



Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger | Max Krug, St. g. Techniker

SONNWINN

Netzwerk unabhängiger Gutachter für Photovoltaik und Stromspeicher

BLENDGUTACHTEN

PVA LINDAU

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, 20.10.2023

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. Nordheide, 20.10.2023

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	20.10.2023	Mathias Röper

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Übersicht der angewendeten Methodiken	4
2	Anlagenbeschreibung.....	5
3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	7
4	Grundlagen	8
4.1	Blendwirkung von Modulen	8
4.2	Berechnung von Reflexionen	10
4.3	Verwendete Software	10
5	Blendwirkungen auf Gebäude	11
5.1	Auswertungsmethodik	11
5.2	Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA	12
5.3	Observationspunkte	13
5.4	Ergebnisse	14
6	Blendwirkungen auf den Straßenverkehr.....	16
6.1	Auswertungsmethodik	16
6.2	Relevante Verkehrswege	18
6.3	Observationspunkte	19
6.4	Ergebnisse	20
7	Diskussion der Ergebnisse	21
7.1	Gebäude	21
7.2	Straßen	21
8	Literaturverzeichnis	22
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT	23

1 Einleitung

Herr Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	dHb Solarsysteme GmbH
Projektname	PVA Lindau
Adresse	88131 Waltersberg (Lindau)
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand <input type="checkbox"/> Im Bau <input checked="" type="checkbox"/> Planung

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

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlage Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen bzw. Beeinträchtigungen für folgende Immissionsorte auftreten können:

- Schutzwürdige Räume
- Straße

Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit belästigende bzw. beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Zudem werden die Ergebnisse bewertet.

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

Tabelle 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA (inkl. Fotoaufnahmen)	Auftraggeber
Umliegende Straßenverläufe	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Vegetation	
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell Anlagengelände und Umgebung (DGM1)	Bayerische Vermessungsverwaltung

1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken

Die Auswertung der Blendwirkungen auf die Immissionsorte wurde entsprechend folgender Tabelle durchgeführt.

Tabelle 3: Methodiken

Immissionsort	Methodik
Schutzbedürftige Räume (Wohnräume, Büros etc.)	Gemäß dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden)
Straßen und Bahnstrecken	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6.1)

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA besteht aus zwei PV-Feldern, welche durch eine Gemeindestraße separiert werden.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Wert/Angabe
Geokoordinaten (Breite, Länge)	47.591040°, 9.710007°
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristalline Module mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
Größe der PV-Fläche	ca. 1,2 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	PVA West: 193° PVA Ost: 188°
Modulneigung	15°
Höhe Modulunterkante	0,8 m
Höhe Moduloberkante	2,51 m



*Abbildung 1: Grundriss der PV-Fläche aufgeteilt in PVA Ost und PVA West
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro*



Abbildung 2: Belegungsplan der geplanten PVA - Quelle: Auftraggeber

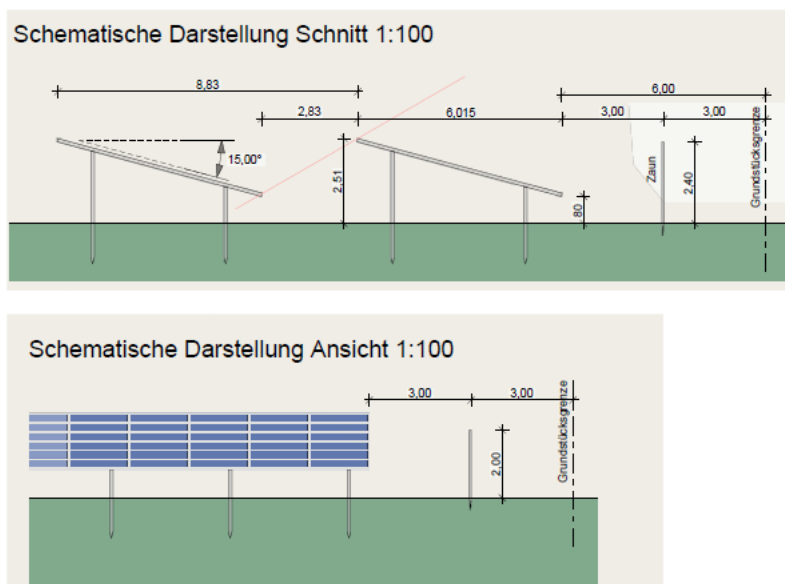


Abbildung 3: Systemschnitt der Modultische - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Die geplante PVA wird keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen in/an den umliegenden Hofgebäuden verursachen.

Die geplante PVA wird keine nennenswerten Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für Fahrzeugführer auf der Gemeindestraße Höhenreute, die durch die PV-Felder führt, verursachen.

Fazit

Die PVA kann aus blendschutztechnischer Sicht wie geplant realisiert werden.

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 [1].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (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 [2], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

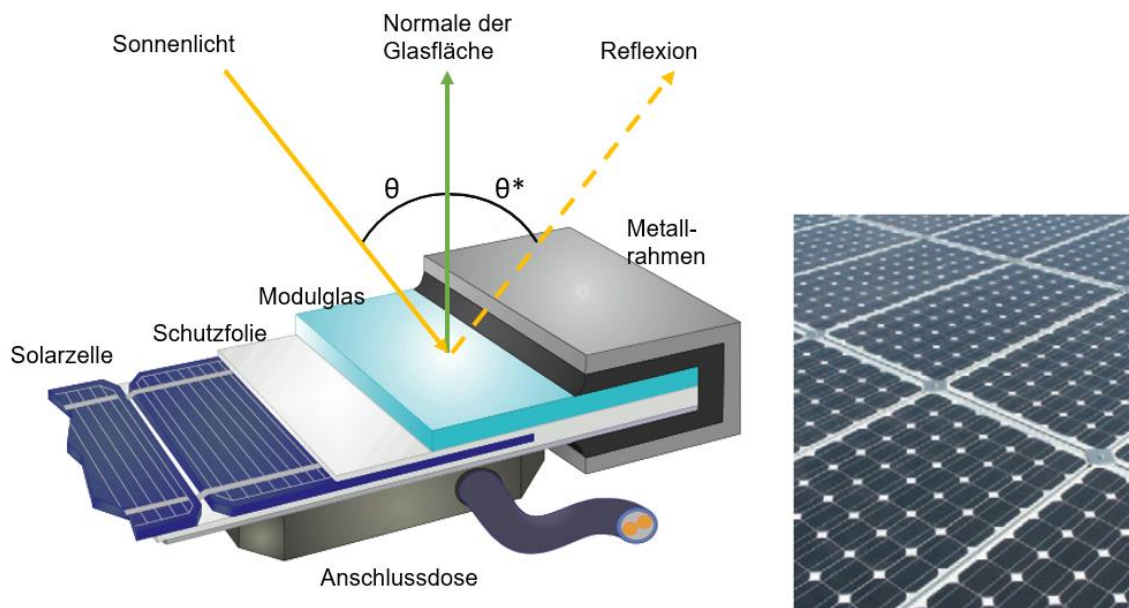


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

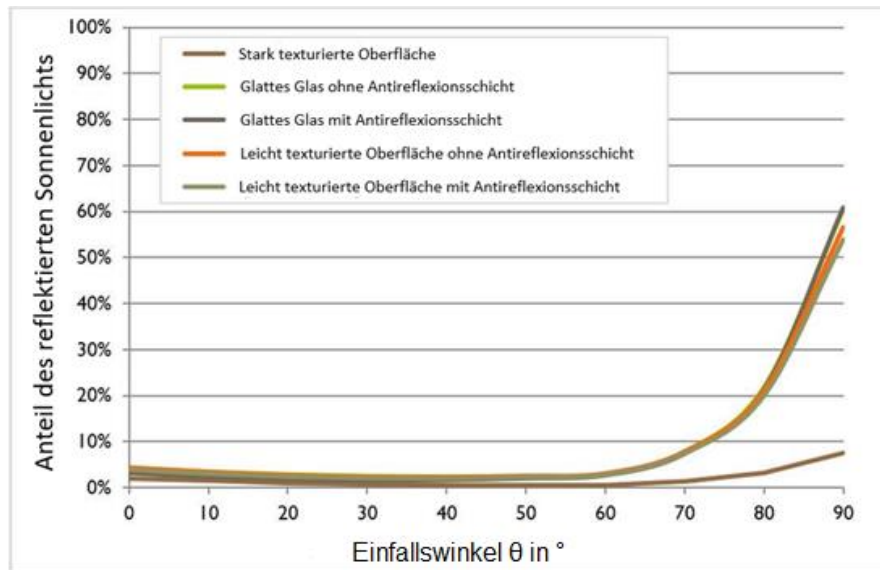


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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. Dies gilt auch für den später verwendeten Modultyp.



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 Berechnung von Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Hierzu werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. 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].

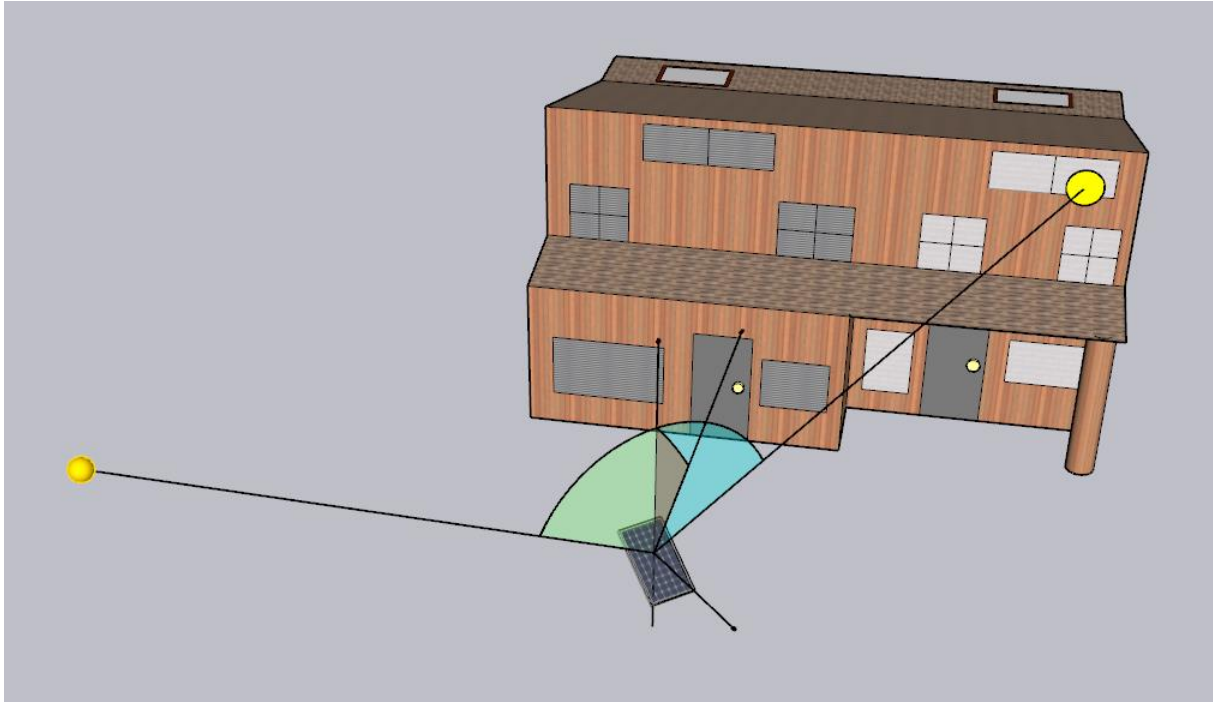


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software

Für die Berechnungen der Reflexionen/Blendwirkungen wurde die Software ForgeSolar verwendet. Dabei wurden die Reflexionen/Blendwirkungen 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. Im Rahmen der Simulation werden die Höhendaten der PV-Fläche sowie der Immissionsorte berücksichtigt. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels. Demnach wird ein abstrakter Worst-Case betrachtet. Eine erweiterte Auflistung der Annahmen und Einschränkungen bzgl. der Simulation befindet sich in Anhang A.

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

Die Auswertung der Blendwirkungen auf umliegende Gebäude (inkl. Terrassen und Balkone) basiert auf dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [2].

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

- 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)

Räume, die keiner dieser Kategorien zuzuordnen sind, wurden im Rahmen des Gutachtens nicht auf Blendwirkungen untersucht.

Gemäß dem LAI-Leitfaden gelten (ca.) 100 Meter als räumlicher Grenzwert: Liegt ein Immissionsort weiter als 100 Meter von der PVA entfernt, können erhebliche Belästigungen in der Regel ausgeschlossen werden.

Laut dem LAI-Leitfaden soll zur Ermittlung der Blendzeiten ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell verwendet werden, bei dem die Solarmodule als ideal verspiegelte Flächen dargestellt werden. Da eine Spiegelfläche das Sonnenlicht gerichtet reflektiert, findet keine oder nur eine sehr geringe Streuung des Sonnenlichts statt. Je geringer die Streuung, desto kürzer sind die Blendzeiten. In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um dennoch eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden im vorliegenden Gutachten die Blendwirkungen, die lediglich mit dem vereinfachten Modell ermittelt würden, als „Kernblendung“ und die übrigen als „gestreute Reflexion“ bezeichnet und stets differenzierbar dargestellt (sofern relevante Blendwirkungen auftreten).

Zudem sind laut dem Leitfaden Reflexionen, die am Immissionsort mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendungen zu betrachten. Dies berücksichtigt den Umstand, dass bei tiefstehender Sonne PVA-bedingte Blendwirkungen von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert werden.

Laut dem LAI-Leitfadens liegt eine erhebliche Belästigung durch PVA-bedingte Blendwirkungen vor, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden (1.800 Minuten) pro Jahr *Kernblendungen* erfährt.

Es hat sich bewährt, in der Simulation nicht jedes einzelne Gebäude in der Umgebung der PVA auszuwerten, sondern lediglich die nächstgelegenen in verschiedenen Himmelsrichtungen. Im Rahmen der Simulation wird darauf geachtet, die potenziell am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Räume zu analysieren (Worst-Case-Betrachtung).

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt.

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

Ab einem Abstand von 100 m zwischen einem Gebäude und der PVA können erhebliche Belästigungen i. d. R. ausgeschlossen werden [2]. Abbildung 8 illustriert den Bereich, der sich in einem Abstand von 100 m oder weniger zur PVA befindet.

Es ist zu erkennen, dass sich innerhalb dieser 100-Meter-Abstandszone drei Hof-Gebäude befinden, die ggf. schutzwürdige Wohnräume beinhalten.



Abbildung 8: Übersicht des 100 m Abstandes – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die nächstgelegenen Gebäude südwestlich der PVA wurden vier sogenannte „Observationspunkte“ (OP) definiert, bezeichnet als OP H1 bis OP H4. Die OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftreffende Reflexionen.

Die OP wurde in einer Höhe von 4,6 m (über der Geländeoberkante) festgelegt. Diese Höhe entspricht ungefähr der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss. Generell erfahren höhergelegene Immissionsorte stärkere Blendwirkungen als tiefergelegene.



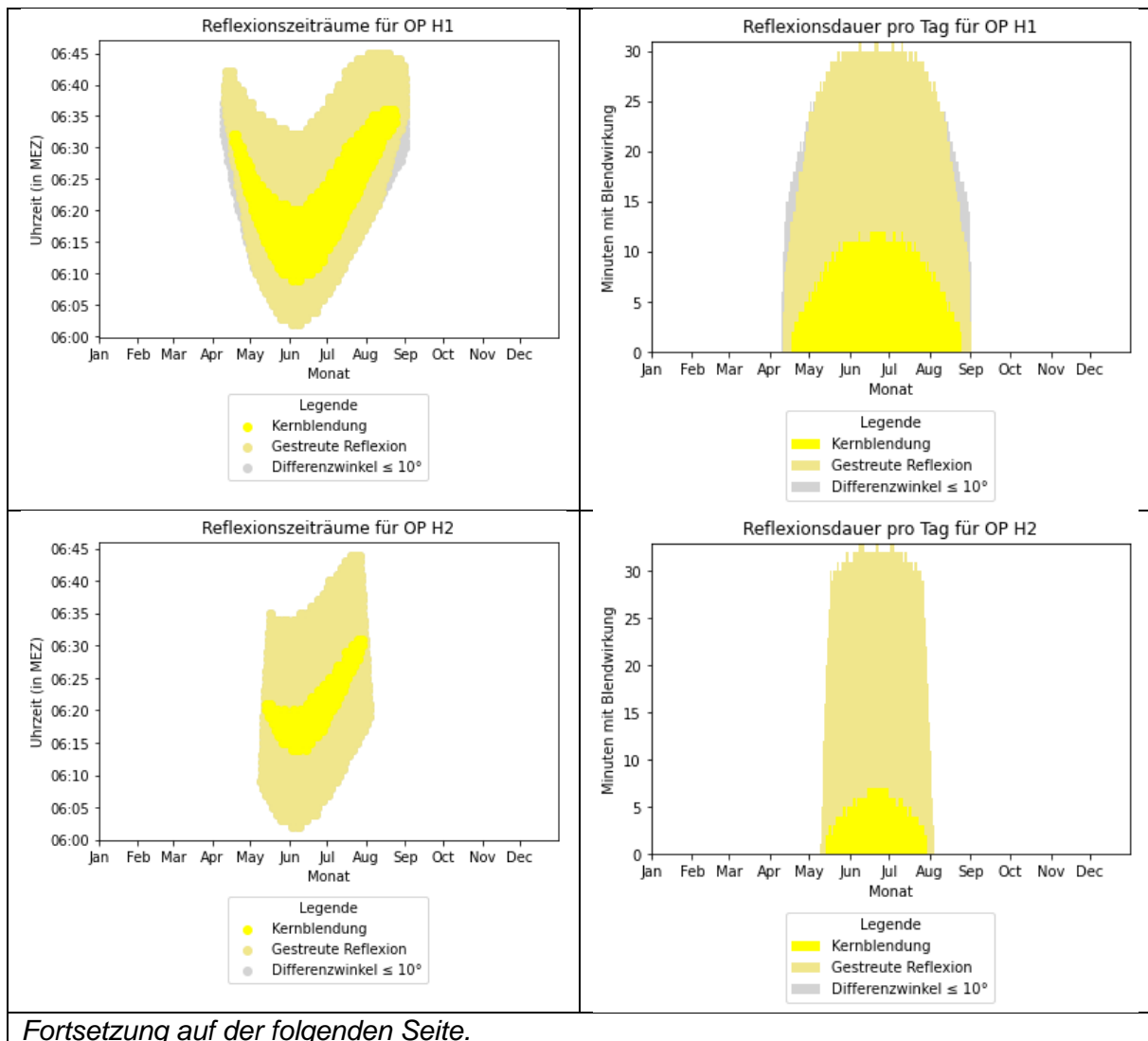
Abbildung 9: Positionen der OP Hx - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

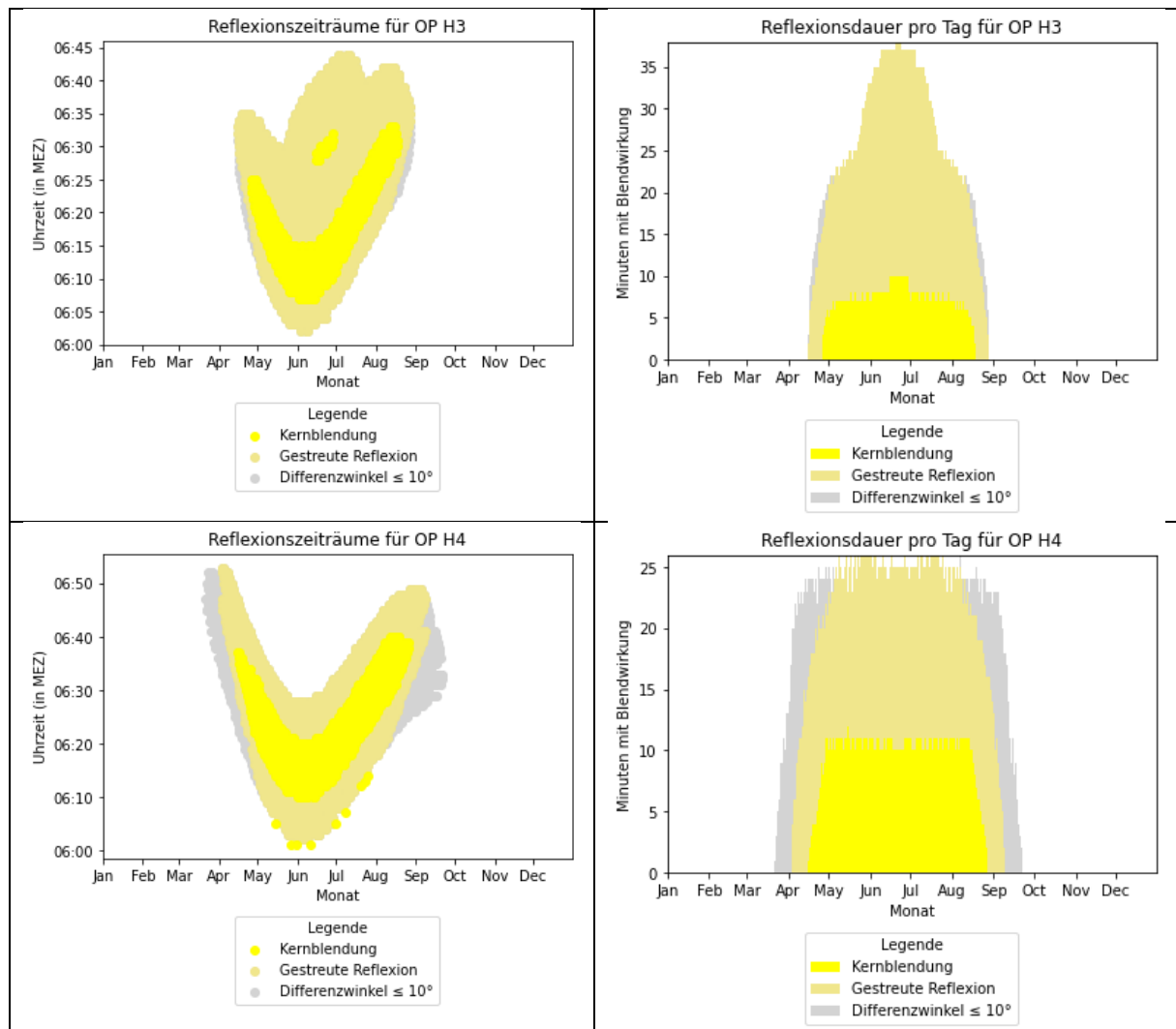
5.4 Ergebnisse

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse bezüglich der Blendwirkungen (Kernblendung) an den OP Hx

Observationspunkt (OP)	Kernblendung in Minuten	
	maximale Dauer pro Tag	jährliche Gesamtbblenddauer
1	12	1.110
2	7	388
3	10	837
4	12	1.296
LAI-Grenzwerte: Max. 30 Min. Kernblendung pro Tag, max. 1.800 Min. Kernblendung pro Jahr.		

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisse für die OP Hx





6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf den Straßen 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 im Folgenden dargestellt werden.

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder (welche sich dann durch ihre Relevanz bzgl. Blendwirkungen unterscheiden) zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob Reflexionen in diesen Sichtfeldern auftreten. Es wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6].

Es wird zwischen folgenden Sichtfeldern bzw. Sichtfeldgrenzen unterschieden (siehe Abbildung 11 für eine grafische Darstellung):

- **Erheblichkeitsgrenze:** In Anlehnung an [6] und [7] wird eine Erheblichkeitsgrenze von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen.
- **Beeinträchtigungsgrenze:** In Anlehnung an [8] wird zudem eine Beeinträchtigungsgrenze von $\pm 50^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen Beeinträchtigungen. Demnach wird diesen Reflexionen im Rahmen des Gutachtens bei normaler Fahrt keine Blendwirkung (im Sinne einer nennenswerten physiologischen Beeinträchtigung) zugeschrieben. *Ausnahme: Auf Bahnstrecken wird die Beeinträchtigungsgrenze im Rahmen der Begutachtung auf $\pm 30^\circ$ reduziert. Es wird angenommen, dass ein blendfreies $\pm 30^\circ$ ausreicht, um Beeinträchtigungen bei der Wahrnehmung von Bahnsignalen und Hindernissen auf der Strecke ausschließen zu können.*

Für die Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr genügt es, lediglich LKW-Fahrer zu betrachten, da diese höher sitzen als PKW-Fahrer - und höher gelegene Immissionsorte generell stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt sind (demnach wird somit der Worst-Case betrachtet).

Die Augenhöhe von LKW-Fahrern wird in der Simulation auf 2,65 m über dem Boden definiert.

Des Weiteren gelten PVA-bedingte Blendwirkungen selbst innerhalb der Erheblichkeitsgrenze als vernachlässigbar (irrelevant), wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne $\leq 5^\circ$ 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). Die Reflexionen der PVA stellen dann keine zusätzliche Beeinträchtigung dar.

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt.

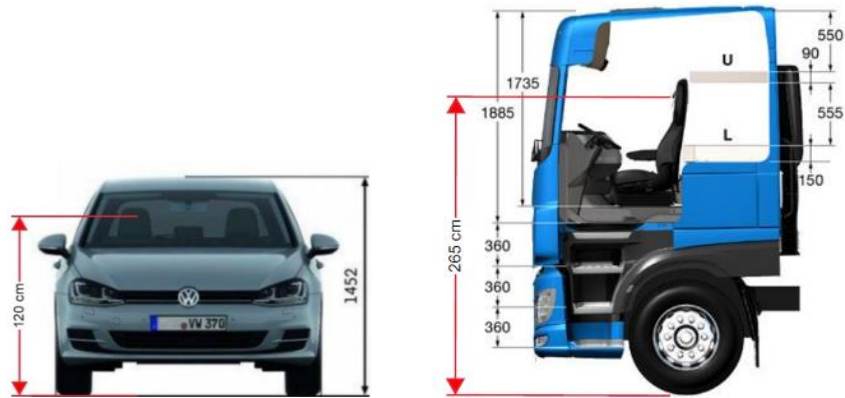


Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
– Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

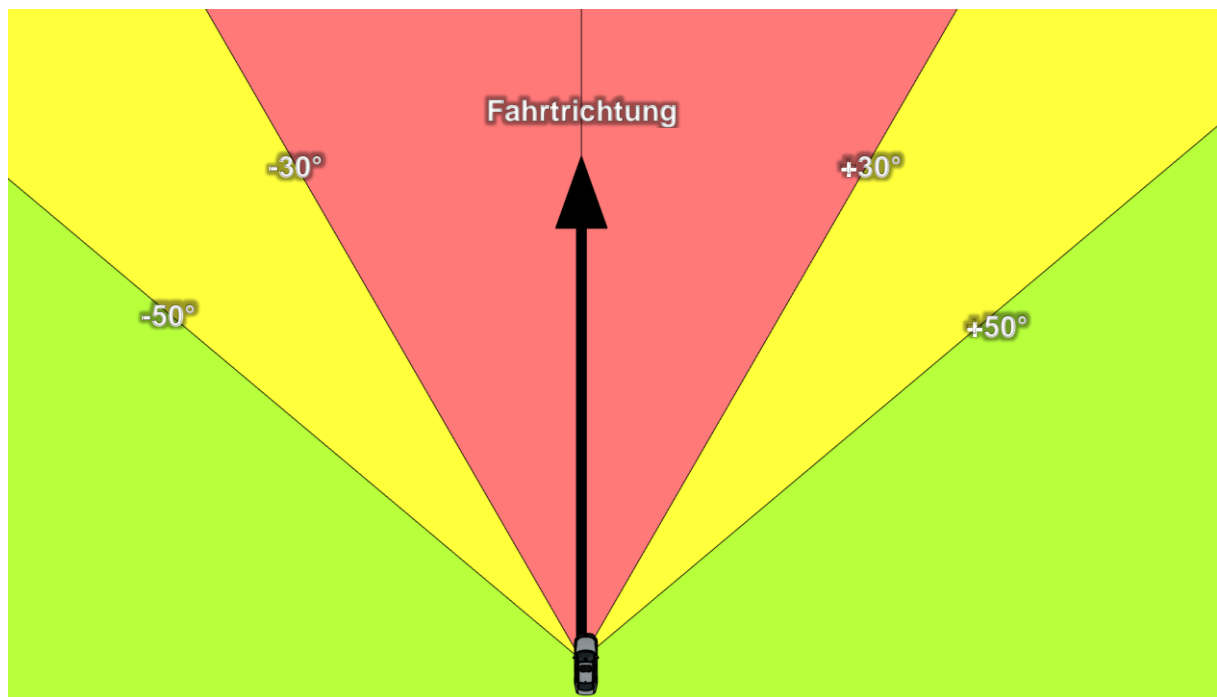


Abbildung 11: Definierte Sichtfelder einer fahrenden Person:
Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$ (Bahnstrecken: $\pm 30^\circ$)
– Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

In der unmittelbaren Umgebung der PVA wurden folgende Verkehrswege als relevant eingestuft:

- Gemeindestraße, die durch die PVA verläuft

Die übrigen Straßen in der unmittelbaren Umgebung stellen Wirtschaftswege dar. Aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens wird ihnen keine Relevanz beigemessen. Nur die als relevant eingestuften Verkehrswege wurden mittels Simulation auf mögliche Blendwirkungen untersucht.



Abbildung 12: Positionen des als relevant eingestuften Verkehrsweges - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden sogenannte „Observationspunkte“ (kurz OP) definiert. Diese OP fungieren in der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen.

Die OP S1 bis S7 stehen für den Straßenverkehr auf der Höhenreute. Dabei repräsentieren sie den Verkehr in Fahrtrichtung Norden und Süden. Die OP S1 bis S7 wurden in einer Höhe von 2,65 m über dem Boden positioniert, was ungefähr der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht.

Abbildung 13 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



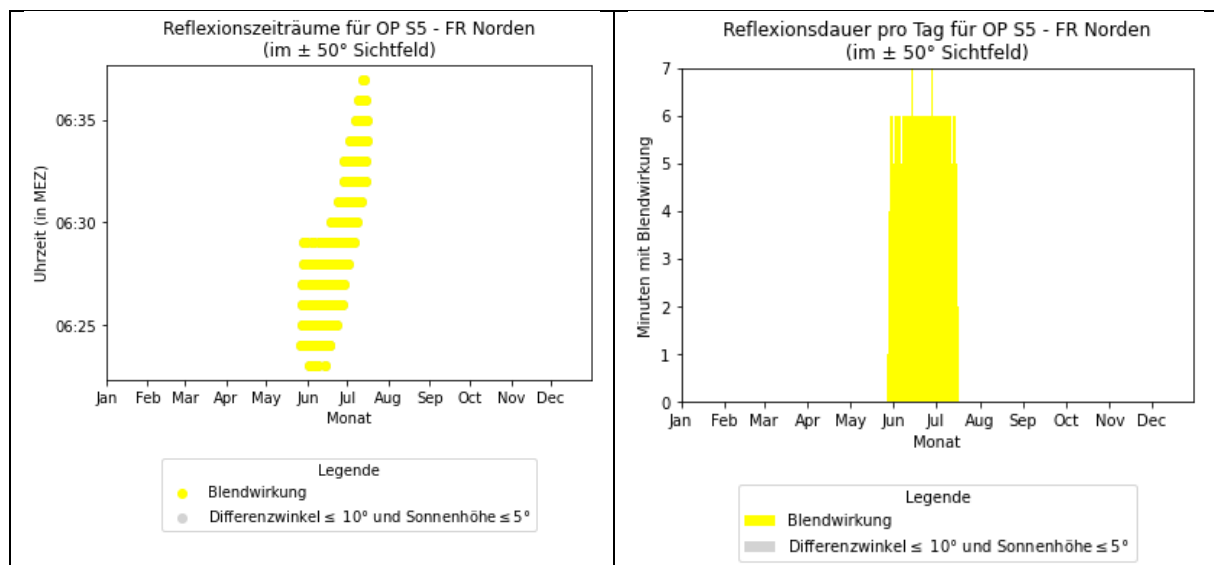
Abbildung 13: Positionen der OP Sx - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

6.4 Ergebnisse

Tabelle 6: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

Observationspunkt	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld auf Straßen, $\pm 30^\circ$ auf Bahnstrecken) von der Sonne überlagert?	Anmerkung
OP S1	Norden	keine Reflexionen	-	-
OP S2		keine Reflexionen	-	-
OP S3		$>50^\circ$	-	-
OP S4		$>50^\circ$	-	-
OP S5		$47,7^\circ$	-	-
OP S6		keine Reflexionen	-	-
OP S7		keine Reflexionen	-	-
OP S1	Süden	keine Reflexionen	-	-
OP S2		keine Reflexionen	-	-
OP S3		$>50^\circ$	-	-
OP S4		$>50^\circ$	-	-
OP S5		$>50^\circ$	-	-
OP S6		keine Reflexionen	-	-
OP S7		keine Reflexionen	-	-

Ergebnisdiagramme 2: Ergebnisse für die OP Sx, bei denen Reflexionen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze festgestellt wurden



7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umkreis der PVA befinden sich verschiedene Hof-Gebäude. Die Simulation hat ergeben, dass die LAI-Grenzwerte in/an den Hofgebäuden eingehalten werden. Erhebliche Belästigungen durch Blendwirkungen können ausgeschlossen werden.

7.2 Straßen

Verkehrsteilnehmer auf der Gemeindestraße, die durch die PVA verläuft, werden keine Reflexionen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze ($\pm 30^\circ$ Sichtfeld) erfahren. Lediglich in Fahrtrichtung Norden und für wenige Minuten im Jahr können Reflexionen leicht innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld) auftreten. Demzufolge sind Reflexionen nur im peripheren Sichtbereich von Verkehrsteilnehmern zu erwarten. Es werden demnach keine relevanten Beeinträchtigungen für den Straßenverkehr erwartet.

8 Literaturverzeichnis

- [1] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [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
- [3] Volker Quaschnig, *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: 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.
- [8] Jason A- Rogers, Clifford K. Ho, Andrew Mead, Angel Millan, Melissa Beben, und Gena Drechsler, „Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach“. 2015. Zugegriffen: 15. April 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201512.pdf

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