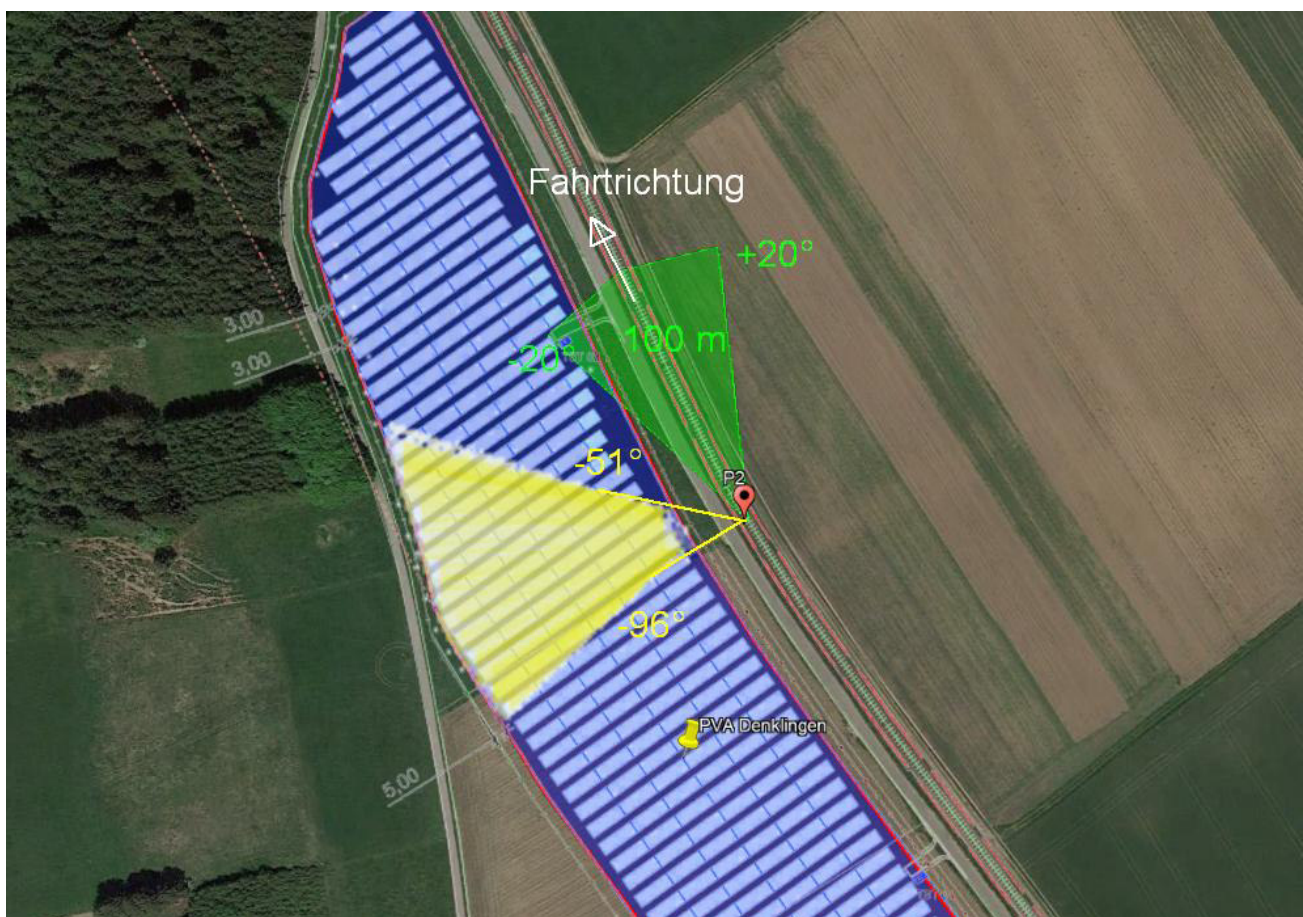


Bild 4.4.1: Situation am Messpunkt P3 (Quelle: Google Earth / SolPEG)

Der grün markierte Bereich ist der für Zugführer und auch für Fahrzeugführer relevante Sichtbereich. Im gelb/weiß markierten Bereich können theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Die Skizze verdeutlicht, dass Reflexionen nur außerhalb des für Zug- und Fahrzeugführer relevanten Blickwinkels auftreten können und daher zu vernachlässigen sind.

Die folgende Skizze (Pseudo 3D) zeigt die Situation am Messpunkt P2 in etwa aus der Perspektive des Zugführers und verdeutlicht, dass potentielle Reflexionen nur außerhalb des für Zugführer relevanten Blickwinkels auftreten können und daher zu vernachlässigen wären.

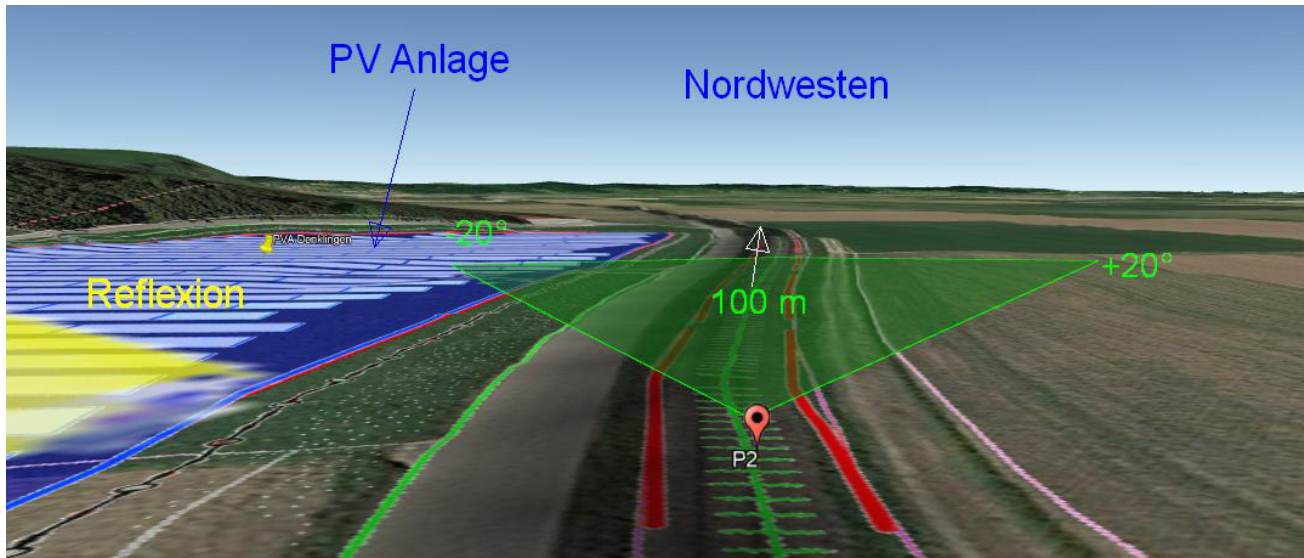


Bild 4.4.2: Situation am Messpunkt P2, Blick Richtung Nordwesten (Quelle: Google Earth / SolPEG)

4.4 Ergebnisse am Messpunkt P3, Bahnstecke mordöstlich

Auch am Messpunkt P3 auf der Bahnstrecke können bei der Fahrt Richtung Nordwesten in bestimmten Jahreszeiten theoretisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Aber auch hier liegen die Einfallswinkel mit ca. -46° bis -87° links (westlich) zur Fahrtrichtung deutlich außerhalb des für Zug- und Fahrzeugführer relevanten Blickwinkels. Eine Beeinträchtigung durch Reflexionen kann daher auch im Bereich von Messpunkt P3 mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Zur Veranschaulichung werden dennoch in der folgenden Skizze die potentiellen Reflexionen am Messpunkt P3 auf Basis der unbereinigten Rohdaten dargestellt.



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

4.5 Ergebnisse am Messpunkt P4, Gebäude westlich

Am Messpunkt P4 im Bereich der Gebäude westlich der PV Anlage können rein rechnerisch Reflexionen durch die PV Anlage auftreten. Nach Bereinigung der Rohdaten sind allerdings keine Reflexionen mehr nachweisbar. Das liegt überwiegend darin begründet, dass die Sonne in den betreffenden Zeiten dicht über dem Horizont steht und daher überwiegend selbst die Ursache für potentielle Blendwirkungen darstellt. Darüber hinaus ist ein ausgeprägter Sichtschutz durch Wald/Bäume vorhanden, sodass überwiegend kein direkter Sichtkontakt zur PV Anlage vorhanden ist. Die rechnerisch ermittelten Ergebnisse sind in der Realität nicht anwendbar bzw. müssen relativiert werden.

Aber insbesondere aufgrund der sehr großen Entfernung zur Immissionsquelle von ca. 350 m – 420 m sind Reflexionen zu vernachlässigen. Aufgrund der Bündelaufweitung der diffus reflektierten Lichtstrahlen und der daraus resultierenden geringeren Leuchtdichte wäre die PV Anlage - wenn überhaupt - lediglich als helle Fläche wahrnehmbar.

Eine Beeinträchtigung von Anwohnern durch die PV Anlage im Sinne der LAI Lichtleitlinie kann mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden.

Die folgende Skizze verdeutlicht die Situation am Messpunkt P4

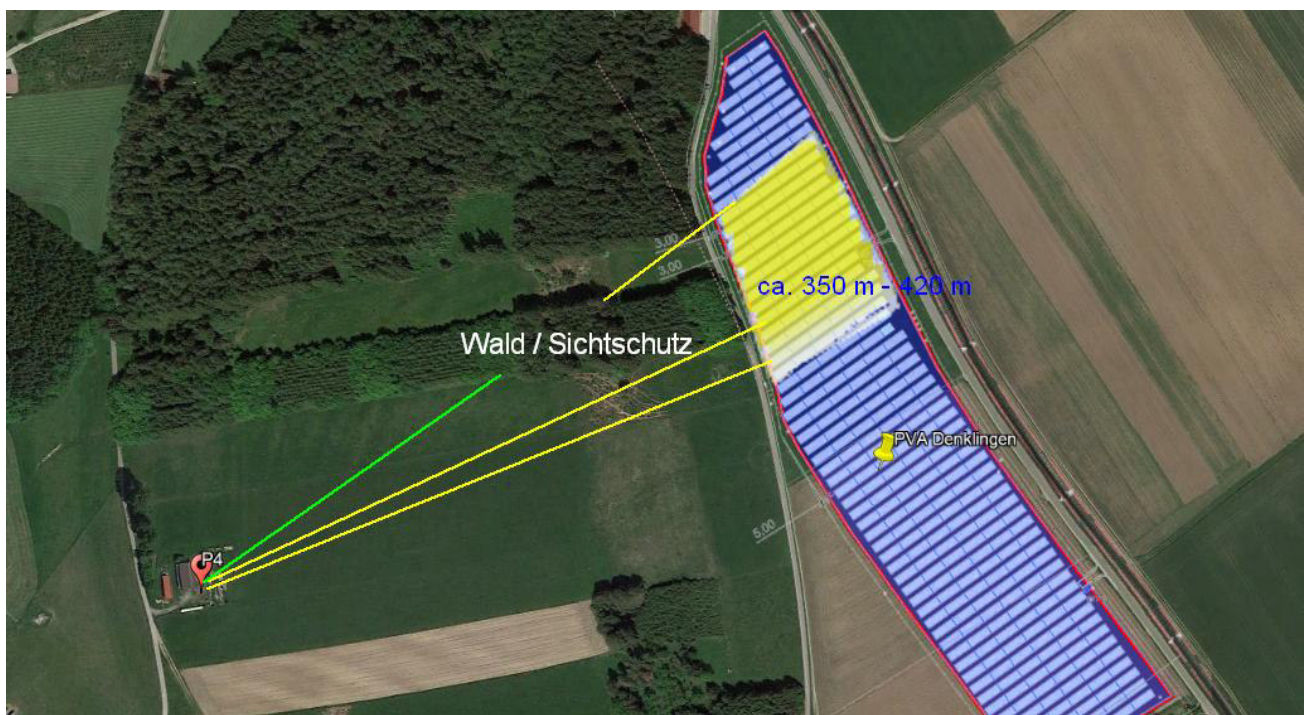


Bild 4.5.1: Situation am Messpunkt P34(Quelle: Google Earth / SolPEG)

Beispielhaft für die Simulationsergebnisse zeigen die folgenden Diagramme das Auftreten der Reflexionen im Tages- bzw. im Jahresverlauf am Messpunkt P4. Die jeweiligen Farben symbolisieren die Kategorie der potentiellen Blendwirkung in Bezug zur Leuchtdichte der Reflexionen. Wie bereits in Abschnitt 3.2 und 3.6 ausgeführt sind jeweils die theoretischen Maximalwerte dargestellt, die nicht ohne Einschränkungen verwendet werden können. Der Minutenwerte entsprechen den unbereinigten Rohdaten.

PV Feld - OP Receptor (OP 4)

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.
- 2,766 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.

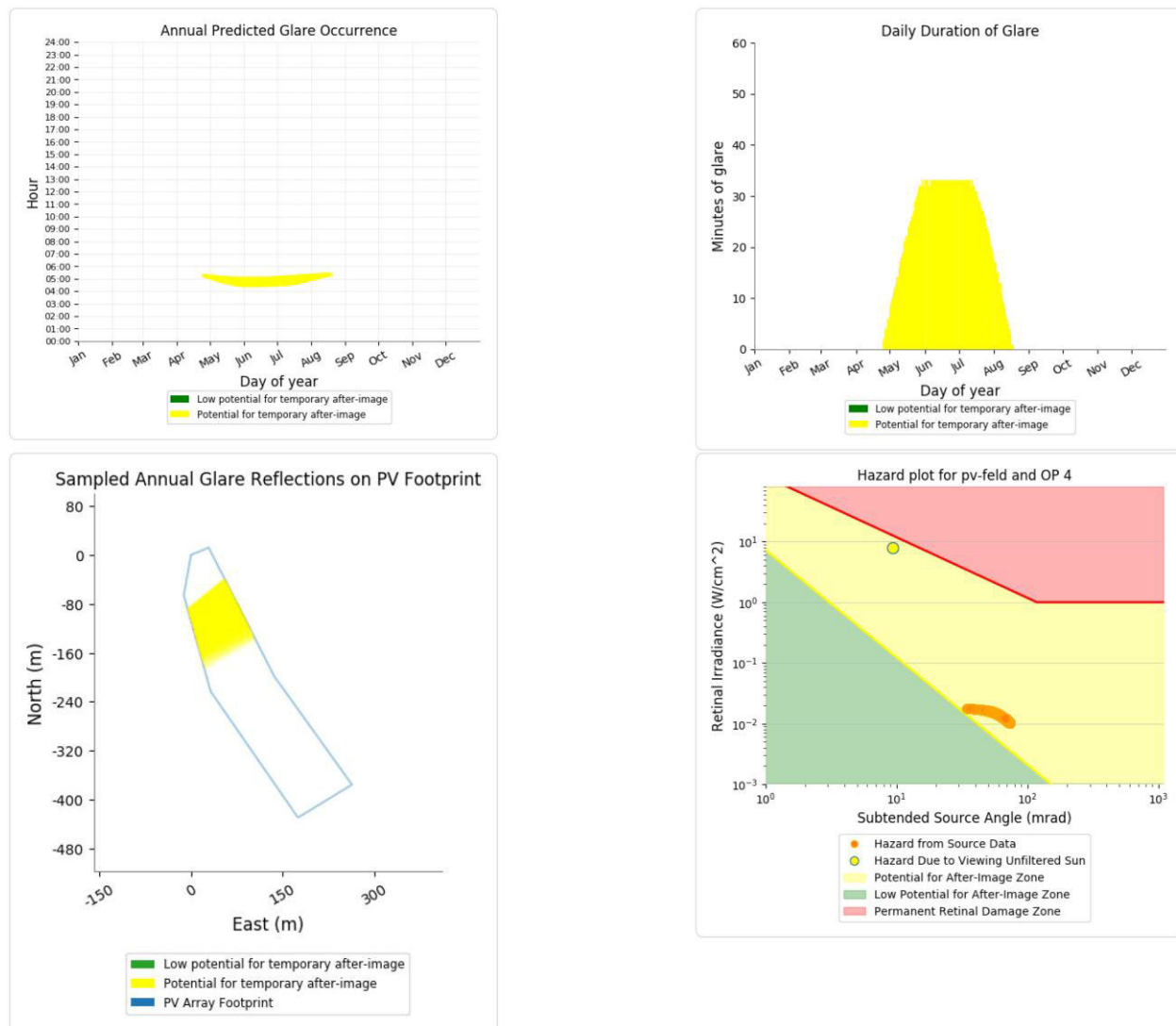


Bild 4.5.2: Situationsergebnisse für Messpunkt P4 (Quelle: Situationsergebnisse)

Weitere Details auch zu den anderen Messpunkten finden sich im Anhang.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die potentielle Blendwirkung der hier betrachteten PV Anlage „Denklingen“ kann als „geringfügig“ klassifiziert⁸ werden. Im Vergleich zur Blendwirkung durch direktes Sonnenlicht oder durch Spiegelungen von Windschutzscheiben, Wasserflächen, Gewächshäusern o.ä. ist diese „vernachlässigbar“. Unter Berücksichtigung von weiteren Einflussfaktoren wie z.B. Geländestruktur, lokalen Wetterbedingungen (Frühnebel, etc.) kann die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Reflexion durch die PV Anlage als gering eingestuft werden.

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

Die Analyse von 4 exemplarisch gewählten Messpunkten zeigt nur eine geringfügige, theoretische Wahrscheinlichkeit für Reflexionen. Zugführer auf der stillgelegten Bahnstrecke der Fuchstalbahn werden nicht durch potentielle Reflexionen durch die PV Anlage beeinträchtigt da die Einfallswinkel deutlich außerhalb des für Zugführer relevanten Sichtwinkels liegen. Die Sichtbarkeit von evt. vorhandenen DB Signalanlagen ist nicht beeinträchtigt. Die Ergebnisse sind gleichermaßen auch für den parallel zur Bahnstrecke verlaufenden Buchweg anwendbar.

Für die westlich der PV Anlage gelegenen Gebäude besteht aufgrund der örtlichen Gegebenheiten überwiegend keine Sichtverbindung zur Immissionsquelle. Eine Beeinträchtigung für Anwohner bzw. für schutzwürdige Räume im Sinne der LAI Lichtleitlinie ist auch aufgrund der großen Entfernung nicht gegeben. Weitere Gebäude in der Umgebung wurden nicht analysiert da aufgrund der Lage und/oder Entfernung nicht mit Reflexionen durch die PV Anlage zu rechnen ist.

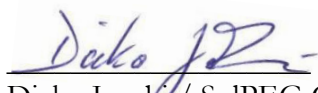
Es ist davon auszugehen, dass die theoretisch berechneten Reflexionen in der Praxis keine Blendwirkung entwickeln werden. Details zu den Ergebnissen an den jeweiligen Messpunkten finden sich in Abschnitt 4.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse sind keine speziellen Sichtschutzmaßnahmen erforderlich bzw. angeraten und es bestehen keine Einwände gegen das Bauvorhaben.

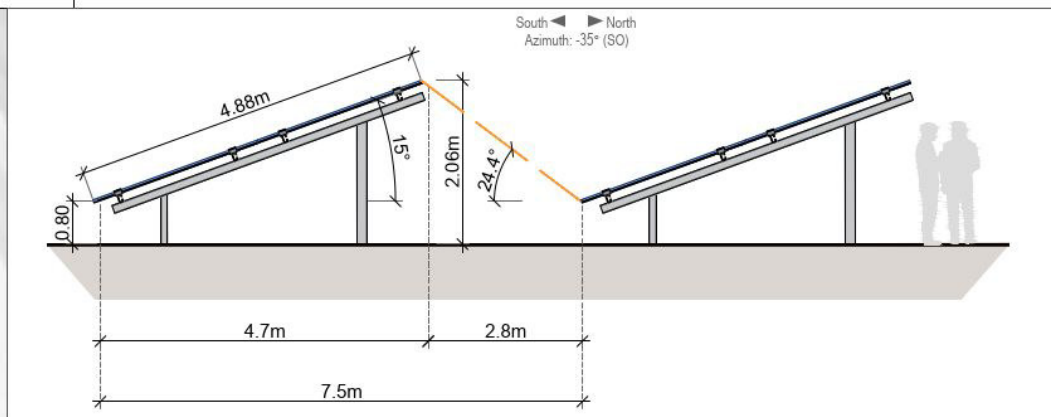
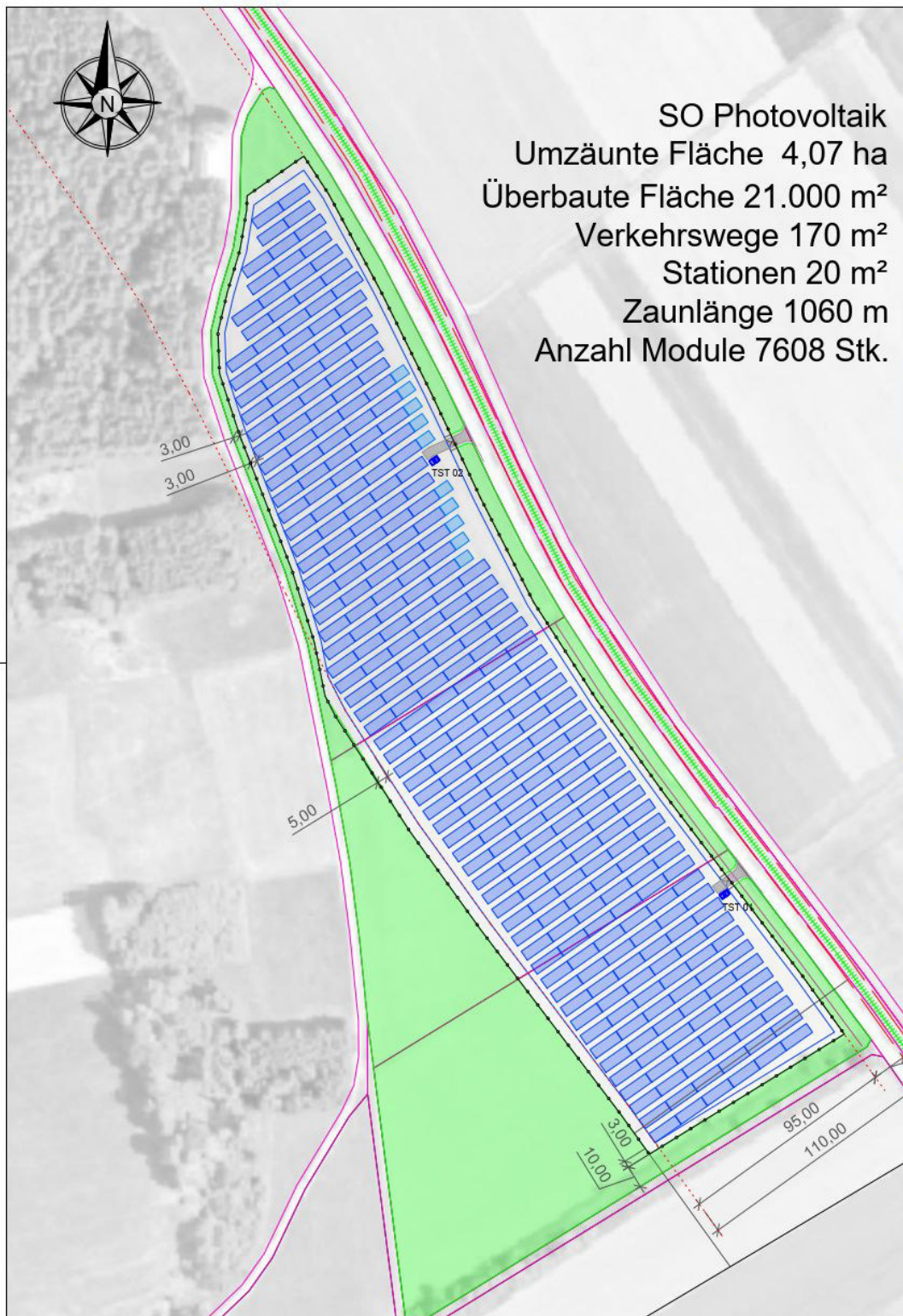
6 Schlussbemerkung

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 03.02.2022


Dieko Jacobi / SolPEG GmbH

⁸ Die Klassifizierung entspricht den Wertebereichen der Simulationsergebnisse



Legend	
	Zaun
	Zugangstor
	Baugrenze / PV Feld
	Unterkonstruktion 2V12
	Unterkonstruktion 2V6
	Transformator Station
	Interne Baustraße (4m)
	Eisenbahnstrecke
	Gleisbettbegrenzung
	EEG Bezugslinien
	Grünflächen
	ALKIS Katasterauszug

Plannummer / Drawing number	Planname / Drawing name	Quadratformat / Plot format
8001	Belegungsplan	A3
Projektname & Nummer / Project name & number		
Denklingen		
DE 100089		
Standort / Location (WGS84) / Coordinates	Datum / Date	Version / Revision
47.908°N 10.869°E	30.11.2021	Rev 0.1
Zeichnungsname (sheet title) / Drawing name (sheet title)		
8001_lay_Belegungsplan_Südost_Denklingen		
Leistungen / Contents		Maßstab / Scale
4.488 kWp / Azimut -35° (SO) 20.500 m ² Grundfläche 7.608 Module / Hanwha Q.Peak-Duo-XL-G11.7-590		1:2000
Logo of bejulo sense of energy		Leers
bejulo GmbH Dekan-Lair-Str. 15 a 55129 Mainz 09131 2151400 info@bejulo.de		

Q.PEAK DUO XL-G11.3

570-590

ENDURING HIGH
PERFORMANCE



BREAKING THE 21% EFFICIENCY BARRIER

Q.ANTUM DUO Z Technology with zero gap cell layout boosts module efficiency up to 21.7%.



LOW ELECTRICITY GENERATION COSTS

Higher yield per surface area, lower BOS costs and up to 175 watts more module power than standard 144 half-cell modules.



ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti LID Technology, Anti PID Technology¹, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminium alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty².



STATE OF THE ART MODULE TECHNOLOGY

Q.ANTUM DUO combines cutting edge cell separation and innovative 12-busbar design with Q.ANTUM Technology.

¹ APT test conditions according to IEC / TS 62804-1:2015, method A (~1500 V, 96 h)

² See data sheet on rear for further information.

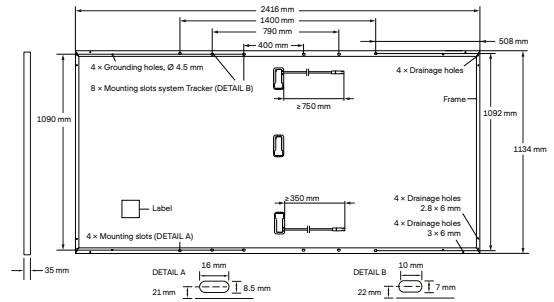
THE IDEAL SOLUTION FOR:



Ground-mounted
solar power plants

MECHANICAL SPECIFICATION

Format	2416 mm × 1134 mm × 35 mm (including frame)
Weight	30.7 kg
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 26 monocrystalline Q.ANTUM solar half cells
Junction box	53-101 mm × 32-60 mm × 15-18 mm Protection class IP67, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ≥ 750 mm, (–) ≥ 350 mm
Connector	Stäubli MC4-Evo2, Hanwha Q CELLS HQC4; IP68



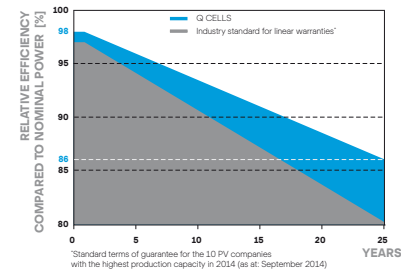
Drawing not to scale

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS		570	575	580	585	590
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5 W / –0 W)						
Minimum	Power at MPP ¹	P _{MPP} [W]	570	575	580	585
	Short Circuit Current ¹	I _{SC} [A]	13.49	13.51	13.54	13.57
	Open Circuit Voltage ¹	V _{OC} [V]	53.59	53.62	53.64	53.70
	Current at MPP	I _{MPP} [A]	12.82	12.87	12.92	12.97
	Voltage at MPP	V _{MPP} [V]	44.46	44.68	44.90	45.12
	Efficiency ¹	η [%]	≥ 20.8	≥ 21.0	≥ 21.2	≥ 21.4
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NMOT ²						
Minimum	Power at MPP	P _{MPP} [W]	427.6	431.4	435.1	438.9
	Short Circuit Current	I _{SC} [A]	10.87	10.89	10.91	10.93
	Open Circuit Voltage	V _{OC} [V]	50.54	50.56	50.59	50.62
	Current at MPP	I _{MPP} [A]	10.09	10.13	10.17	10.22
	Voltage at MPP	V _{MPP} [V]	42.39	42.58	42.77	42.96

¹Measurement tolerances P_{MPP} ± 3%; I_{SC}; V_{OC} ± 5% at STC: 1000 W/m², 25 ± 2°C, AM 1.5 according to IEC 60904-3 • ²800 W/m², NMOT, spectrum AM 1.5

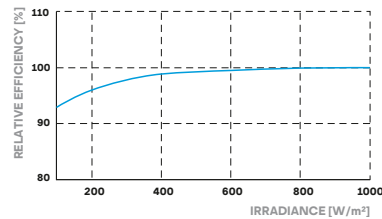
Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 98% of nominal power during first year. Thereafter max. 0.5% degradation per year. At least 93.5% of nominal power up to 10 years. At least 86% of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. Full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organisation of your respective country.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25°C, 1000 W/m²).

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of I _{SC}	α	[%/K]	+0.04	Temperature Coefficient of V _{OC}	β	[%/K]	–0.27
Temperature Coefficient of P _{MPP}	γ	[%/K]	–0.34	Nominal Module Operating Temperature	NMOT	[°C]	43 ± 3

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	V _{SYS}	[V]	1500	PV module classification	Class II
Maximum Reverse Current	I _R	[A]	25	Fire Rating	C
Max. Design Load, Push/Pull		[Pa]	3600/1600	Permitted Module Temperature on Continuous Duty	−40°C - +85°C
Max. Test Load, Push/Pull		[Pa]	5400/2400		

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215:2016, IEC 61730:2016.
This data sheet complies with DIN EN 50380.



PACKAGING INFORMATION

Vertical packaging	2458 mm	1134 mm	1270 mm	1000 kg	20 pallets	16 pallets	31 modules
--------------------	---------	---------	---------	---------	------------	------------	------------

Note: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS GmbH

Sonnenallee 17-21, 06766 Bitterfeld-Wolfen, Germany | **TEL** +49 (0)3494 66 99-23444 | **FAX** +49 (0)3494 66 99-23000 | **EMAIL** sales@q-cells.com | **WEB** www.q-cells.com

Engineered in Germany



Solarpark

Denklingen

Created Feb. 2, 2022
Updated Feb. 3, 2022
Time-step 1 minute
Timezone offset UTC+1
Site ID 64386.11193

Project type Advanced
Project status: active
Category 1 MW to 5 MW



Misc. Analysis Settings

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

Analysis Methodologies:

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

Summary of Results

Glare with potential for temporary after-image predicted

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced
	deg	deg	min	min	kWh
PV Feld	15.0	145.0	0	21,265	-

Component Data

PV Array(s)

Total PV footprint area: 41,803 m²

Name: PV Feld
Axis tracking: Fixed (no rotation)
Tilt: 15.0 deg
Orientation: 145.0 deg
Footprint area: 41,803 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	47.906137	10.867685	689.92	1.50	691.42
2	47.906248	10.868072	689.17	1.50	690.67
3	47.904354	10.869507	691.36	1.50	692.86
4	47.902759	10.871209	694.22	1.50	695.72
5	47.902272	10.870027	694.94	1.50	696.44
6	47.904128	10.868117	692.82	1.50	694.32
7	47.905545	10.867527	691.82	1.50	693.32

Discrete Observation Receptors

Number	Latitude	Longitude	Ground elevation	Height above ground	Total Elevation
	deg	deg	m	m	m
OP 1	47.901985	10.872248	695.27	2.00	697.27
OP 2	47.904444	10.869630	691.38	2.00	693.38
OP 3	47.905955	10.868364	689.68	2.00	691.68
OP 4	47.903351	10.863697	719.97	2.00	721.97

Summary of PV Glare Analysis

PV configuration and total predicted glare

PV Name	Tilt	Orientation	"Green" Glare	"Yellow" Glare	Energy Produced	Data File
	deg	deg	min	min	kWh	
PV Feld	15.0	145.0	0	21,265	-	

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)	816	767	812	794	1469	1765	1698	964	778	835	822	729

PV & Receptor Analysis Results

Results for each PV array and receptor

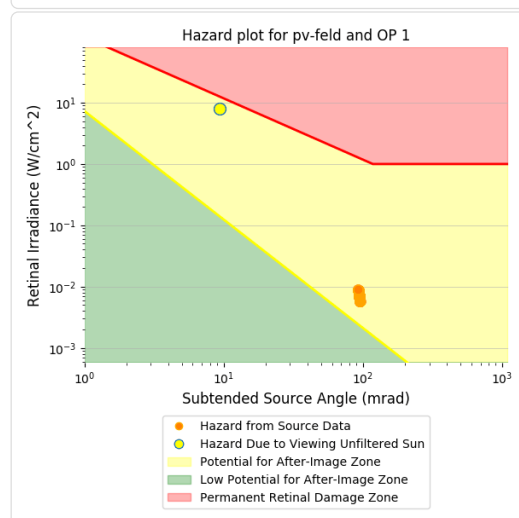
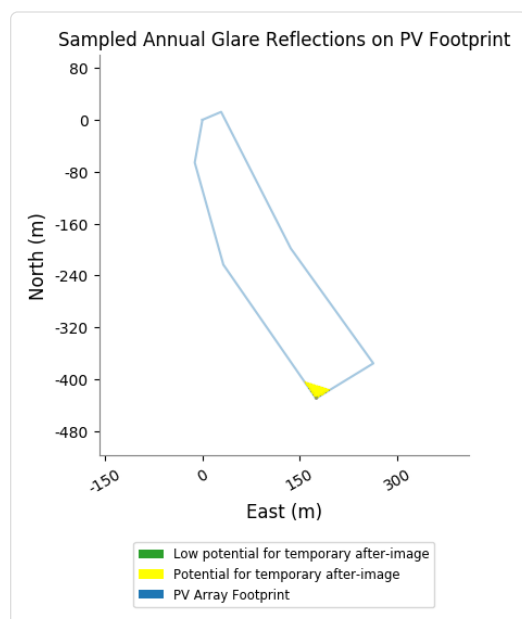
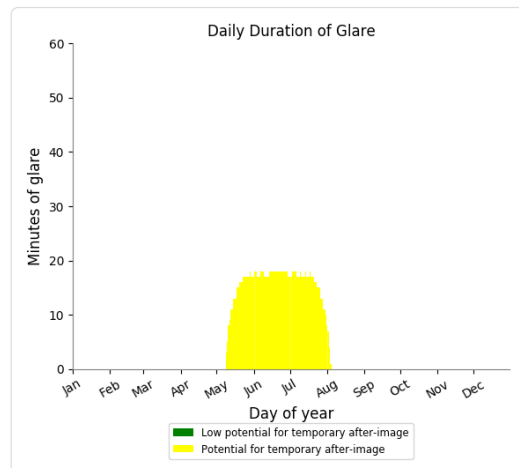
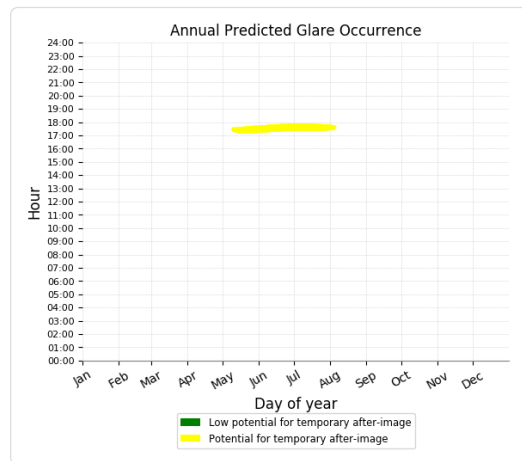
PV Feld potential temporary after-image

Component	Green glare (min)	Yellow glare (min)
OP: OP 1	0	1368
OP: OP 2	0	7662
OP: OP 3	0	9469
OP: OP 4	0	2766

PV Feld - OP Receptor (OP 1)

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

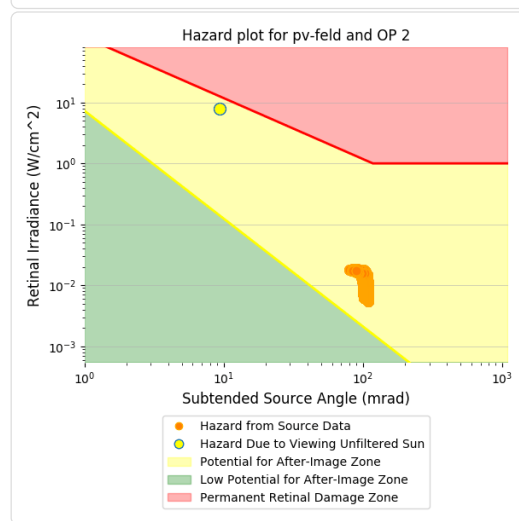
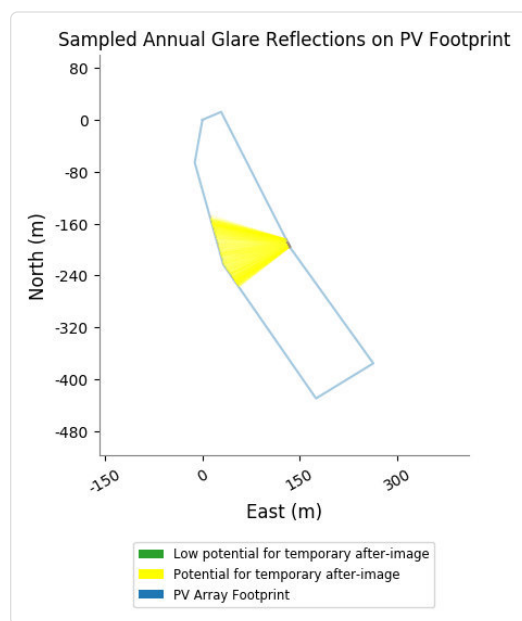
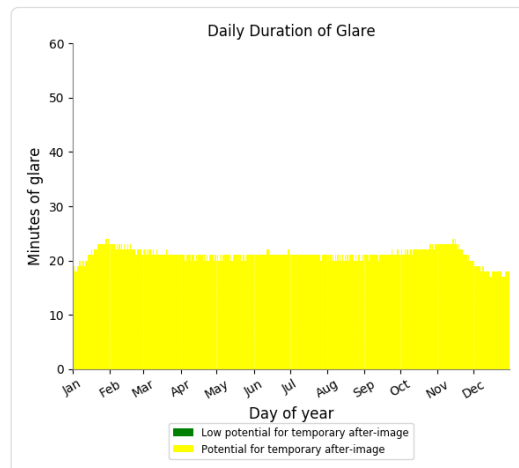
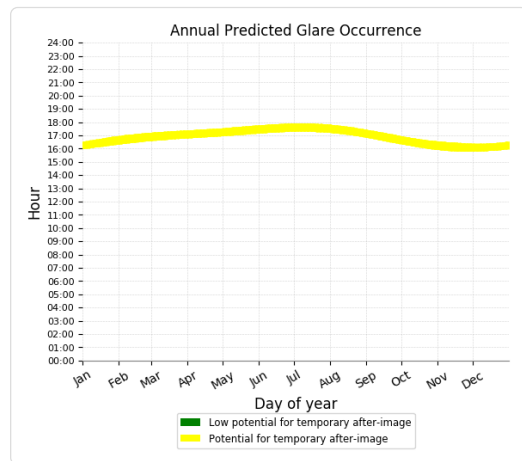
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 1,368 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 2)

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

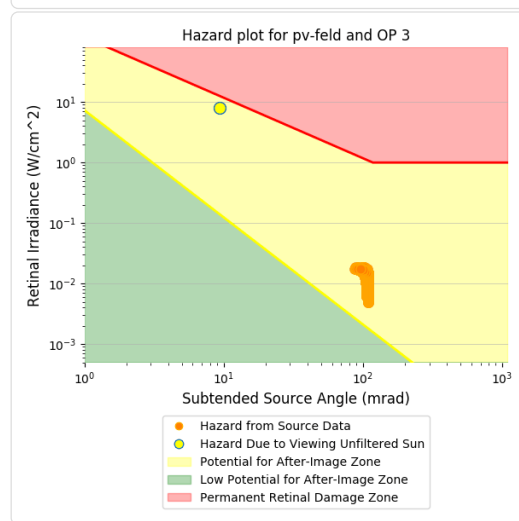
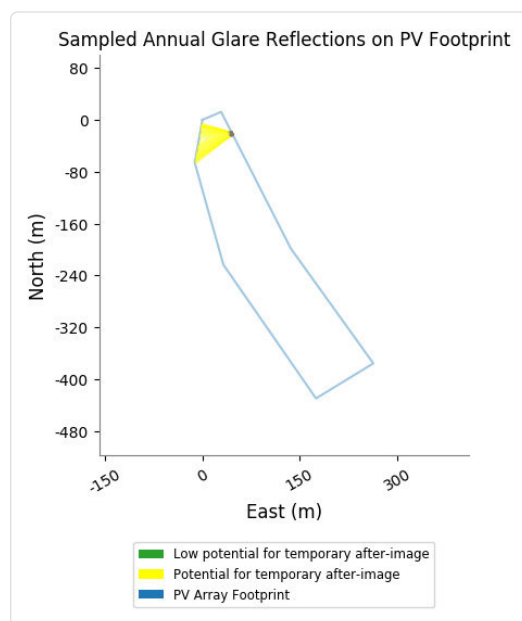
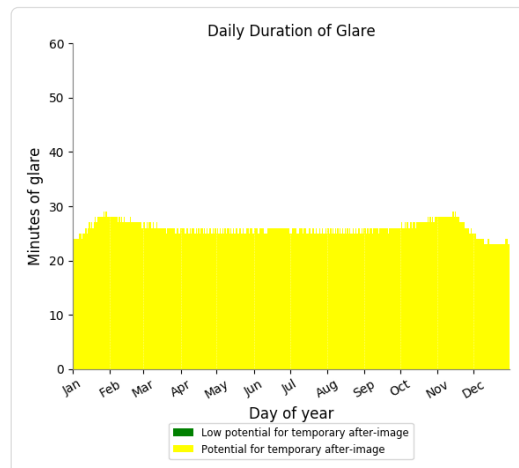
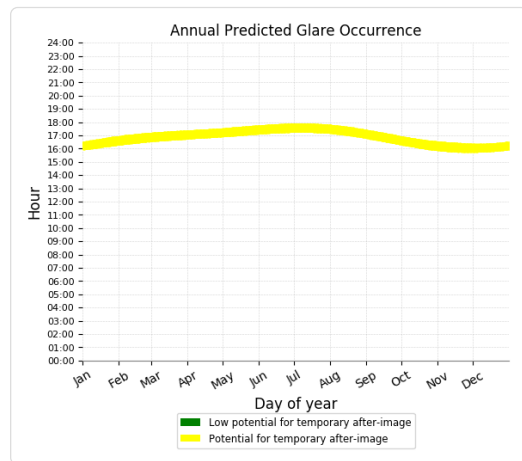
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 7,662 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 3)

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

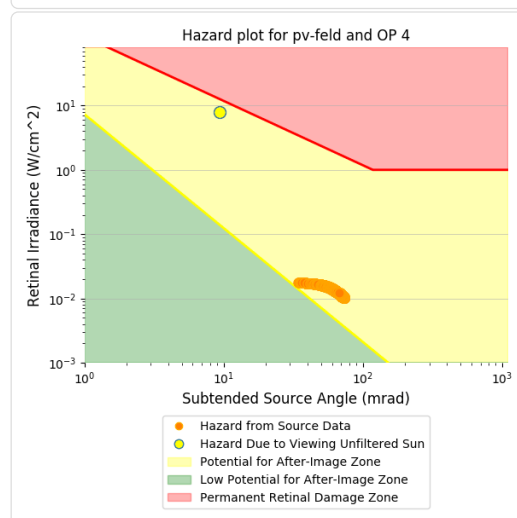
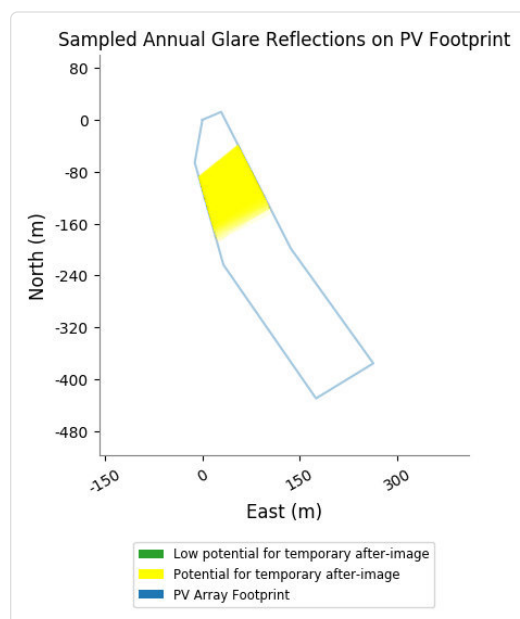
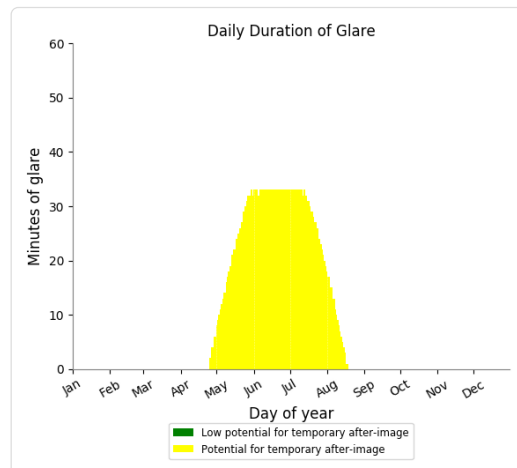
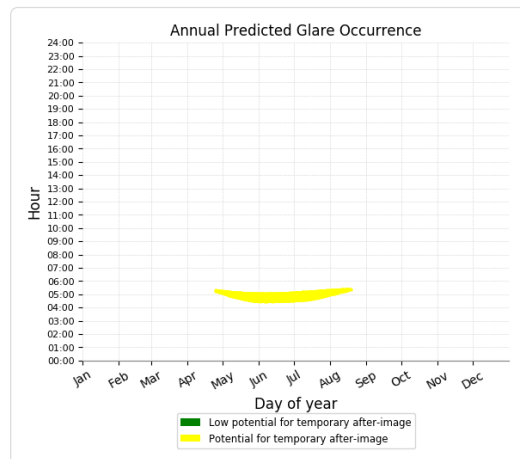
- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 9,469 minutes of "yellow" glare with potential to cause temporary after-image.



PV Feld - OP Receptor (OP 4)

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

- 0 minutes of "green" glare with low potential to cause temporary after-image.
- 2,766 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.

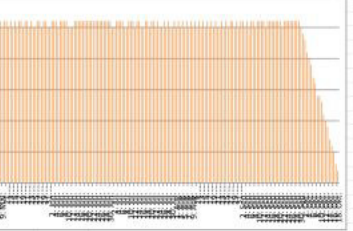
	Corneal Irradiance (W/m²)	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	Tag	Anzahl Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 1
2022-05-09 17:27:00	0,011197	755,6129	2	0,198886	0,008524	0,092952	273,5	20,3	-0,936	0,057	0,348	0,991	-0,136	0,009		9. Mai.	3	17:27	17:29	10.05.2022	02.08.2022	18	1360	17:19	17:47	
2022-05-09 17:28:00	0,011387	754,1223	2	0,203084	0,008686	0,092814	273,7	20,2	-0,937	0,06	0,345	0,991	-0,137	0,005		10. Mai.	5	17:25	17:29							
2022-05-09 17:29:00	0,011578	752,6278	2	0,207368	0,008852	0,092673	273,9	20	-0,937	0,064	0,342	0,99	-0,139	0,001		11. Mai.	8	17:23	17:30							
2022-05-10 17:25:00	0,010687	759,5548	2	0,187767	0,008089	0,093314	273,4	20,9	-0,933	0,055	0,356	0,99	-0,137	0,019		12. Mai.	9	17:22	17:30							
2022-05-10 17:26:00	0,010869	758,0779	2	0,19173	0,008244	0,093186	273,5	20,7	-0,934	0,058	0,354	0,99	-0,138	0,015		13. Mai.	11	17:21	17:31							
2022-05-10 17:27:00	0,011054	756,5972	2	0,195775	0,008401	0,093055	273,7	20,5	-0,934	0,061	0,351	0,99	-0,14	0,011		14. Mai.	11	17:21	17:31							
2022-05-10 17:28:00	0,011241	755,1125	2	0,199903	0,008562	0,09292	273,9	20,4	-0,935	0,064	0,348	0,99	-0,142	0,007		15. Mai.	13	17:20	17:32							
2022-05-10 17:29:00	0,011431	753,6239	2	0,204116	0,008725	0,092782	274,1	20,2	-0,936	0,067	0,345	0,99	-0,143	0,003		16. Mai.	13	17:20	17:32							
2022-05-11 17:23:00	0,010212	764,4886	2	0,177331	0,007689	0,09365	273,2	21,4	-0,93	0,052	0,365	0,99	-0,138	0,028		17. Mai.	13	17:20	17:32							
2022-05-11 17:24:00	0,010388	763,0315	2	0,181075	0,007837	0,093531	273,4	21,2	-0,931	0,055	0,362	0,99	-0,14	0,024		18. Mai.	15	17:19	17:33							
2022-05-11 17:25:00	0,010567	761,5705	2	0,184896	0,007987	0,093408	273,6	21,1	-0,931	0,058	0,359	0,99	-0,141	0,02		19. Mai.	15	17:19	17:33							
2022-05-11 17:26:00	0,010748	760,1056	2	0,188795	0,008139	0,093282	273,7	20,9	-0,932	0,061	0,357	0,99	-0,143	0,017		20. Mai.	16	17:19	17:34							
2022-05-11 17:27:00	0,010931	758,6368	2	0,192775	0,008295	0,093153	273,9	20,7	-0,933	0,064	0,354	0,989	-0,144	0,013		21. Mai.	16	17:19	17:34							
2022-05-11 17:28:00	0,011117	757,1642	2	0,196835	0,008453	0,093021	274,1	20,6	-0,934	0,067	0,351	0,989	-0,146	0,009		22. Mai.	16	17:19	17:34							
2022-05-11 17:29:00	0,011304	755,6877	2	0,200979	0,008614	0,092885	274,3	20,4	-0,935	0,07	0,348	0,989	-0,147	0,005		23. Mai.	17	17:19	17:35							
2022-05-11 17:30:00	0,011495	754,2074	2	0,205207	0,008778	0,092746	274,5	20,2	-0,936	0,073	0,346	0,989	-0,149													

	Cornell Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradance	Subtended Glare Angle	Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	Tag	Anzahl Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 2
2022-01-01 16:08:00	0,02369	601,5393	2	0,413306	0,014101	0,10776	230,6	2,6	-0,772	-0,634	0,046	0,791	0,607	0,078		26. Feb.	2	16:43	16:44	01.03.2022	12.10.2022	22	4509	16:18	17:47	
2022-01-01 16:09:00	0,023918	598,3002	2	0,420952	0,014285	0,107571	230,8	2,5	-0,774	-0,632	0,044	0,792	0,606	0,075		27. Feb.	3	16:44	16:46							
2022-01-01 16:10:00	0,024126	595,0513	2	0,428753	0,01447	0,107328	231	2,4	-0,776	-0,629	0,041	0,794	0,604	0,071		28. Feb.	4	16:45	16:48							Potentielle Reflexionen am Messpunkt OP 2:
2022-01-01 16:11:00	0,024304	591,7926	2	0,436711	0,014658	0,107013	231,2	2,2	-0,778	-0,627	0,039	0,795	0,603	0,067		1. Mrz.	6	16:45	16:50							4509 Minuten pro Jahr (Summe gesamt)
2022-01-01 16:12:00	0,024434	588,5242	2	0,444829	0,014848	0,106584	231,4	2,1	-0,781	-0,624	0,037	0,796	0,602	0,064		2. Mrz.	7	16:46	16:52							2550 Minuten pro Jahr mit Sichtschutz durch Blattwerk (Juni-September)
2022-01-01 16:13:00	0,024487	585,2462	2	0,453112	0,015041	0,105969	231,6	2	-0,783	-0,621	0,035	0,797	0,601	0,06		3. Mrz.	8	16:47	16:54							1959 Minuten pro Jahr ohne Sichtschutz durch Blattwerk (Oktober-Mai)
2022-01-01 16:14:00	0,024394	581,9586	2	0,461562	0,015235	0,10501	231,7	1,9	-0,785	-0,619	0,032	0,798	0,599	0,056		4. Mrz.	10	16:46	16:55							22 Minuten pro Tag (Max)
2022-01-01 16:15:00	0,024006	578,6615	2	0,470183	0,015432	0,103324	231,9	1,7	-0,787	-0,616	0,03	0,8	0,598	0,053		5. Mrz.	10	16:47	16:56							
2022-01-01 16:16:00	0,022865	575,3549	2	0,478978	0,015631	0,099653	232,1	1,6	-0,789	-0,614	0,028	0,801	0,597	0,049		6. Mrz.	12	16:47	16:58							Parameter für Daten Bereinigung (Datensatz mit 7663 Einträgen):
2022-01-01 16:17:00	0,021168	572,0388	2	0,487952	0,015832	0,094078	232,3	1,5	-0,791	-0,611	0,025	0,802	0,596	0,045		7. Mrz.	13	16:48	17:00							1.: Zeitraum zwischen 06:00 - 22:00 Uhr (bzw. Sonnensuntergang)
2022-01-01 16:18:00	0,021048	568,7134	2	0,497108	0,016035	0,092903	232,5	1,3	-0,793	-0,609	0,023	0,803	0,594	0,042		8. Mrz.	14	16:48	17:01							2.: Sonnenstand über Horizont ist min. 10° (Standard: min. 10°)
2022-01-01 16:19:00	0,020999	565,3786	2	0,506449	0,01624	0,091935	232,7	1,2	-0,795	-0,606	0,021	0,804	0,593	0,038		9. Mrz.	16	16:48	17:03							3.: Dauer der Reflexion ist min. 5 Minuten pro Tag (Standard: min. 5 Minuten)
2022-01-01 16:20:00	0,021154	562,0346	2	0,515198	0,016448	0,091587	232,9	1,1	-0,797	-0,604	0,018	0,805	0,592	0,035		10. Mrz.	17	16:49	17:05							
2022-01-01 16:21:00	0,020861	558,6814	2	0,525705	0,016658	0,089853	233,1	0,9	-0,799	-0,601	0,016	0,806	0,591	0,031		11. Mrz.	18	16:50	17:07							
2022-01-01 16:22:00	0,020731	555,319	2	0,535628	0,016871	0,088607	233,2	0,8	-0,801	-0,598	0,014	0,807	0,589	0,027		12. Mrz.	20	16:49	17:08							
2022-01-01 16:23:00	0,02053	551,9475	2	0,545753	0,017085	0,087121	233,4	0,7	-0,803	-0,596	0,011	0,808	0,588	0,024		13. Mrz.	21	16:50	17:10							
2022-01-01 16:24:00	0,020234	548,5669	2	0,556084	0,017302	0,08529	233,6	0,5	-0,805	-0,593	0,009	0,809	0,587	0,02		14. Mrz.	21	16:51	17:11							
2022-01-01 16:25:00	0,020204	545,1774	2	0,566626	0,017521	0,084335	233,8	0,4	-0,807	-0,591	0,007	0,81	0,586	0,016		15. Mrz.	21	16:51	17:11							
2022-01-01 16:26:00	0,019107	541,7789	2	0,577383	0,017742	0,079583	234	0,2	-0,809	-0,588	0,004	0,811	0,584	0,013		16. Mrz.	21	16:51	17:11							
2022-01-02 16:08:00	0,023745	605,9514	2	0,411012	0,014126	0,107794	230,6	2,7	-0,772	-0,633	0,047	0,792	0,606	0,079		17. Mrz.	21	16:52	17:12							
2022-01-02 16:09:00	0,023981	602,7388	2	0,418621	0,014311	0,107616	230,8	2,6	-0,775	-0,631	0,045	0,793	0,605	0,075		18. Mrz.	21	16:52	17:12							
2022-01-02 16:10:00	0,024196	599,5164	2	0,426384	0,014499	0,107384	231	2,4	-0,777	-0,628	0,043	0,794	0,603	0,071		19. Mrz.	21	16:53	17:13							
2022-01-02 16:11:00	0,024383	596,2843	2	0,434303	0,014688	0,107084	231,2	2,3	-0,779	-0,626	0,04	0,796	0,602	0,068		20. Mrz.	22	16:52	17:13							
2022-01-02 16:12:00	0,024527	593,0425	2	0,442382	0,01488	0,106679	231,4	2,2	-0,781	-0,623	0,038	0,797	0,601	0,064		21. Mrz.	21	16:53	17:13							
2022-01-02 16:13:00	0,0246	589,791	2	0,450624	0,015074	0,106105	231,6	2	-0,783	-0,621	0,036	0,798	0,6	0,061		22. Mrz.	21	16:54	17:14							
2022-01-02 16:14:00	0,024542	586,5299	2	0,459034	0,015271	0,105223	231,8	1,9	-0,785	-0,618	0,033	0,799	0,598	0,057		23. Mrz.	21	16:53	17:13							
2022-01-02 16:15:00	0,024223	583,2593	2	0,467613	0,015469	0,103709	232	1,8	-0,787	-0,616	0,031	0,8	0,597	0,053		24. Mrz.	21	16:54	17:14							
2022-01-02 16:16:00	0,023269	579,9793	2	0,476366	0,01567	0,100556	232,2	1,7	-0,789	-0,613	0,029	0,802	0,596	0,05		25. Mrz.	21	16:55	17:15							
2022-01-02 16:17:00	0,02134	576,6897	2	0,485296	0,015873	0,094421	232,4	1,5	-0,791	-0,611	0,027	0,803	0,595	0,046		26. Mrz.	21	16:54	17:14							
2022-01-02 16:18:00	0,02119	573,3909	2	0,494408	0,016079	0,093158	232,5	1,4	-0,794	-0,608	0,024	0,804	0,593	0,042		27. Mrz.	21	16:55	17:15							
2022-01-02 16:19:00	0,021141	570,0827	2	0,503705	0,016287	0,092183	232,7	1,3	-0,796	-0,605	0,022	0,805	0,592	0,039		28. Mrz.	21	16:56	17:16							
2022-01-02 16:20:00	0,021399	566,7662	2	0,513119	0,016497	0,092139	232,9	1,1	-0,798	-0,603	0,02	0,806	0,591	0,035		29. Mrz.	21	16:55	17:15							
2022-01-02 16:21:00	0,021026	563,4385	2	0,522869	0,016709	0,090168	233,1	1	-0,8	-0,6	0,017	0,807	0,59	0,031		30. Mrz.	21	16:56	17:16							
2022-01-02 16:22:00	0,020939	560,1026	2	0,532744	0,016924	0,089059	233,3	0,9	-0,802	-0,598	0,015	0,808	0,588	0,028		31. Mrz.	21	16:56	17:16							
2022-01-02 16:23:00	0,020737	556,7577	2	0,542821	0,017141	0,087571	233,5	0,7	-0,804	-0,595	0,013	0,809	0,587	0,024		1. Apr.	21	16:56	17:16							
2022-01-02 16:24:00	0,020472	553,4037	2	0,553103	0,017361	0,085854	233,7	0,6	-0,806	-0,593	0,01	0,81	0,586	0,02		2. Apr.	21	16:57	17:17							
2022-01-02 16:25:00	0,020615	550,0406	2	0,563595	0,017583	0,085464	233,8	0,4	-0,807	-0,59	0,008	0,811	0,584	0,017		3. Apr.	21	16:57	17:17							
2022-01-02 16:26:00	0,01947	546,6687	2	0,5743	0,017807	0,080654	234	0,3	-0,809	-0,587	0,005	0,812	0,583	0,013		4. Apr.	21	16:57	17:17							
2022-01-03 16:10:00	0,023786	600,945	2	0,41611	0,014183	0,107662	230,9	2,6	-0,775	-0,63	0,046	0,794	0,603	0,076		5. Apr.	20	16:58	17:17							
2022-01-03 16:11:00	0,024003	597,7172	2	0,423831	0,014368	0,107441	231,1	2,5	-0,777	-0,628	0,044	0,795	0,602	0,072		6. Apr.	21	16:58	17:18							
2022-01-03 16:12:00	0,024196	594,4797	2	0,431709	0,014556	0,107157	231,3	2,4	-0,779	-0,625	0,042	0,796	0,601	0,069		7. Apr.	21	16:59	17:19							
2022-01-03 16:13:00	0,024348	591,2325	2	0,439745	0,014746	0,106777	231,5	2,3	-0,782	-0,623	0,039	0,798	0,6	0,065		8. Apr.	21	16:58	17:18							
2022-01-03 16:14:00	0,024436	587,9757	2	0,447944	0,014938	0,106242	231,6	2,1	-0,784	-0,62	0,037	0,799	0,599	0,061		9. Apr.	21	16:59	17:19							
2022-01-03 16:15:00	0,024409	584,7093	2	0,456309	0,015133	0,105435	231,8	2	-0,786	-0,618	0,035	0,8	0,597	0,058		10. Apr.	20	17:00	17:19							
2022-01-03 16:16:00	0,024156	581,4334	2	0,464843	0,01533	0,104079	232	1,9	-0,788	-0,615	0,032	0,801	0,596	0,054		11. Apr.	21	16:59	17:19							
2022-01-03 16:17:00	0,023375	578,1481	2	0,473551	0,015528	0,101375	232,2	1,7	-0,79	-0,612	0,03	0,802	0,595	0,05		12. Apr.	21	17:00	17:20							
2022-01-03 16:18:00	0,021287	574,8533	2	0,482435	0,015173	0,09484	232,4	1,6	-0,792	-0,61	0,028	0,803	0,594	0,047		13. Apr.	20	17:01	17:20							
2022-01-03 16:19:00	0,021087	571,5492	2	0,491499	0,015933	0,093428	232,6	1,5	-0,794	-0,607	0,025	0,805	0,592	0,043		14. Apr.	21	17:01	17:21							
2022-01-03 16:20:00	0,021034	568,2359	2	0,500747	0,016139	0,092445	232,8	1,3	-0,796	-0,605	0,023	0,806	0,591	0,039		15. Apr.										

	Cornell Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Azimuth	Sun Altitude	Sun Position	Sun Position	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	Reflected Sun Vector	S	Tag	Anzahl Minuten	Anfang	Ende	Zeitraum Start	Zeitraum Ende	Minuten pro Tag	Minuten im Zeitraum	Erste Zeit	Letzte Zeit	Messpunkt OP 3
2022-01-01 16:03:00	0,022922	617,5859	2	0,377275	0,013215	0,109553	229,6	3,3	-0,761	-0,646	0,057	0,784	0,613	0,096	22. Feb.	1	16:37	16:37	25.02.2022	16.10.2022	26	5652	16:09	17:47	
2022-01-01 16:04:00	0,023203	614,3966	2	0,384198	0,013388	0,109507	229,8	3,1	-0,763	-0,644	0,055	0,786	0,612	0,093	23. Feb.	3	16:37	16:39							
2022-01-01 16:05:00	0,023484	611,1972	2	0,391259	0,013563	0,109455	230	3	-0,765	-0,642	0,053	0,787	0,61	0,089	24. Feb.	4	16:38	16:41							
2022-01-01 16:06:00	0,023765	607,9879	2	0,398462	0,013741	0,109394	230,2	2,9	-0,768	-0,639	0,05	0,788	0,609	0,085	25. Feb.	5	16:39	16:43							
2022-01-01 16:07:00	0,024043	604,7685	2	0,40581	0,01392	0,109319	230,4	2,8	-0,77	-0,637	0,048	0,79	0,608	0,082	26. Feb.	7	16:38	16:44							
2022-01-01 16:08:00	0,024317	601,5393	2	0,413306	0,014101	0,109228	230,6	2,6	-0,772	-0,634	0,046	0,791	0,607	0,078	27. Feb.	8	16:39	16:46							
2022-01-01 16:09:00	0,024583	598,3002	2	0,420952	0,014285	0,109115	230,8	2,5	-0,774	-0,632	0,044	0,792	0,606	0,075	28. Feb.	9	16:40	16:48							
2022-01-01 16:10:00	0,024839	595,0513	2	0,428753	0,01447	0,108972	231	2,4	-0,776	-0,629	0,041	0,794	0,604	0,071	1. Mrz.	11	16:40	16:50							
2022-01-01 16:11:00	0,025076	591,7926	2	0,436711	0,014658	0,108782	231,2	2,2	-0,778	-0,627	0,039	0,795	0,603	0,067	2. Mrz.	12	16:41	16:52							
2022-01-01 16:12:00	0,025284	588,5242	2	0,444829	0,014848	0,108521	231,4	2,1	-0,781	-0,624	0,037	0,796	0,602	0,064	3. Mrz.	13	16:42	16:54							
2022-01-01 16:13:00	0,02544	585,2462	2	0,453112	0,015041	0,108344	231,6	2	-0,783	-0,621	0,035	0,797	0,601	0,06	4. Mrz.	15	16:41	16:55							
2022-01-01 16:14:00	0,025499	581,9586	2	0,461562	0,015235	0,107548	231,7	1,9	-0,785	-0,619	0,032	0,798	0,599	0,056	5. Mrz.	15	16:42	16:56							
2022-01-01 16:15:00	0,02535	578,6615	2	0,470183	0,015432	0,106485	231,9	1,7	-0,787	-0,616	0,03	0,8	0,598	0,053	6. Mrz.	17	16:42	16:58							
2022-01-01 16:16:00	0,024636	575,3549	2	0,478978	0,015631	0,104093	232,1	1,6	-0,789	-0,614	0,028	0,801	0,597	0,049	7. Mrz.	18	16:43	17:00							
2022-01-01 16:17:00	0,02289	572,0388	2	0,487952	0,015832	0,098941	232,3	1,5	-0,791	-0,611	0,025	0,802	0,596	0,045	8. Mrz.	19	16:43	17:01							
2022-01-01 16:18:00	0,022823	568,7134	2	0,497108	0,016035	0,097798	232,5	1,3	-0,793	-0,609	0,023	0,803	0,594	0,042	9. Mrz.	21	16:43	17:03							
2022-01-01 16:19:00	0,022829	565,3786	2	0,506449	0,01624	0,097212	232,7	1,2	-0,795	-0,606	0,021	0,804	0,593	0,038	10. Mrz.	22	16:44	17:05							
2022-01-01 16:20:00	0,02284	562,0346	2	0,515598	0,016448	0,096454	232,9	1,1	-0,797	-0,604	0,018	0,805	0,592	0,035	11. Mrz.	23	16:45	17:07							
2022-01-01 16:21:00	0,022837	558,6814	2	0,525705	0,016658	0,095652	233,1	0,9	-0,799	-0,601	0,016	0,806	0,591	0,031	12. Mrz.	25	16:44	17:08							
2022-01-01 16:22:00	0,025423	555,319	2	0,535628	0,016871	0,101439	233,2	0,8	-0,801	-0,598	0,014	0,807	0,589	0,027	13. Mrz.	26	16:45	17:10							
2022-01-01 16:23:00	0,022662	551,9475	2	0,545753	0,017085	0,093569	233,4	0,7	-0,803	-0,596	0,011	0,808	0,588	0,024	14. Mrz.	26	16:46	17:11							
2022-01-01 16:24:00	0,022449	548,5669	2	0,556084	0,017302	0,092157	233,6	0,5	-0,805	-0,593	0,009	0,809	0,587	0,02	15. Mrz.	26	16:46	17:11							
2022-01-01 16:25:00	0,024867	545,1774	2	0,566626	0,017521	0,097805	233,8	0,4	-0,807	-0,591	0,007	0,81	0,586	0,016	16. Mrz.	26	16:46	17:11							
2022-01-01 16:26:00	0,021619	541,7789	2	0,577383	0,017742	0,088049	234	0,2	-0,809	-0,588	0,004	0,811	0,584	0,013	17. Mrz.	26	16:47	17:12							
2022-01-02 16:03:00	0,022955	621,8655	2	0,375159	0,013232	0,109562	229,7	3,3	-0,761	-0,646	0,058	0,785	0,612	0,097	18. Mrz.	26	16:47	17:12							
2022-01-02 16:04:00	0,023239	618,7027	2	0,382047	0,013407	0,109518	229,9	3,2	-0,764	-0,643	0,056	0,786	0,611	0,093	19. Mrz.	26	16:48	17:13							
2022-01-02 16:05:00	0,023524	615,5298	2	0,389074	0,013583	0,109467	230,1	3,1	-0,766	-0,641	0,054	0,788	0,609	0,09	20. Mrz.	25	16:48	17:12							
2022-01-02 16:06:00	0,023808	612,347	2	0,396241	0,013762	0,109408	230,3	3	-0,768	-0,638	0,052	0,789	0,608	0,086	21. Mrz.	26	16:48	17:13							
2022-01-02 16:07:00	0,02409	609,1541	2	0,403553	0,013943	0,109337	230,5	2,8	-0,77	-0,636	0,049	0,79	0,607	0,082	22. Mrz.	26	16:49	17:14							
2022-01-02 16:08:00	0,024368	605,9514	2	0,411012	0,014126	0,109249	230,6	2,7	-0,772	-0,633	0,047	0,792	0,606	0,079	23. Mrz.	26	16:48	17:13							
2022-01-02 16:09:00	0,02464	602,7388	2	0,418621	0,014311	0,109141	230,8	2,6	-0,775	-0,631	0,045	0,793	0,605	0,075	24. Mrz.	26	16:49	17:14							
2022-01-02 16:10:00	0,024901	599,5164	2	0,426384	0,014499	0,109003	231	2,4	-0,777	-0,628	0,043	0,794	0,603	0,071	25. Mrz.	26	16:50	17:15							
2022-01-02 16:11:00	0,025146	596,2843	2	0,434303	0,014688	0,108823	231,2	2,3	-0,779	-0,626	0,04	0,796	0,602	0,068	26. Mrz.	26	16:49	17:14							
2022-01-02 16:12:00	0,025363	593,0425	2	0,442382	0,014888	0,108578	231,4	2,2	-0,781	-0,623	0,038	0,797	0,601	0,064	27. Mrz.	26	16:50	17:15							
2022-01-02 16:13:00	0,025534	589,7921	2	0,450624	0,015074	0,108226	231,6	2	-0,783	-0,621	0,036	0,798	0,6	0,061	28. Mrz.	25	16:51	17:15							
2022-01-02 16:14:00	0,025618	586,5299	2	0,459034	0,015271	0,107679	231,8	1,9	-0,785	-0,618	0,033	0,799	0,598	0,057	29. Mrz.	26	16:50	17:15							
2022-01-02 16:15:00	0,02552	583,2593	2	0,467613	0,015469	0,106727	232	1,8	-0,787	-0,616	0,031	0,8	0,597	0,053	30. Mrz.	26	16:51	17:16							
2022-01-02 16:16:00	0,024952	579,9793	2	0,476366	0,01567	0,104687	232,2	1,7	-0,789	-0,613	0,029	0,802	0,596	0,05	31. Mrz.	25	16:52	17:16							
2022-01-02 16:17:00	0,023072	576,6897	2	0,485296	0,015873	0,099262	232,4	1,5	-0,791	-0,611	0,027	0,803	0,595	0,046	1. Apr.	26	16:51	17:16							
2022-01-02 16:18:00	0,022962	573,3909	2	0,494408	0,016079	0,098184	232,5	1,4	-0,794	-0,608	0,024	0,804	0,593	0,042	2. Apr.	26	16:52	17:17							
2022-01-02 16:19:00	0,023112	570,0827	2	0,503705	0,016287	0,097797	232,7	1,3	-0,796	-0,605	0,022	0,805	0,592	0,039	3. Apr.	26	16:52	17:17							
2022-01-02 16:20:00	0,02299	566,7652	2	0,51319	0,016497	0,096675	232,9	1,1	-0,798	-0,603	0,02	0,806	0,591	0,035	4. Apr.	26	16:52	17:17							
2022-01-02 16:21:00	0,022999	563,4385	2	0,522869	0,016709	0,095901	233,1	1	-0,8	-0,6	0,017	0,807	0,59	0,031	5. Apr.	25	16:53	17:17							
2022-01-02 16:22:00	0,025879	560,1026	2	0,532744	0,016924	0,10231	233,3	0,9	-0,802	-0,598	0,015	0,808	0,588	0,028	6. Apr.	26	16:53	17:18							
2022-01-02 16:23:00	0,022876	556,7577	2	0,542821	0,017141	0,093958	233,5	0,7	-0,804	-0,595	0,013	0,809	0,587	0,024	7. Apr.	26	16:54	17:19							
2022-01-02 16:24:00	0,022686	553,4037	2	0,553103	0,017361	0,092612	233,7	0,6	-0,806	-0,593	0,01	0,81	0,586	0,02	8. Apr.	25	16:54	17:18							
2022-01-02 16:25:00	0,02286	550,0406	2	0,563595	0,017583	0,092288	233,8	0,4	-0,807	-0,59	0,008	0,811	0,584	0,017	9. Apr.	26	16:54	17:19							
2022-01-02 16:26:00	0,022428	546,6687	2	0,5743	0,017807	0,090231	234	0,3	-0,809	-0,587	0,005	0,812	0,583	0,013	10. Apr.	25	16:55	17:19							
2022-01-03 16:04:00	0,022755	620,105	2	0,372879	0,013115	0,109573	229,7	3,4	-0,762	-0,645	0,06	0,786	0,611	0,097	11. Apr.	26	16:54	17:19							

Potentielle Reflexionen

Max. Minuten pro Tag



Copyright © 2022 by Green County, Georgia. All rights reserved. No part of this document may be reproduced without written notice

	Corneal Irradiance	DNI (W/m²)	Ocular Hazard #	Reflectivity	Retinal Irradiance	Subtended Glare Angle	Sun Azimuth	Sun Altitude	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 4
2022-04-25 05:16:00	0,011229	541,3372	2	0,401489	0,012327	0,067247	70,5	0	0,942	0,334	0	-0,922	-0,364	0,133													
2022-04-25 05:17:00	0,011214	543,3424	2	0,393164	0,012116	0,068462	70,6	0,2	0,944	0,331	0,003	-0,922	-0,362	0,137													
2022-04-26 05:15:00	0,011194	541,704	2	0,40177	0,012344	0,066897	70,1	0,1	0,94	0,341	0,002	-0,92	-0,37	0,131													
2022-04-26 05:16:00	0,011184	543,7038	2	0,393454	0,012133	0,068148	70,2	0,3	0,941	0,338	0,004	-0,92	-0,369	0,135													
2022-04-27 05:13:00	0,011182	542,0472	2	0,410607	0,012624	0,065081	69,5	0	0,937	0,351	0,001	-0,917	-0,378	0,126													
2022-04-27 05:14:00	0,011196	544,037	2	0,402127	0,012408	0,066514	69,7	0,2	0,938	0,348	0,003	-0,917	-0,377	0,129													
2022-04-27 05:15:00	0,011193	546,0238	2	0,393817	0,012196	0,067815	69,8	0,4	0,939	0,345	0,006	-0,917	-0,375	0,133													
2022-04-27 05:16:00	0,011173	548,0075	2	0,385674	0,011988	0,068994	70	0,5	0,94	0,341	0,009	-0,917	-0,374	0,137													
2022-04-28 05:11:00	0,011093	540,3866	2	0,411035	0,012598	0,064617	69,1	0,1	0,934	0,357	0,002	-0,915	-0,385	0,124													
2022-04-28 05:12:00	0,011115	542,3743	2	0,402562	0,012384	0,0661	69,3	0,3	0,935	0,354	0,005	-0,915	-0,383	0,128													
2022-04-28 05:13:00	0,011118	544,3589	2	0,394257	0,012173	0,067449	69,5	0,4	0,936	0,351	0,008	-0,915	-0,382	0,131													
2022-04-28 05:14:00	0,011103	546,3405	2	0,386119	0,011965	0,068664	69,6	0,6	0,937	0,348	0,01	-0,915	-0,38	0,135													
2022-04-29 05:09:00	0,011124	540,6983	2	0,420186	0,012886	0,063063	68,5	0,1	0,93	0,366	0,001	-0,912	-0,393	0,118													
2022-04-29 05:10:00	0,011085	542,6761	2	0,411545	0,012667	0,064133	68,7	0,2	0,932	0,363	0,004	-0,912	-0,391	0,122													
2022-04-29 05:11:00	0,011111	544,651	2	0,403076	0,012452	0,065653	68,9	0,4	0,933	0,36	0,007	-0,912	-0,389	0,126													
2022-04-29 05:12:00	0,011121	546,6228	2	0,394776	0,012239	0,067048	69,1	0,5	0,934	0,357	0,009	-0,913	-0,388	0,129													
2022-04-29 05:13:00	0,011113	548,5916	2	0,386642	0,01203	0,068314	69,2	0,7	0,935	0,354	0,012	-0,913	-0,386	0,133													
2022-04-29 05:14:00	0,011089	550,5573	2	0,37867	0,011825	0,069461	69,4	0,8	0,936	0,351	0,015	-0,913	-0,385	0,137													
2022-04-30 05:08:00	0,011129	540,9904	2	0,420775	0,012911	0,062939	68,1	0,2	0,928	0,373	0,003	-0,91	-0,399	0,116													
2022-04-30 05:09:00	0,011068	542,9631	2	0,412138	0,012692	0,063852	68,3	0,3	0,929	0,37	0,005	-0,91	-0,397	0,12													
2022-04-30 05:10:00	0,011064	544,9329	2	0,403672	0,012477	0,065169	68,5	0,5	0,93	0,367	0,008	-0,91	-0,396	0,124													
2022-04-30 05:11:00	0,011081	546,8996	2	0,395375	0,012264	0,066615	68,7	0,6	0,931	0,364	0,011	-0,91	-0,394	0,127													
2022-04-30 05:12:00	0,011108	548,8634	2	0,387244	0,012055	0,067931	68,9	0,8	0,933	0,361	0,014	-0,91	-0,393	0,131													
2022-04-30 05:13:00	0,011061	550,8241	2	0,379274	0,011849	0,069115	69	0,9	0,934	0,358	0,016	-0,91	-0,391	0,135													
2022-05-01 05:06:00	0,011248	541,2603	2	0,43026	0,013209	0,061977	67,5	0,1	0,924	0,382	0,001	-0,907	-0,406	0,11													
2022-05-01 05:07:00	0,011176	543,2235	2	0,421451	0,012985	0,062822	67,7	0,2	0,925	0,379	0,004	-0,907	-0,405	0,114													
2022-05-01 05:08:00	0,011106	545,1836	2	0,412817	0,012765	0,063673	67,9	0,4	0,927	0,376	0,007	-0,907	-0,403	0,118													
2022-05-01 05:09:00	0,011058	547,1408	2	0,404353	0,012548	0,06468	68,1	0,5	0,928	0,373	0,01	-0,908	-0,402	0,122													
2022-05-01 05:10:00	0,011077	549,095	2	0,396058	0,012335	0,066147	68,3	0,7	0,929	0,37	0,012	-0,908	-0,4	0,125													
2022-05-01 05:11:00	0,011083	551,0463	2	0,387927	0,012124	0,06751	68,5	0,9	0,93	0,367	0,015	-0,908	-0,399	0,129													
2022-05-01 05:12:00	0,011071	552,9945	2	0,379958	0,011917	0,068747	68,6	1	0,931	0,364	0,018	-0,908	-0,397	0,133													
2022-05-01 05:13:00	0,011044	554,9396	2	0,372147	0,011713	0,069867	68,8	1,2	0,932	0,361	0,02	-0,908	-0,396	0,137													
2022-05-02 05:04:00	0,011368	541,5092	2	0,440009	0,013514	0,061002	67	0	0,92	0,391	0	-0,904	-0,414	0,104													
2022-05-02 05:05:00	0,011299	543,4628	2	0,431025	0,013286	0,061878	67,2	0,2	0,922	0,388	0,003	-0,905	-0,412	0,108													
2022-05-02 05:06:00	0,011226	545,4135	2	0,422217	0,013061	0,062713	67,3	0,3	0,923	0,385	0,006	-0,905	-0,411	0,112													
2022-05-02 05:07:00	0,011151	547,3613	2	0,413583	0,01284	0,063535	67,5	0,5	0,924	0,382	0,008	-0,905	-0,409	0,116													
2022-05-02 05:08:00	0,011083	549,3061	2	0,40512	0,012622	0,0644	67,7	0,6	0,925	0,379	0,011	-0,905	-0,408	0,12													
2022-05-02 05:09:00	0,011069	551,2479	2	0,396825	0,012407	0,06564	67,9	0,8	0,926	0,376	0,014	-0,905	-0,406	0,123													
2022-05-02 05:10:00	0,011082	553,1867	2	0,388694	0,012196	0,067057	68,1	0,9	0,928	0,373	0,016	-0,905	-0,405	0,127													
2022-05-02 05:11:00	0,011078	555,1226	2	0,380724	0,011987	0,068345	68,3	1,1	0,929	0,37	0,019	-0,906	-0,403	0,131													
2022-05-02 05:12:00	0,011056	557,0554	2	0,372912	0,011782	0,069505	68,4	1,3	0,93	0,367	0,022	-0,906	-0,402	0,135													
2022-05-03 05:03:00	0,011138	541,7404	2	0,440867	0,013546	0,060897	66,6	0,1	0,918	0,397	0,002	-0,902	-0,42	0,102													
2022-05-03 05:04:00	0,011311	543,6891	2	0,431883	0,013318	0,061771	66,8	0,2	0,919	0,394	0,004	-0,902	-0,418	0,106													
2022-05-03 05:05:00	0,011238	545,635	2	0,423075	0,013093	0,062603	67	0,4	0,92	0,391	0,007	-0,902	-0,417	0,11													
2022-05-03 05:06:00	0,011116	547,5779	2	0,414441	0,012872	0,063405	67,1	0,6																			