# **BLENDGUTACHTEN**

### **BAD RODACH**

VERSION 1.0

### **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 10.04.2023

### Review:

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

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

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

Buchholz i. d. Nordheide, 10.04.2023

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	10.04.2023	Mathias Röper

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einl	eitung
	1.1	Zielsetzung3
	1.2	Haftungsausschluss
	1.3	Datengrundlage3
	1.4	Methodik
2	Anla	agenbeschreibung4
3	Zus	ammenfassung der Ergebnisse6
4	Gru	ndlagen7
	4.1	Blendwirkung von Modulen
	4.2	Modellierung der Reflexionen
5	Lich	timmissionen in schutzbedürftigen Räumen10
	5.1	Übersicht10
6	Bler	ndwirkungen auf den Straßenverkehr11
	6.1	Übersicht11
	6.2	Erläuterung der Auswertungsmethodik12
	6.3	Ergebnisse14
7	Lite	raturverzeichnis15
Aı	nhang	A: Annahmen und Limitationen von SGHAT16
Α	bkür	zungsverzeichnis
		Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
		Lastkraftwagen Mitteleuropäische Normalzeit
Ы	KW	Personenkraftwagen
		Solar Glare Hazard Analysis Tool Koordinierte Weltzeit (englisch Coordinated Universal Time)

## 1 Einleitung

Die Energieallianz Bayern GmbH & Co. KG (Auftraggeber) hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, beauftragt, die möglichen Blendwirkungen der geplanten "PVA Bad Rodach" in 96476 Bad Rodach zu untersuchen und zu bewerten. Das vorliegende Gutachten wurde zusätzlich von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft (Review).

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

### 1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Gutachtens besteht darin, zu analysieren, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) das Sonnenlicht in einer Weise reflektieren, dass sie erhebliche Belästigungen in oder an angrenzenden Gebäuden verursachen oder den umliegenden Straßenverkehr durch Blendeffekte unzumutbar beeinträchtigen.

### 1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde ausschließlich für den Gebrauch des Auftraggebers und in dessen Auftrag erstellt. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Trotz sorgfältiger Durchführung können Fehler oder Irrtümer nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Folgeschäden, die aus der Nutzung des Gutachtens resultieren, wird keine Haftung übernommen. Die Haftung für Schadensersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Bei Weitergabe des Gutachtens an Dritte darf dieses weder verändert noch bearbeitet werden. Eine Haftung gegenüber Dritten, die sich den Inhalt dieses Gutachtens zunutze machen, ist grundsätzlich ausgeschlossen.

## 1.3 Datengrundlage

Information/Daten

Angaben zur geplanten PVA

Umliegende Straßenverläufe
Umliegende Vegetation
Umliegende Bebauung

Höhenmodell (DGM1)

Quelle

Auftraggeber

Google Earth Pro, OpenStreetMap

Bayerische Vermessungsverwaltung

Tabelle 1: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

#### 1.4 Methodik

Nach Angaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Ermittlung und Beurteilung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [1]. Die LAI hat jedoch mit dem Dokument "Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen" (im Folgenden LAI-Leitfaden genannt) einen Regelwerk zur Verfügung gestellt, der Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen enthält [1]. Die Methodik des Gutachtens zur Bewertung von PVA-bedingten Blendwirkungen auf schutzbedürftige Räume basiert auf dem LAI-Leitfaden.

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr sind in keiner Norm, Leitlinie oder sonstigen Regelwerken definiert bzw. standardisiert und werden auch im LAI-Leitfaden nicht thematisiert. Die Bewertung der Blendwirkungen auf die umgebenden Verkehrswege erfolgte daher auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und etablierter Verfahren, die in diesem Bericht an entsprechender Stelle dargestellt werden.

## 2 Anlagenbeschreibung

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) befindet sich in der Gemeinde Bad Rodach (PLZ: 96476) im Landkreis Coburg. Die PVA stellt eine Freiflächenanlage dar. Abbildung 1 zeigt den Grundriss der PV-Fläche (Baugrenze).

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

Die folgende Tabelle führt relevante Anlagenparameter auf.

Tabelle 2: Relevante Anlagenparameter

Anlagenparameter	Angabe	
Größe der PV-Fläche	ca. 4,9 ha	
(innerhalb der Baugrenze)		
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd (± 5°)	
Modulunterkante	ca. 80 cm	
Moduloberkante	ca. 3 m	
Modulneigung	20°	
Geokoordinaten	50.345411°, 10.855666°	
(Breite, Länge)		



Abbildung 1: Grundriss des PV-Fläche (Baugrenze) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro





Abbildung 2: Blick auf das PVA-Gelände von der südlichen Anlagengrenze nach Norden



Abbildung 3: Blick von der Straße im Westen auf das Anlagengelände (hinter der Baumreihe)

## 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des vorliegenden Gutachtens zusammengefasst wiedergegeben. Detaillierte Darstellungen der Sachverhalte, Informationen bzgl. der Auswertungen und zugrundeliegende Daten/Annahmen können den entsprechenden Kapiteln entnommen werden.

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

#### **Immissionsschutz**

Die geplante Photovoltaikanlage wird keine Belästigungen durch Blendwirkungen oder Lichtimmissionen in/an schutzwürdigen Räumen in der Umgebung verursachen.

#### Verkehrssicherheit

Als bedeutende Verkehrswege wurden die Kreisstraße CO 18 im Osten/Südosten und die Verbindungsstraße nach Oettingshausen im Westen/Südwesten der PVA ermittelt.

Die Simulation hat ergeben, dass keine beeinträchtigenden Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld der Fahrzeugführer auf der Kreisstraße CO 18 und der Verbindungsstraße nach Oettingshausen zu erwarten sind.

#### **Fazit**

Das Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass die geplante Photovoltaikanlage aus blendungsschutztechnischer Perspektive in Einklang mit ihrer Umgebung realisiert werden kann.

## 4 Grundlagen

### 4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein PV-Modul setzt sich aus zahlreichen Solarzellen zusammen, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Um Stabilität zu gewährleisten und vor Witterungseinflüssen zu schützen, sind die Solarzellen normalerweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas) angebracht. Das Modulglas ist maßgeblich für mögliche Blendwirkungen verantwortlich. Da die erzeugte elektrische Energie in direktem Verhältnis zur Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen steht, bemühen sich Modulhersteller, Reflexionen am Modulglas zu reduzieren – je weniger Reflexionen, desto höher der Ertrag. Daher verfügt das Modulglas typischerweise über eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sogenannte Antireflexschicht. Beide Elemente gewährleisten, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und Reflexionsverluste minimiert werden [2].

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln  $\theta$  (siehe Abbildung 4) lediglich einen kleinen Teil des Sonnenlichts (etwa 5 %). Studien zeigen jedoch, dass trotz Texturierung und Antireflexbeschichtung der Anteil des reflektierten Sonnenlichts mit ansteigendem Einfallswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 5).

Da bereits Reflexionen von weniger als 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [1], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

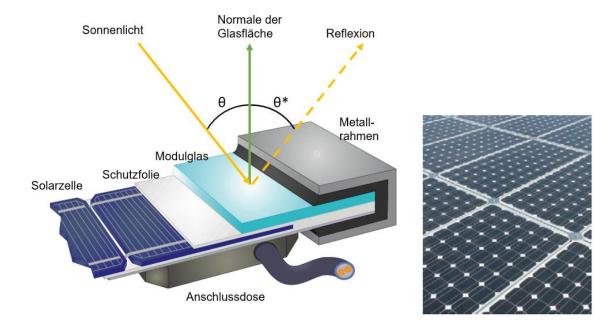


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes "Einfallswinkel = Ausfallswinkel" – Quelle: [3] (modifiziert)

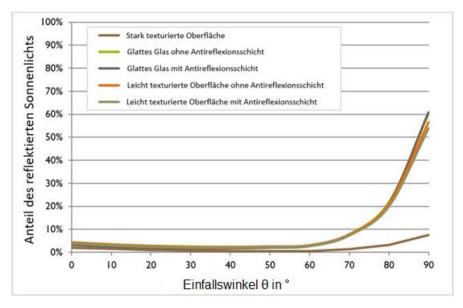


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [4], modifiziert

Die Oberflächentexturierung des Modulglases bewirkt eine weniger intensive, aber diffuse (gestreute) Reflexion des Sonnenlichts, wodurch der Immissionsort der Reflexion vergrößert wird. Daher sind die Intensitäten von Reflexionen an Solarmodulen nicht mit denen an beispielsweise glatten Fensterscheiben vergleichbar, bei denen das Sonnenlicht gerichteter reflektiert wird. Neue PV-Module verfügen in der Regel über eine Antireflexbeschichtung und zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Es wird angenommen, dass dies auch für die Solarmodule der geplanten PVA gilt.



Abbildung 6: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) – Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

### 4.2 Modellierung der Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Hierzu werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [1]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann für jeden Zeitpunkt im Jahr auf Basis mathematischer Funktionen ermittelt werden [5]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlungsgesetze lässt sich nachvollziehen, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Die Berücksichtigung von modulglasspezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch präzisere Betrachtung [4].

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

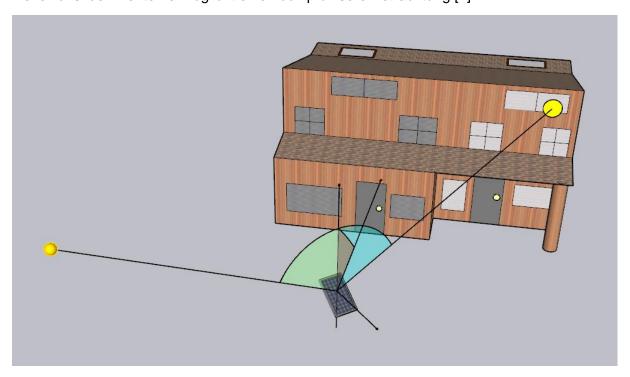


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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. Eine Auflistung der Annahmen und Einschränkungen zur Simulation befindet sich in Anhang A.

## 5 Lichtimmissionen in schutzbedürftigen Räumen

## 5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzbedürftige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [1]:

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

- 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 weiteren Umgebung der PVA gibt es keine schutzbedürftigen Räume. In der Regel können relevante Belästigungen durch PVA-bedingte Blendwirkungen ab einer Entfernung von 100 m ausgeschlossen werden [1]. Außerdem können nach Süden ausgerichtete PV-Module keine Reflexionen nach Norden oder Süden emittieren.

Die am nächsten gelegenen schutzbedürftigen Räumlichkeiten stellen die Wohnhäuser eines Hofes südlich der PVA und die Wohnhäuser im Stadtteil Oettingshausen im Nordwesten dar. Die nächstgelegenen Wohnhäuser sind allesamt mehr als 500 m von der PVA entfernt und liegen zudem südlich bzw. nördlich der PVA – also in Richtungen, in denen die PVA keine Reflexionen emittieren kann.

Belästigungen durch PVA-bedingte Blendwirkungen in/an schutzbedürftigen Räumen können demnach ausgeschlossen werden.



Abbildung 8: Übersicht der nächstgelegenen schutzbedürftigen Räume - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

## 6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

### 6.1 Übersicht

Im Folgenden werden die relevanten Verkehrswege aufgeführt, die aufgrund ihrer räumlichen Nähe und Position zur geplanten Photovoltaikanlage hinsichtlich möglicher Blendwirkungen untersucht wurden. Land- und forstwirtschaftliche Wege (sogenannte Feldwege) sowie Straßen mit lediglich sporadischem Verkehrsaufkommen werden als nicht relevant erachtet und daher nicht weiter betrachtet.

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

Als relevante Verkehrswege wurden die Kreisstraße CO 18 im Osten/Südosten sowie die Verbindungsstraße nach Oettingshausen im Westen/Südwesten identifiziert.



Abbildung 9: Übersicht der relevanten Verkehrswege – Quelle Karte: OpenStreetMap

### 6.2 Erläuterung der Auswertungsmethodik

In der Simulation wurden PKW- und LKW-Fahrer als Verkehrsteilnehmer berücksichtigt, welche sich in ihrer Sitzhöhe (und damit Augenhöhe) unterscheiden. Die angenommene Augenhöhe der PKW-Fahrer beträgt 1,20 m und die der LKW-Fahrer 2,65 m.

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

Zur Beurteilung von Blendwirkungen im Verkehr durch Photovoltaikanlagen ist es gängige Praxis, ein für Blendwirkungen relevantes (bzw. kritisches) Sichtfeld in Bezug zur Fahrtrichtung zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob Reflexionen in diesem Sichtfeld auftreten. Reflexionen im peripheren Sichtbereich einer Person führen normalerweise nicht zu erheblichen Beeinträchtigungen. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [6] und [7] auf 60° festgelegt (je 30° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Es wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6]. Abbildung 11 zeigt das relevante Sichtfeld einer fahrenden Person. An Kreuzungen oder Bahnübergängen wird das relevante Sichtfeld jedoch auf 180° erweitert, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen. Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtfeldes werden pauschal als vernachlässigbar betrachtet (und auch in der Simulation nicht erfasst).

Des Weiteren gelten PVA-bedingte Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld als vernachlässigbar, wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel ≤ 10° zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne ≤ 6,5° beträgt. Wenn beide Kriterien erfüllt sind, überlagert die Sonne die Blendwirkung der PVA aus der gleichen Richtung (definiert in Anlehnung an [1]) und kann in der Regel nicht mehr durch eine Blende abgeschirmt werden (Annahme). Derartige Blendwirkungen/Reflexionen werden im Folgenden separat dargestellt.

Alle Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in Mitteleuropäischer Normalzeit (MEZ, UTC+1) angegeben. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels, sodass die ermittelten Zeiträume für Lichtimmissionen bzw. Blendwirkungen "Worst-Case"-Betrachtungen darstellen.

In der Simulation werden normalerweise keine Hindernisse (wie Bäume) berücksichtigt. Hindernisse könnten jedoch die Sicht auf die PVA einschränken oder diese verschatten, wodurch potenzielle Blendzeiten reduziert werden. Falls Hindernisse in die Betrachtung einbezogen wurden, wird dies an der entsprechenden Stelle ausdrücklich erwähnt.





Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

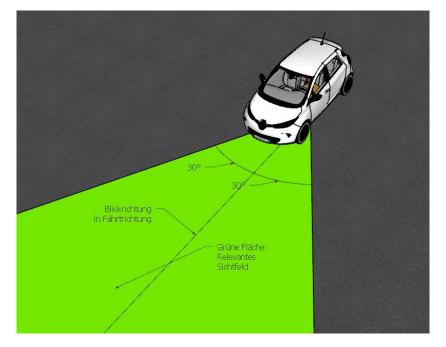


Abbildung 11: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt
– Quelle: Eigene Abbildung

## 6.3 Ergebnisse

Die Simulation hat ergeben, dass keine beeinträchtigenden Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld der Fahrzeugführer auf der Kreisstraße CO 18 und der Verbindungsstraße nach Oettingshausen zu erwarten sind.

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

### 7 Literaturverzeichnis

[1] 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-2015-11-03mitformelkorrektur\_aus\_03\_2018\_1520588339.pdf

Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

- [2] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [3] Volker Quaschning, Regenerative Energiesysteme: Technologie Berechnung Simulation, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [4] J. Yellowhair und C. K. Ho, "Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts", San Diego, California, USA, San Diego, California, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [5] J. A. Duffie und W. A. Beckman, "Solar Engineering of Thermal Processes", Bd. 4, 2013.
- [6] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), "Blendung durch Photovoltaikanlagen OVE-Richtlinie R 11-3". 2016.
- [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.

## Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT





Aktenzeichen: BGA-PVFFA-0137

#### 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.

5 | Page

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

Blendgutachten PVA Bad Rodach Seite 16 von 16