

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger

# Sonnwinne Photovoltaik

Netzwerk unabhängiger Gutachter für Photovoltaik und Stromspeicher

## Blendgutachten

PVA GREINHOF

VERSION 1.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik  
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1  
25436 Moorrege  
+49 (0) 4122 509100  
mathias.roeper@sonnwinn.de  
www.sonnwinn.de

Moorrege, 29.11.2022



---

Review:

Sachverständiger für Photovoltaik  
Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke

Riesenweg 9  
21244 Buchholz in der Nordheide  
+49 (0) 4181 2326110  
marco.wilke@sonnwinn.de  
www.sonnwinn.de

Buchholz i. d. N., 29.11.2022



---

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Anpassungen bzgl. der geplanten Ausgleichsbepflanzung wurden berücksichtigt	29.11.2022	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	16.09.2022	Mathias Röper

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
1.1	Fragestellung .....	3
1.2	Haftungsausschluss .....	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Methodik .....	3
2	Anlagenbeschreibung.....	4
3	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	6
4	Grundlagen .....	7
4.1	Blendwirkung von Modulen .....	7
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	10
5	Umliegende Immissionsorte .....	11
5.1	Übersicht.....	11
5.2	Ergebnisse .....	12
5.2.1	Observationspunkt 1 .....	13
5.2.2	Observationspunkt 2 .....	13
5.2.3	Observationspunkt 3 .....	14
6	Umliegender Straßenverkehr.....	15
6.1	Übersicht.....	15
6.2	Ergebnisse .....	17
6.2.1	Staatsstraße St 2235.....	17
6.2.2	Kreuzung „Abzweigung Greinhof“ .....	18
7	Literaturverzeichnis .....	19
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT .....	20

# 1 Einleitung

Herr Michael Bauer hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, damit beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) „Greinhof“ in 93133 Burglengenfeld zu analysieren und zu bewerten.

Der vorliegende Bericht wurde von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft (Review).

## 1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten PVA Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen durch Lichtimmissionen auf umliegende Gebäude und/oder Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßenverkehr entstehen. Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit Lichtimmissionen/Blendwirkungen auftreten können.

## 1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für die alleinige Nutzung des Kunden und in dessen Auftrag ausgearbeitet. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Irrtümer, Fehler, etc. sind hierbei trotz großer Sorgfalt nicht vollständig auszuschließen. Daher wird für Folgeschäden, die aus der Anwendung des Gutachtens resultieren, keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadenersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wenn der Bericht an Dritte weitergegeben wird, darf er nicht verändert oder bearbeitet werden. Wenn sich Dritte den Inhalt dieses Berichts zu Nutze machen, ist jegliche Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

## 1.3 Datengrundlage

Die Modellierung der PVA zur Analyse potenzieller Blendwirkungen basiert auf den vom Kunden bereitgestellten Planungsunterlagen und Angaben. Eine Besichtigung vor Ort fand nicht statt. Zudem wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Informationen bzgl. umliegender Gebäude, Straßenverläufe, Vegetation und der lokalen Topografie wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).

## 1.4 Methodik

Laut der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Bestimmung und Auswertung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [2]. Jedoch hat die LAI mit dem Dokument „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ einen Leitfaden zur Verfügung gestellt (im Folgenden *LAI-Leitfaden* genannt), welcher in Anhang 2 Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen aufführt [2]. Die Methodik des Gutachtens basiert auf dem LAI-Leitfaden und wurde um wissenschaftliche Erkenntnisse und etablierte „Best-Practice“-Methoden erweitert, welche an gegebener Stelle im vorliegenden Bericht referenziert werden.

## 2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA Greinhof soll auf (aktuell) landwirtschaftlicher Nutzfläche als Freiflächenanlage realisiert werden. Das Anlagengelände befindet sich östlich des (namensgebenden) Weilers Greinhof der Stadt Burglengenfeld (PLZ: 93133). Die PVA grenzt im Westen an die Staatsstraße St 2235. Das Generatorfeld (Fläche mit Solarmodulen) weist eine Fläche von ca. 6,6 ha auf.

Relevante Anlagenparameter werden in der folgenden Tabelle aufgeführt.

*Tabelle 1: PVA-Parameter*

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	ca. 7,5 MWp
Anlagenfläche (genutzte PV-Fläche)	ca. 6,6 ha
Modulabmessung	2,384 m x 1,303 m
Modultyp	Trina Solar: TSM-DEG21C.20 Vertex (650 W)
Aufständigung	4 Module im Landscape-Format übereinander
Modulneigung	20°
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd
Höhe untere Modulunterkante	0,8 m
Höhe obere Modulkante	3,5 m
Adresse	93133 Burglengenfeld
Geo-Koordinaten des Geländes (Breite, Länge)	49.191775°, 12.018941°



Abbildung 1: Übersicht des Generatorfeldes (genutzte PV-Fläche)  
 - Quelle: Planungsunterlagen (Kunde)



Abbildung 2: Aufnahme des Anlagengeländes und der Umgebung aus Südwestlicher Richtung gen Nordosten  
 (Aufgenommen von der Kreuzung der Feldwege im Südwesten) - Quelle: Kunde



### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### **Umliegende Gebäude**

Die Simulation hat ergeben, dass die geplante PVA keine erheblichen Belästigungen in der Umgebung durch Lichtimmissionen verursachen wird.

#### **Umliegende Verkehrswege**

Als relevante Verkehrswege wurde die St 2235 sowie die Kreuzung „Abzweigung Greinhof“ identifiziert.

Auf der Staatsstraße St 2235 werden laut Simulation keine Reflexionen im relevanten Sichtfeld von Fahrzeugführern auftreten. Es werden dort somit keine beeinträchtigenden Blendwirkungen stattfinden.

An der Kreuzung („Abzweigung Greinhof“) können Fahrzeugführer, welche vom Weiler kommen, Blendwirkungen erfahren, wenn der Blick Richtung PVA gewendet ist. Die Blendwirkungen werden jedoch aus folgenden Gründen als vertretbar eingestuft:

- Das Verkehrsaufkommen vom Weiler zur St 2235 wird als sehr gering eingeschätzt.
- Das zeitliche Auftreten der Reflexionen beschränkt sich auf wenige Minuten pro Tag.
- Die zu erwartenden Blendwirkungen fallen laut Simulation von ihrer Intensität nicht sonderlich stark aus, sodass bei einem kurzen Blick auf die reflektierenden Module keine sog. Nachbilder (kurzfristig anhaltende optische Eindrücke) zu erwarten sind.
- Der reflektierende Teil der PVA liegt nicht unmittelbar neben der St 2235. Die Reflexionen treffen demnach beim Beobachten des Verkehrs (in Richtung Norden) nicht in das zentrale Sichtfeld.

#### **Fazit**

Das Gutachten kommt zum Ergebnis, dass die PVA aus blendschutz-technischer Sicht verträglich mit ihrer Umgebung realisiert werden kann.

## 4 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bestimmung von PVA-bedingter Blendwirkung dargestellt.

### 4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein Photovoltaikmodul besteht aus einer Vielzahl von Solarzellen, welche Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Zur Stabilisierung und zum Schutz vor Witterungseinflüssen liegen diese üblicherweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas). Das Modulglas ist maßgeblich für die Blendwirkung verantwortlich. Da die Menge der generierten elektrischen Energie proportional zur Einstrahlungsstärke des Sonnenlichts ist, versuchen Modulhersteller Reflexionen am Modul zu minimieren – denn umso geringer die Reflexionen sind, desto höher ist der Ertrag. Aus diesem Grund besitzt das Modulglas i. d. R. eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sog. Antireflexionsschicht. Beides sorgt dafür, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und nicht durch Reflexionen verloren geht [3].

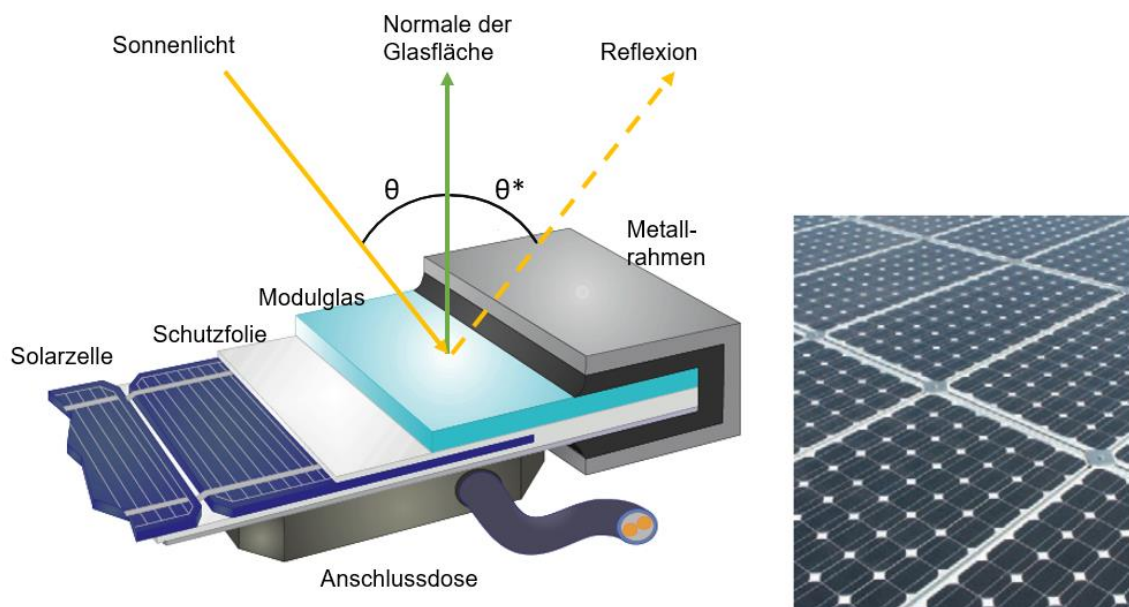


Abbildung 3: Aufbau eines Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ –  
Quelle: [4] (modifiziert)

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %), vorausgesetzt, der Einstrahlungswinkel  $\theta$  (siehe Abbildung 3) ist klein. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass trotz Texturierung und Antireflexionsschicht der Anteil des reflektierten Sonnenlichts bei höherem Einstrahlungswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 4).

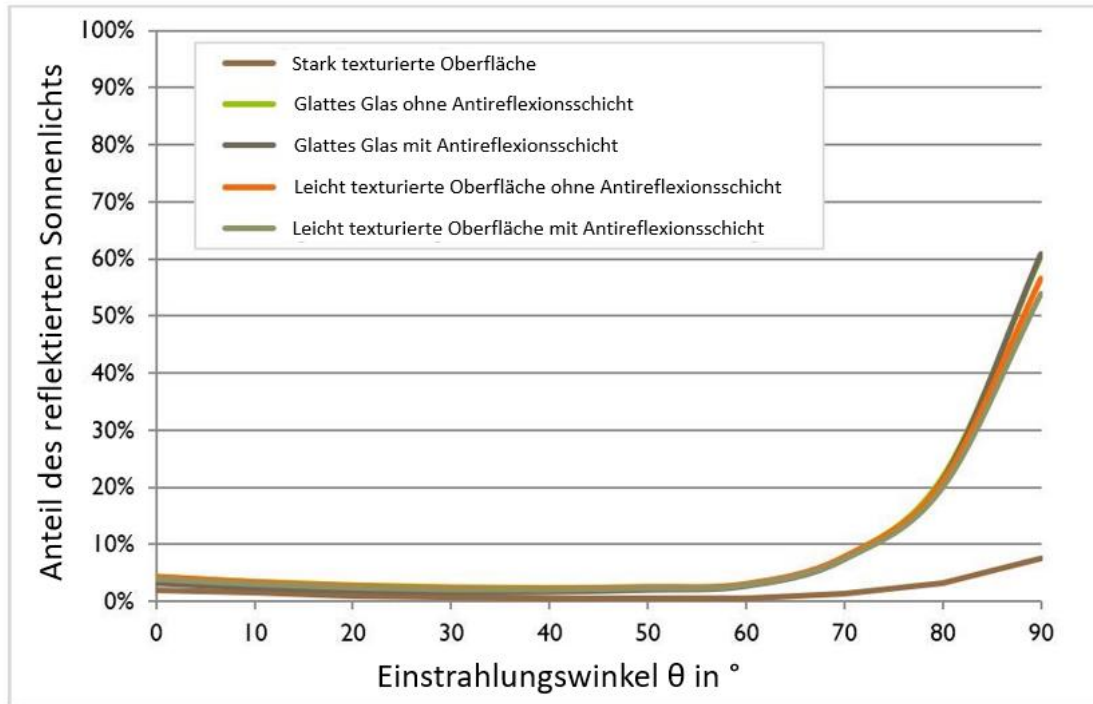


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einstrahlungswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [5], modifiziert

Da bereits Reflexionen von unter 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen alle Einstrahlungswinkel berücksichtigt werden.

Die Oberflächentexturierung von Modulglas führt dazu, dass Sonnenlicht zwar deutlich weniger intensiv, aber dafür gestreut reflektiert wird, d. h. der Immissionsort der Reflexion vergrößert sich. Die Intensität von Reflexionen an Solarmodulen ist somit auch nicht mit Reflexionen an z. B. glatten Fensterscheiben zu vergleichen, wo das Sonnenlicht gerichtet reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen i. d. R. eine Antireflexionsschicht sowie zumindest eine leicht texturierte Oberfläche.



Abbildung 5: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) – Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE



## MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2384×1303×35 mm (93.86×51.30×1.38 inches)
Weight	38.7 kg (85.3 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	35mm(1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm <sup>2</sup> (0.006 inches <sup>2</sup> ), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4*

Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Datenblatt des angedachten Modultyps: Das Vorderglas besitzt eine Antireflexionsschicht – Quelle: Trina Solar

Das Vorderglas des angedachte Modultyps verfügt laut Datenblatt über eine Antireflexionsschicht. Eine leicht texturierte Oberfläche wird angenommen.

## 4.2 Modellierung der Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Dafür werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann auf Basis mathematischer Funktionen für jeden Zeitpunkt im Jahr bestimmt werden [6]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlengesetze kann nachvollzogen werden, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Das Einbeziehen von modulglas-spezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch genauere Betrachtung [5].

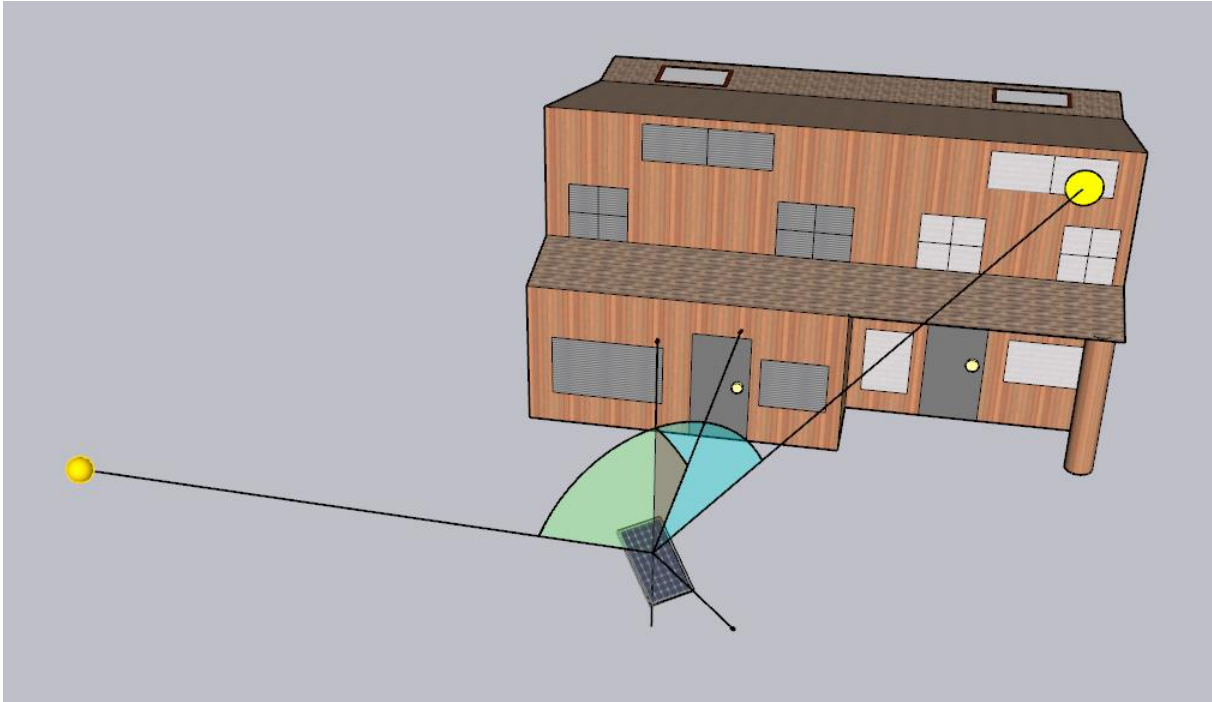


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

Im Rahmen der Simulation wird mit der Software ForgeSolar die Blendwirkung der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories.

In der Simulation wird immer von einem klaren Himmel ausgegangen. Eine Liste mit Annahmen und Limitationen bzgl. der Simulation kann Anhang A entnommen werden.

## 5 Umliegende Immissionsorte

### 5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzwürdige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [2]:

- Wohnräume
- Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien)
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume
- An relevanten Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

In der näheren Umgebung der geplanten PVA befindet sich lediglich der Weiler Greinhof. Die dortigen Wohnhäuser gelten demnach als schutzwürdig.

Um die Lichtimmissionen der PVA in der Umgebung in/an schutzwürdigen Räumen auswerten zu können, werden sog. Observationspunkte (OP) definiert. Ein OP stellt in der Simulation einen statischen Betrachter mit Blick auf die PVA dar. Da i. d. R. höhergelegene Immissionsorte mehr Blendwirkungen erfahren, wird ein OP bei den Wohnhäusern stets an einem Fenster im 1. Obergeschoss platziert (auf einer Sichthöhe von 4,5 m, bezogen auf den Grund). Insgesamt wurden 3 OP definiert, welche zusammen den Weiler repräsentieren.



Abbildung 8: Übersicht der Observationspunkte – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

## 5.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf die Observationspunkte (OP) dargestellt.

Laut dem LAI-Leitfaden findet eine erhebliche Belästigung (durch PVA-bedingte Lichtimmissionen) statt, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden pro Jahr Blendwirkungen erfährt [2]. Jedoch sind laut dem Leitfaden für die Ermittlung der Blendzeiträume nicht alle Reflexionen zu berücksichtigen.

Der LAI-Leitfaden schreibt für die Ermittlung der Blendzeiträume ein vereinfachtes Modell vor, das die Solarmodule als ideal verspiegelte Oberflächen darstellt [2]. Eine Spiegeloberfläche reflektiert Sonnenlicht gerichtet – es kommt also zu keiner (bzw. nur einer sehr kleinen) Streuung des Sonnenlichts. In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, welches die oberflächenspezifischen Eigenschaften von realen Solarmodulen berücksichtigt. Um dennoch eine Auswertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden die Blendwirkungen, die mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden würden, im Folgenden als sog. „**Kernblendung**“ bezeichnet (die übrigen als sog. „**gestreute Reflexion**“) und stets differenzierbar dargestellt. Es gilt zu beachten, dass auch gestreute Reflexionen zu starken Blendwirkungen führen können.

Außerdem sollen Reflexionen, welche am Immissionsort mit einem **Differenzwinkel von  $\leq 10^\circ$**  in Relation zur direkten Sonnenstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendwirkungen betrachtet werden [2]. Somit wird der Umstand berücksichtigt, dass wenn die Sonne tief und aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexionen an den Modulen, die PVA-bedingten Blendwirkungen von der Sonne bei weitem überlagert werden. Auch diese Reflexionen werden im Folgenden differenzierbar dargestellt (sofern sie auftreten).

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

## 5.2.1 Observationspunkt 1

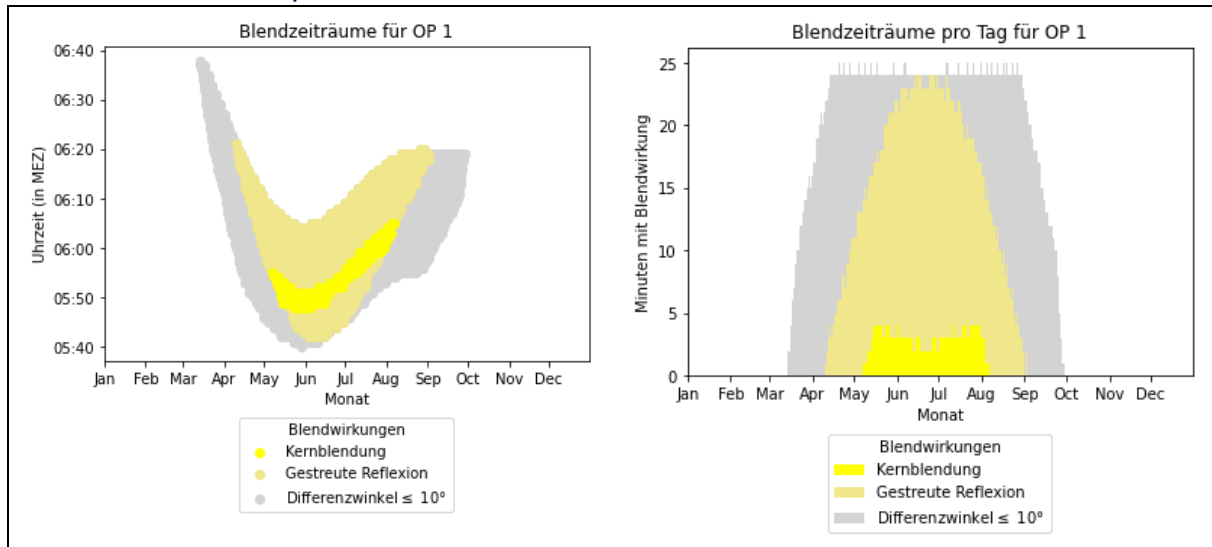


Abbildung 9: Blendwirkungen bei OP 1

Pro Tag fänden bei OP 1 maximal 4 Minuten und pro Jahr ca. 270 Minuten (rund 4,5 Std.) relevante Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Laut dem LAI-Leitfaden sind diese Lichtimmissionen nicht als erhebliche Belästigung zu qualifizieren, da kein Grenzwert überschritten wird.

## 5.2.2 Observationspunkt 2

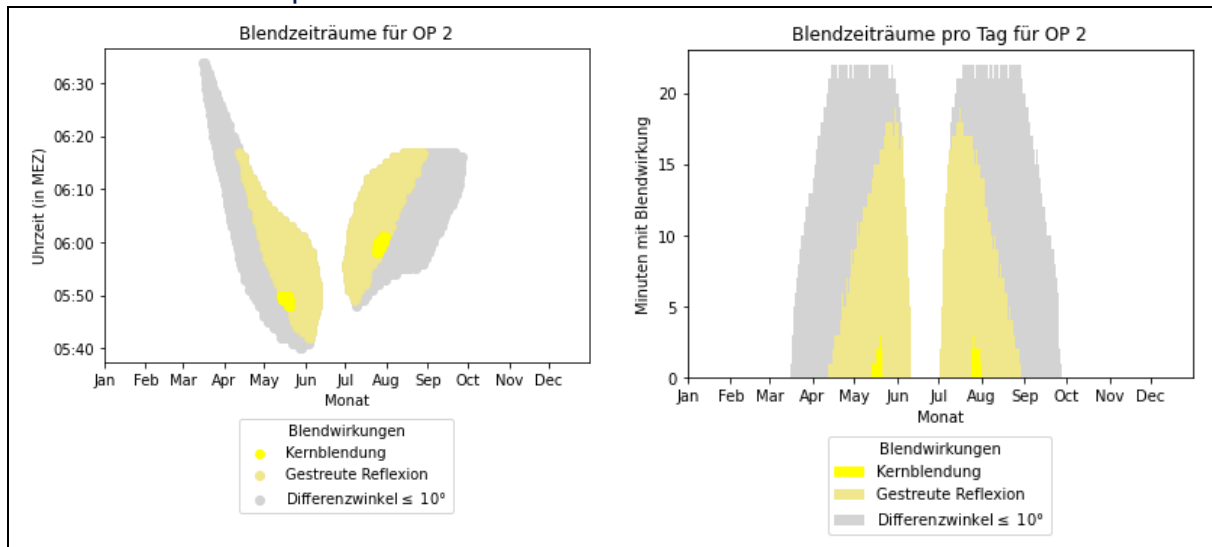


Abbildung 10: Blendwirkungen bei OP 2

Pro Tag fänden bei OP 2 maximal 3 Minuten und pro Jahr ca. 30 Minuten (0,5 Std.) relevante Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Laut dem LAI-Leitfaden sind diese Lichtimmissionen nicht als erhebliche Belästigung zu qualifizieren, da kein Grenzwert überschritten wird.



### 5.2.3 Observationspunkt 3

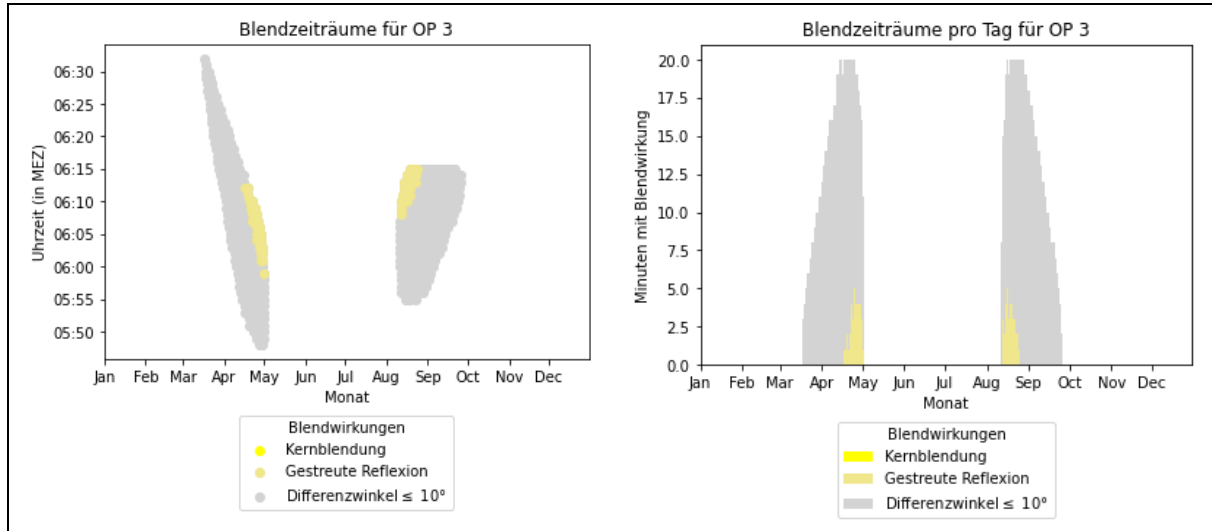


Abbildung 11: Blendwirkungen bei OP 2

Bei OP 3 sind keine relevante Blendwirkungen (Kernblendung) zu erwarten.

## 6 Umliegender Straßenverkehr

### 6.1 Übersicht

Im Folgenden werden relevante Verkehrswege (Straßen) aufgeführt, welche aufgrund ihrer Nähe zur PVA bzgl. möglicher Blendwirkungen ausgewertet wurden. Straßen/Wege landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Art (sog. Feldwege) sowie nur sporadisch befahrene Straßen werden als nicht relevant eingestuft (und wurden somit nicht betrachtet).

Als relevante Verkehrswege wurden die Staatsstraße St 2235 (Kallmünzer Str.) und die Kreuzung zwischen der Verbindungsstraße zum Weiler Greinhof und der St 2235 („Abzweigung Greinhof“) identifiziert. Die Verbindungsstraße zum Weiler selbst wird aufgrund des zu erwartenden niedrigen Verkehrsaufkommens nicht als relevant eingeschätzt.



Abbildung 12: Übersicht der relevanten Verkehrswege - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

In der Simulation werden als Verkehrsteilnehmer PKW- und LKW-Fahrer berücksichtigt, welche sich durch ihre Sitzhöhe (und somit Augenhöhe) unterscheiden. Die Augenhöhe von PKW-Fahrern wurde auf 1,20 m und die von LKW-Fahrern auf 2,65 m festgelegt (Annahme).

Reflexionen, welche im peripheren Sichtbereich einer Person emittiert werden, führen i. d. R. zu keiner nennenswerten Blendwirkung. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [7] auf 80° festgelegt (jeweils 40° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung der Fahrtrichtung entspricht. An Kreuzungen wird ein Sichtfeld von 360° angenommen, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen.

In der Simulation werden daher nur Blendwirkungen berücksichtigt, welche innerhalb des relevanten Sichtfelds emittiert werden (Abbildung 14 stellt das relevante Sichtfeld für eine fahrende Personen dar).

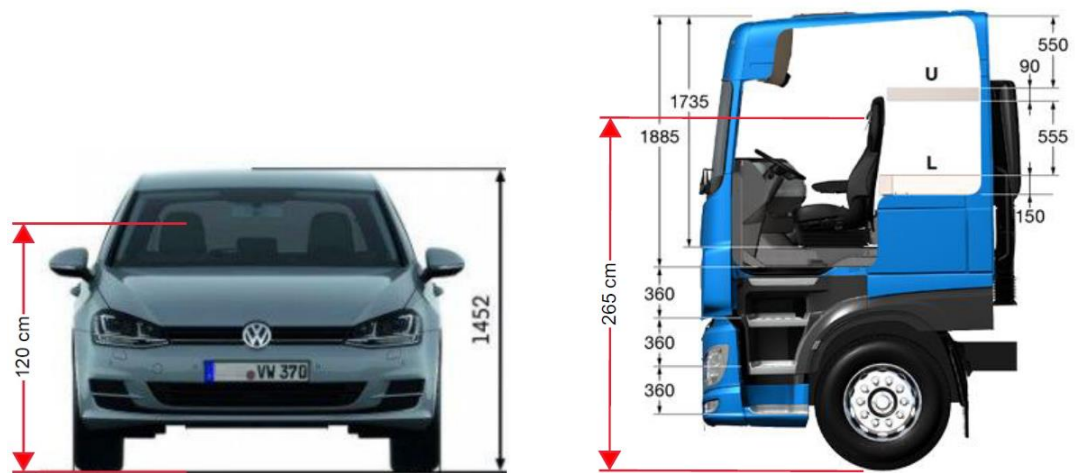


Abbildung 13: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer - Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

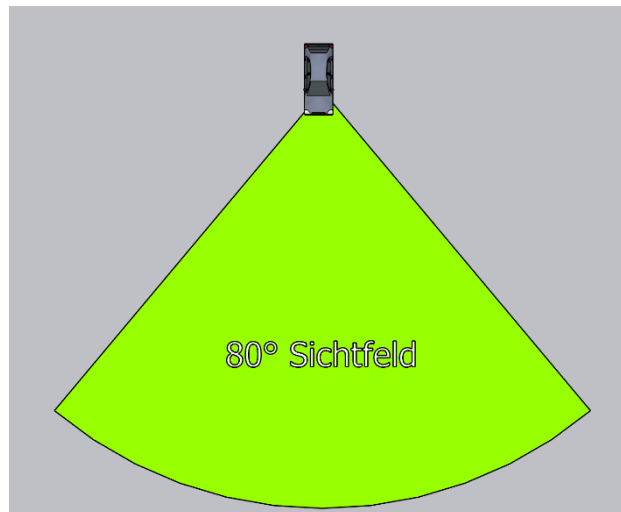


Abbildung 14: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt (anders als dargestellt ist es in der Länge nicht begrenzt) - Quelle: Eigene Abbildung

## 6.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege dargestellt.

Anders als bei der Betrachtung von Lichtimmissionen auf schutzwürdige Räume, werden bei der Betrachtung von Blendwirkungen auf den Straßenverkehr alle Reflexionen als relevant angesehen, welche aufgrund ihrer Intensität eine Blendwirkung bewirken könnten, und nicht von der Sonne überlagert werden.

Das sog. „Blendwirkungsdiagramm“ zeigt für jede Minute pro Jahr, in der eine Blendwirkung auftritt, die dazugehörige Sonnenhöhe sowie den Differenzwinkel zwischen direkter Sonnenstrahlung und Reflexion, bezogen auf das Sichtfeld des Betrachters. Steht die Sonne tiefer als ca.  $5^\circ$ , kann sie in einem Fahrzeug nicht mehr mit einer Blende verdeckt werden (Annahme). Beträgt der Differenzwinkel zur gleichen Zeit  $\leq 10^\circ$ , so kann (in Anlehnung an [2]) angenommen werden, dass die Sonne die PVA-bedingte Blendwirkung überlagert. PVA-bedingte Blendwirkungen, die stattfinden, wenn die zwei genannten Kriterien zutreffen, werden im Folgenden differenzierbar dargestellt (sofern sie auftreten) und als nicht relevant betrachtet.

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

### 6.2.1 Staatsstraße St 2235

Die Simulation hat ergeben, dass auf der St 2235 keine relevanten Blendwirkungen auftreten werden. Reflexionen finden lediglich im peripheren Sichtbereich von Fahrzeugführern statt (außerhalb des  $80^\circ$ -Sichtfeldes), sodass keine Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

## 6.2.2 Kreuzung „Abzweigung Greinhof“

Für die folgende Betrachtung wurde der Wald im Osten als Verschattungsquelle berücksichtigt. Die Höhe der Bäume wurde auf 20 m geschätzt.

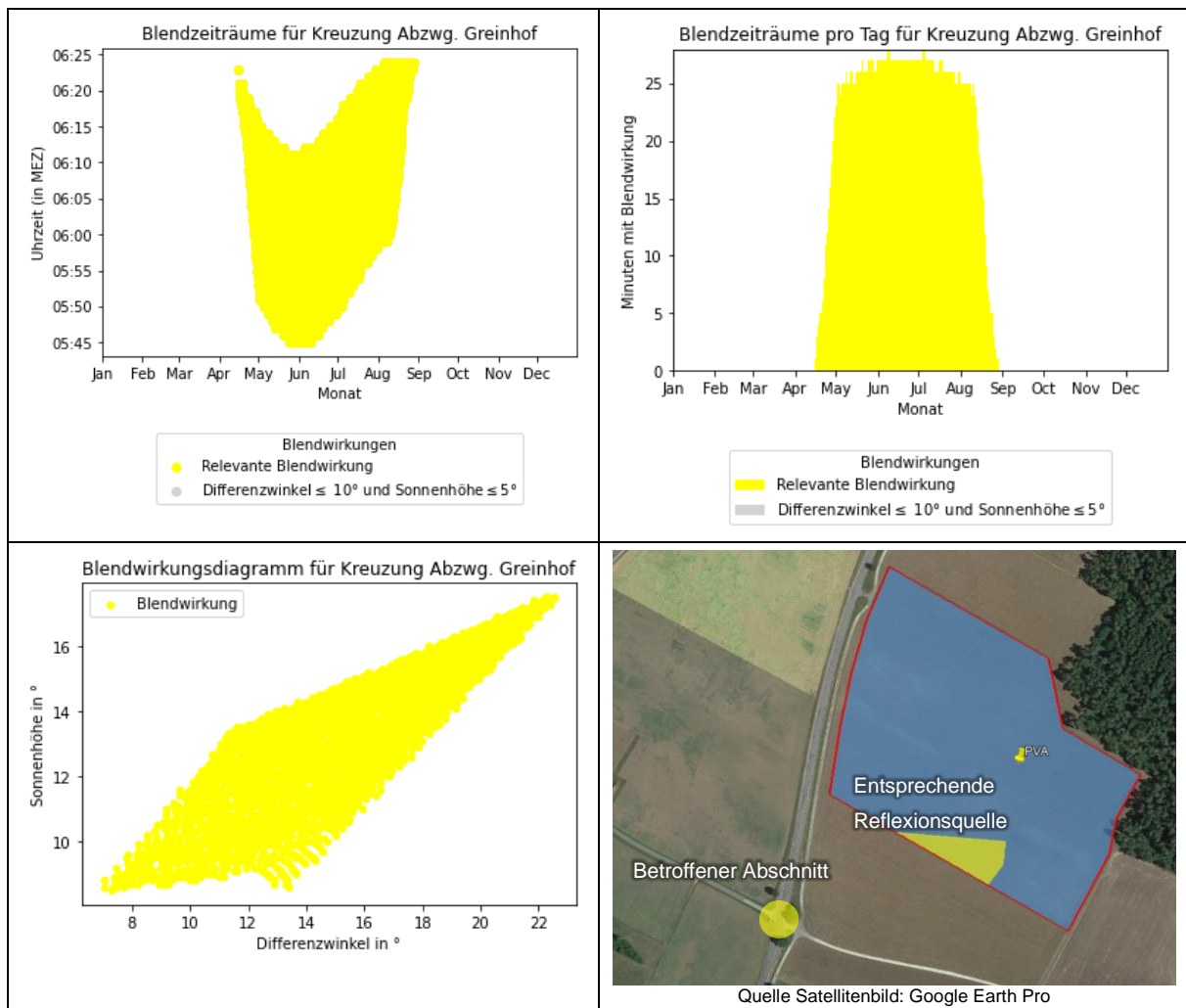


Abbildung 15: Blendwirkungen auf der Kreuzung „Abzweigung Greinhof“

An der Kreuzung („Abzweigung Greinhof“) können Fahrzeugführer, welche vom Weiler kommen, Blendwirkungen erfahren, wenn der Blick Richtung PVA gewendet ist. Die Reflexionen treten pro Tag für maximal 28 Minuten in den Morgenstunden auf. Die Reflexionen werden von Solarmodulen im südlichen Anlagenbereich emittiert. Somit reflektieren keine Module, welche sich unmittelbar neben der St 2235 befinden.

Die Simulation ergeben, dass die Blendwirkungen der Reflexionen nicht sehr intensiv ausfallen werden. Es findet zwar eine Blendwirkung statt, jedoch ist diese voraussichtlich nicht intensiv genug, um sog. „Nachbilder“<sup>1</sup> zu verursachen (vorausgesetzt wird hier eine typische Blinzelreaktion der betroffenen Person und ein Abwenden des Blicks von den reflektierenden Modulen).

Insgesamt wird die Situation als vertretbar eingestuft, da das Verkehrsaufkommen vom Weiler als sehr gering eingeschätzt wird, sich das zeitliche Auftreten der Reflexionen auf wenige Minuten pro Tag beschränkt, die Reflexionen laut Simulation nicht zu starken Blendwirkungen

<sup>1</sup> Wenn eine starke Blendwirkung erfahren wird, kann das Sichtfeld vorübergehend durch optische Eindrücke in Form der wahrgenommenen Blendquelle beeinträchtigt bleiben (Überreizung der Netzhaut). Diese optischen Eindrücke werden als „Nachbilder“ bezeichnet. Die Auswertung basiert auf der Methodik von Ho et al. [8].



führen werden und der reflektierende Teil der PVA nicht unmittelbar neben der St 2235 liegt (der Verkehr kann demnach in Richtung Norden beobachtet werden, ohne dass Reflexionen in das zentrale Sichtfeld treffen).

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] B. CATTANEO, „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, *EU Science Hub - European Commission*, 15. Juni 2018. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (zugegriffen 17. April 2021).
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur\\_aus\\_03\\_2018\\_1520588339.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf)
- [3] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [4] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [5] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [6] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [7] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.
- [8] C. K. Ho, C. M. Ghanbari, und R. B. Diver, „Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation“, *Journal of Solar Energy Engineering*, Bd. 133, Nr. 3, S. 031021, Aug. 2011, doi: 10.1115/1.4004349.

# Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT



## 4. Assumptions and Limitations

Below is a list of assumptions and limitations of the models and methods used in SGHAT:

- The software currently only applies to flat reflective surfaces. For curved surfaces (e.g., focused mirrors such as parabolic troughs or dishes used in concentrating solar power systems), methods and models derived by Ho et al. (2011) [1] can be used and are currently being evaluated for implementation into future versions SGHAT.
- SGHAT does not rigorously represent the detailed geometry of a system; detailed features such as gaps between modules, variable height of the PV array, and support structures may impact actual glare results. However, we have validated our models against several systems, including a PV array causing glare to the air-traffic control tower at Manchester-Boston Regional Airport and several sites in Albuquerque, and the tool accurately predicted the occurrence and intensity of glare at different times and days of the year.
- SGHAT assumes that the PV array is aligned with a plane defined by the total heights of the coordinates outlined in the Google map. For more accuracy, the user should perform runs using minimum and maximum values for the vertex heights to bound the height of the plane containing the solar array. Doing so will expand the range of observed solar glare when compared to results using a single height value.
- SGHAT does not consider obstacles (either man-made or natural) between the observation points and the prescribed solar installation that may obstruct observed glare, such as trees, hills, buildings, etc.
- The variable direct normal irradiance (DNI) feature (if selected) scales the user-prescribed peak DNI using a typical clear-day irradiance profile. This profile has a lower DNI in the mornings and evenings and a maximum at solar noon. The scaling uses a clear-day irradiance profile based on a normalized time relative to sunrise, solar noon, and sunset, which are prescribed by a sun-position algorithm [2] and the latitude and longitude obtained from Google maps. The actual DNI on any given day can be affected by cloud cover, atmospheric attenuation, and other environmental factors.
- The ocular hazard predicted by the tool depends on a number of environmental, optical, and human factors, which can be uncertain. We provide input fields and typical ranges of values for these factors so that the user can vary these parameters to see if they have an impact on the results. The speed of SGHAT allows expedited sensitivity and parametric analyses.
- Single- and dual-axis tracking compute the panel normal vector based on the position of the sun once it is above the horizon. Dual-axis tracking does not place a limit on the angle of rotation, unless the sun is below the horizon. For single-axis tracking, a maximum angle of rotation can be applied to both the clockwise and counterclockwise directions.

Ausschnitt wurde dem SGHAT-Handbuch (Solar Glare Hazard Analysis Tool) entnommen. Das vollständige Handbuch kann unter folgendem Link gefunden werden:

[https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge\\_user\\_manual\\_v1.pdf](https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf)