



[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 OBERZEILING

VERSION 2.0

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik  
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1  
25436 Moorrege  
+49 (0) 4122 509100  
[mathias.roeper@sonnwin.de](mailto:mathias.roeper@sonnwin.de)  
[www.sonnwin.de](http://www.sonnwin.de)

Moorrege, 28.05.2023

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Mathias Röper', is written over a solid horizontal line.

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
2.0	Neues Anlagenlayout (Modultische)	28.05.2024	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	31.10.2023	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 .....	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.....	15
6.1	Auswertungsmethodik.....	15
6.2	Relevante Verkehrswege .....	17
6.3	Observationspunkte .....	18
6.4	Ergebnisse.....	19
7	Diskussion der Ergebnisse und Maßnahmen .....	22
7.1	Gebäude.....	22
7.2	Straßen.....	24
7.3	Allgemeine Hinweise.....	27
8	Literaturverzeichnis .....	28
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT .....	29

# 1 Einleitung

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

Tabella 1: Projektübersicht

Auftraggeber	SEAC Projekt GmbH
Projektname	PVA Oberzeiling
Standort der PVA	84307 Eggenfelden
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand   <input type="checkbox"/> Im Bau   <input checked="" type="checkbox"/> Planung

## 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
- Relevante Straßen

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

Tabella 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)	Bayrische 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	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6.1)

## 2 Anlagenbeschreibung

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Wert/Angabe
Geokoordinaten (Breite, Länge)	48.4351150°, 12.7674756°
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristalline Module mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
Größe der PV-Fläche(n)	ca. 3,5 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	176° Süd
Modulneigung	14°
Höhe Modulunterkante	0,8 m
Höhe Moduloberkante	2,57 m



Abbildung 1: Grundriss der PV-Felder - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

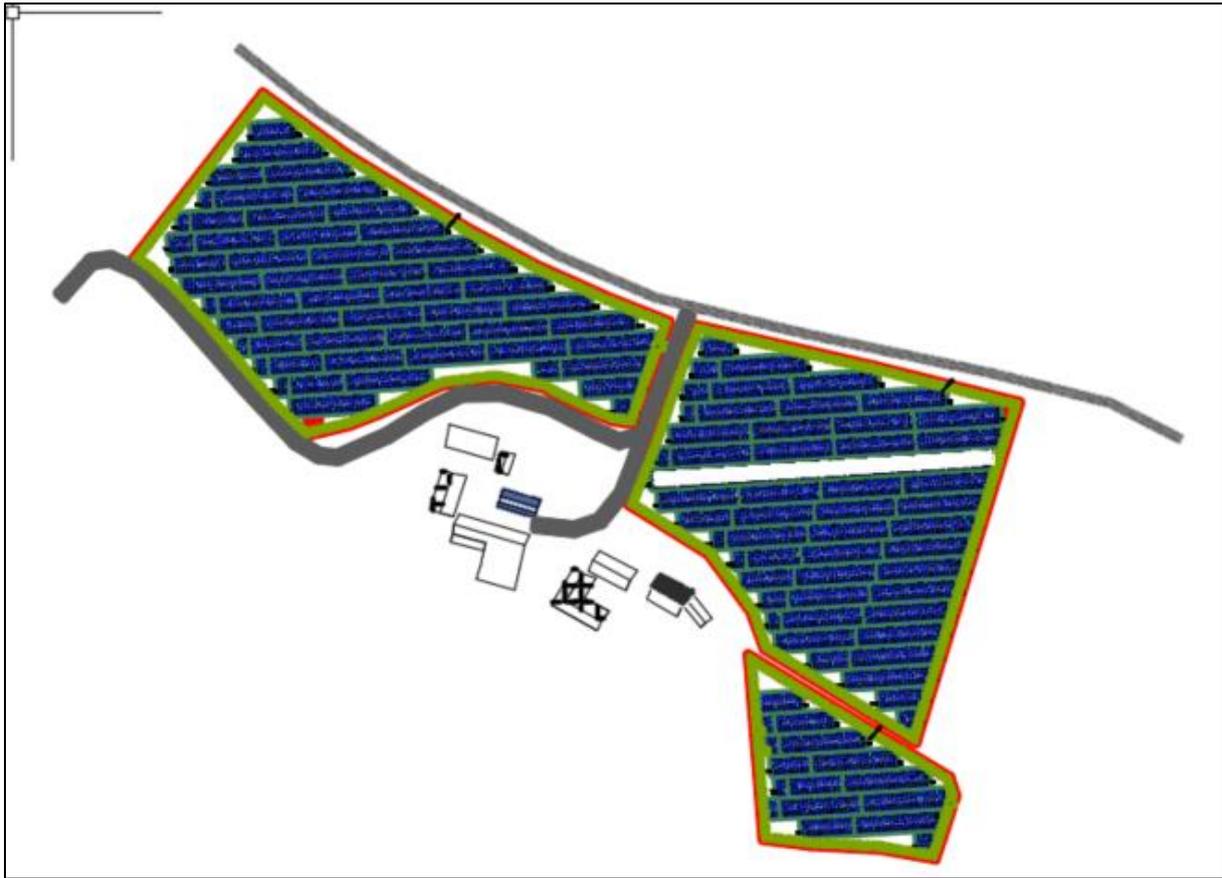


Abbildung 2: Belegungsplan der PVA - Quelle: Auftraggeber

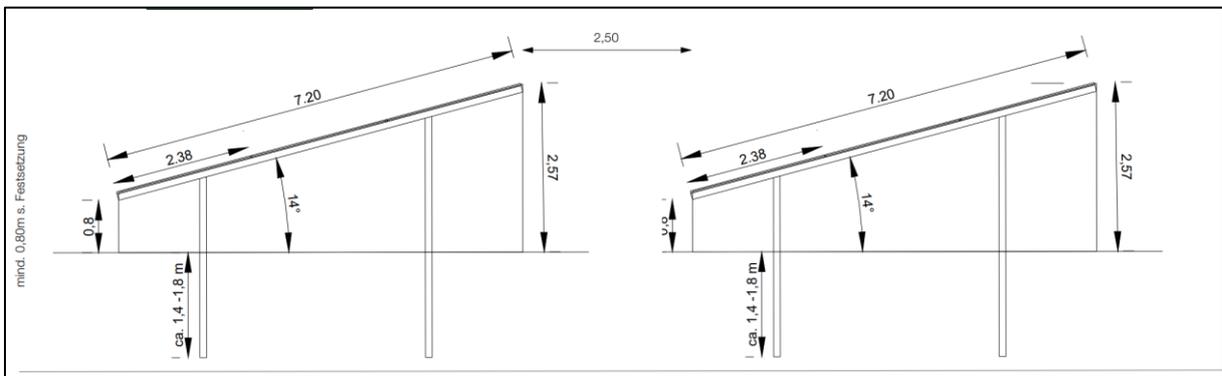


Abbildung 3: Schnittzeichnung Modultisch - Quelle Auftraggeber

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Innerhalb eines Radius von 100 Metern um die PVA befindet sich ein Hof mit zwei Wohngebäuden. Die Wohngebäude sind als schutzwürdig einzustufen. Das westliche Wohngebäude wird nur vernachlässigbar wenige Blendwirkungen erfahren. Das östliche Wohnhaus hingegen wird langfristige Blendwirkungen erfahren, die auch die Grenzwerte des LAI-Leitfadens überschreiten. Demnach wird ein Sichtschutz neben dem östlichen Wohnhaus empfohlen.

Die Gemeindestraße Oberzeiling (östlich und nördlich der PVA) wird im nördlichen Bereich Reflexionen erfahren, die Fahrzeugführer in Fahrtrichtung Nordwesten im zentralen Sichtfeld blenden können. Auf der Straße wird kein großes Verkehrsaufkommen erwartet, daher sollte mit der Gemeinde abgestimmt werden, inwiefern Schutzmaßnahmen als notwendig erachtet werden. Mit einem ca. 3 m hohen Sichtschutz entlang der nördlichen und nordöstlichen Anlagengrenze können alle Reflexionen auf die Straße unterbunden werden. Alternativ könnten die Modultische auch parallel zum nördlichen Straßenverlauf nach Südwesten ausgerichtet werden – dann wären geometrisch betrachtet keine Reflexionen auf die Straße möglich (zumindest nicht in das relevante Sichtfeld von Fahrzeugführern).

Die Staatsstraße St 2108 wird durch die PVA keine erheblichen Blendwirkungen erfahren. Allerdings können im peripheren Sichtbereich der Fahrzeugführer Blendwirkungen auftreten. Um sämtliche Blendwirkungen auf der Staatsstraße zu unterbinden, wäre ein kurzer Sichtschutz notwendig. Die Situation wird jedoch auch ohne einen Sichtschutz als vertretbar betrachtet.

## 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  $\theta$  (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 [2], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

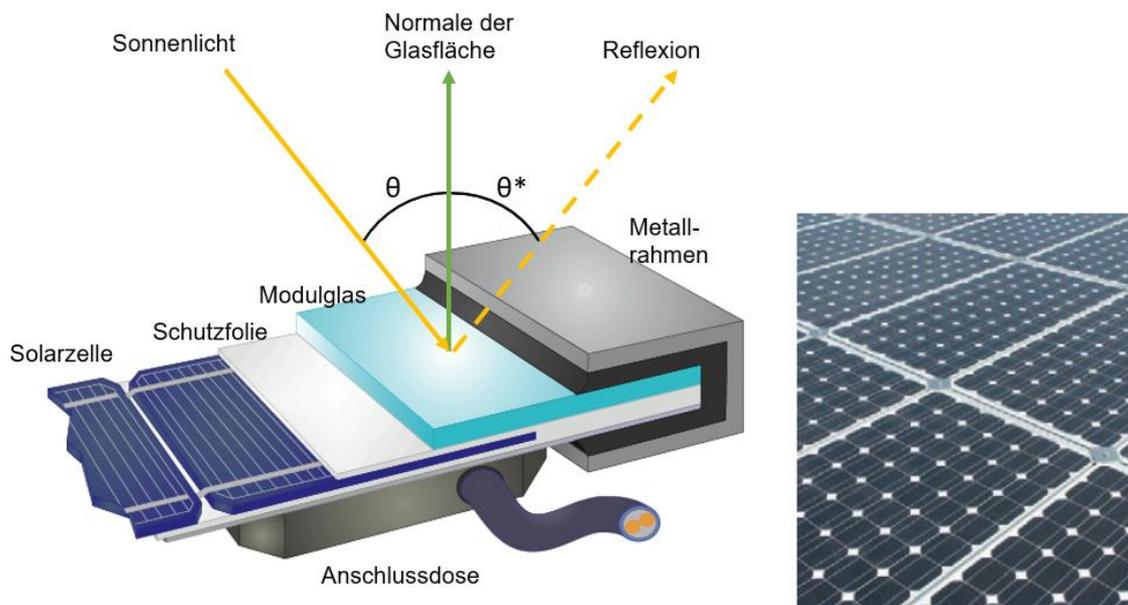


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“  
– Quelle: [3] (modifiziert)

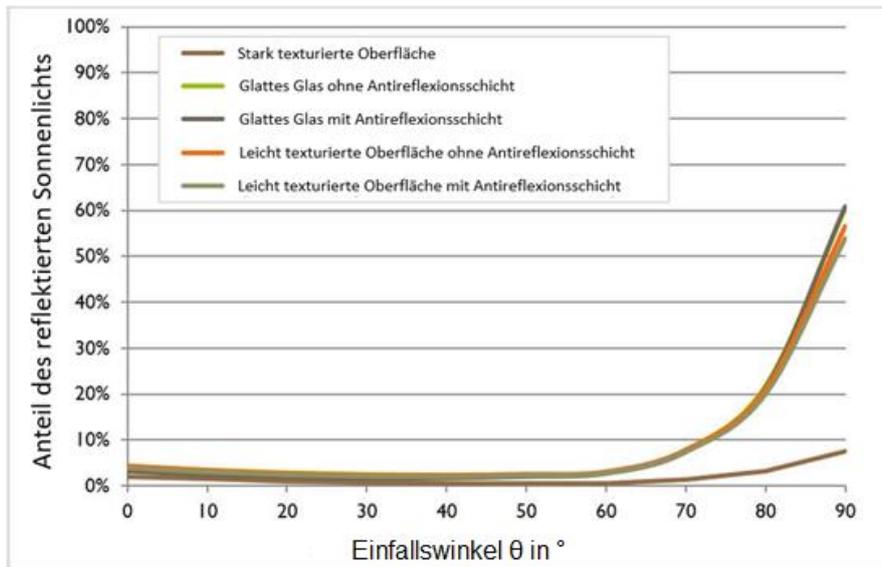


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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].

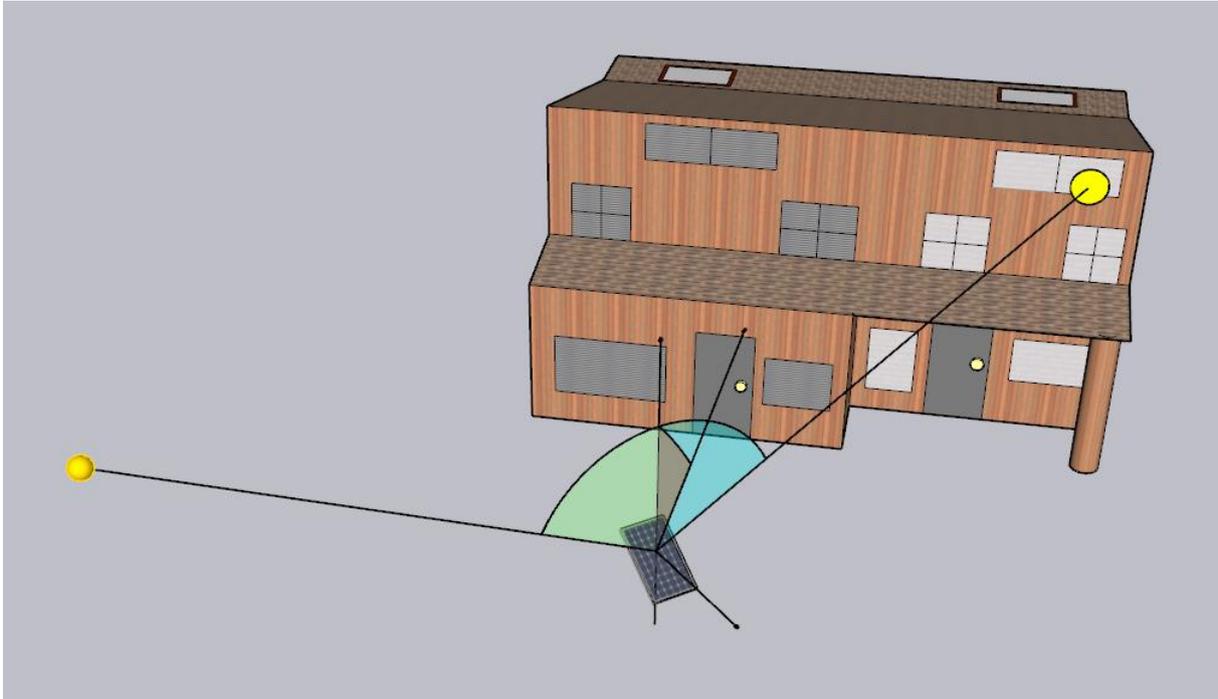


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

## 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 [2].

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 durch Blendwirkungen am Gebäude in der Regel ausgeschlossen werden. Lediglich sehr hoch gelegene Immissionsorte (z. B. Mehrfamilienhäuser mit vielen Etagen) können noch über 100 m hinaus erhebliche Belästigungen durch Blendwirkungen erfahren. Im vorliegenden Fall befinden sich jedoch keine entsprechenden Immissionsorte im Umfeld der PVA.

Abbildung 8 zeigt den Umkreis von 100 m um die PVA. Innerhalb dieses Bereichs liegt das Hofgelände Oberzeiling, in dem zwei schutzwürdige Wohnhäuser identifiziert wurden.

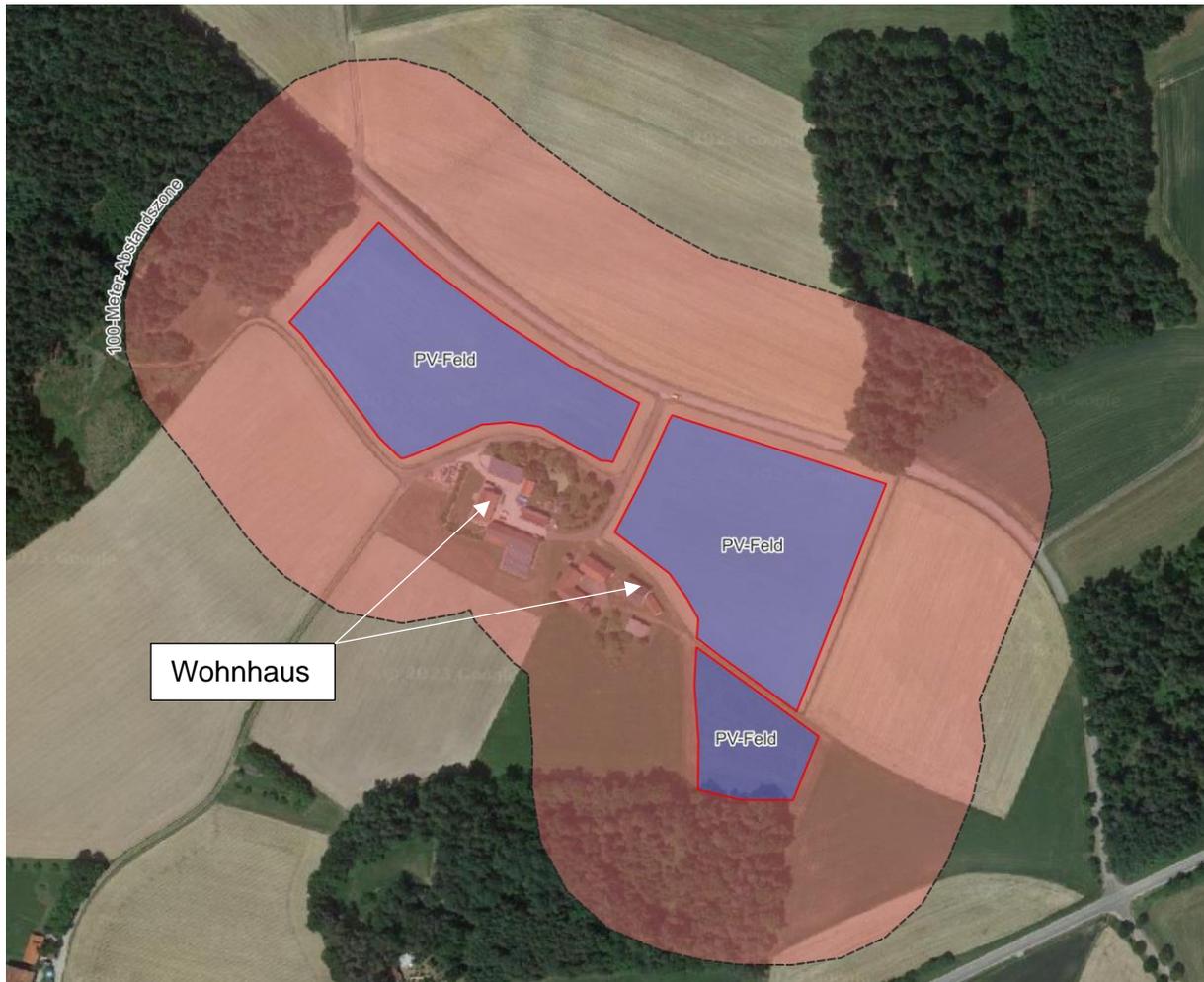


Abbildung 8: Übersicht der 100-Meter-Abstandszone – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 5.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die zwei Wohnhäuser wurden zwei sogenannte „Observationspunkte“ (OP) definiert. OP dienen im Rahmen der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen. Die OP wurden jeweils im ersten Obergeschoss der Gebäude an einer Position definiert (in einer Höhe von 4,6 m über der Geländeoberkante, das entspricht ca. der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss), die erwartungsgemäß die meisten Reflexionen erfahren wird (Worst-Case-Betrachtung). Generell erfahren höhergelegene Immissionsorte mehr Blendwirkungen als tiefergelegene. Die folgende Abbildung zeigt die Positionen der OP (OP H1 und H2).



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

## 5.4 Ergebnisse

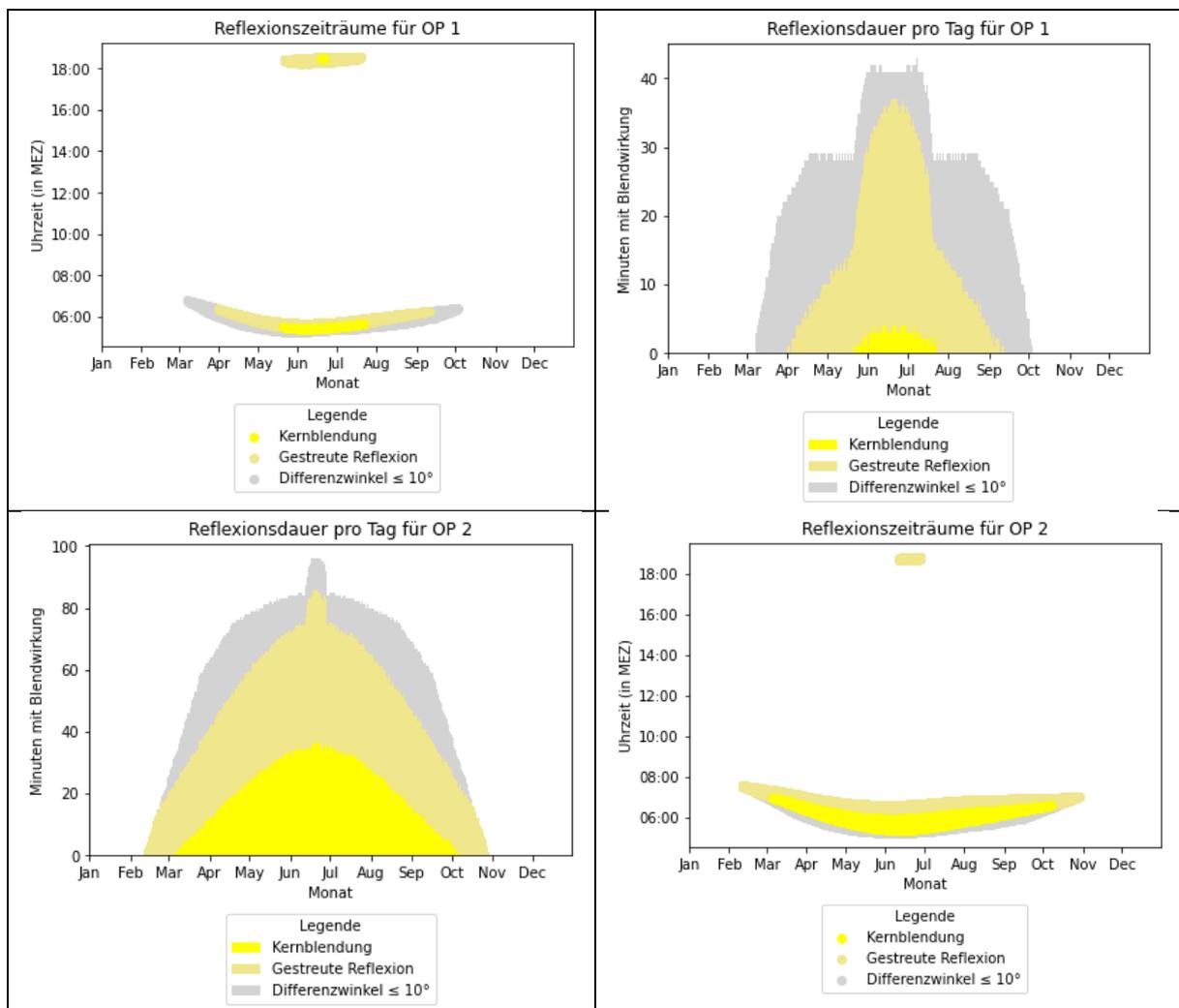
Tabelle 5: Ergebnistabelle für die OP Hx

Observationspunkt (OP)	Max. tägliche Blenddauer (Kernblendung) in Minuten	Jährliche Gesamtblenddauer (Kernblendung) in Minuten	Werden die LAI-Grenzwerte eingehalten?
H1	4	167	Ja
H2	36	4.586	Nein

LAI-Grenzwerte:

- Maximal 30 Minuten Kernblendung pro Tag
- Maximal 1.800 Minuten Kernblendung pro Jahr

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisdiagramme für die OP Hx



## 6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

### 6.1 Auswertungsmethodik

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 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.

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).

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.

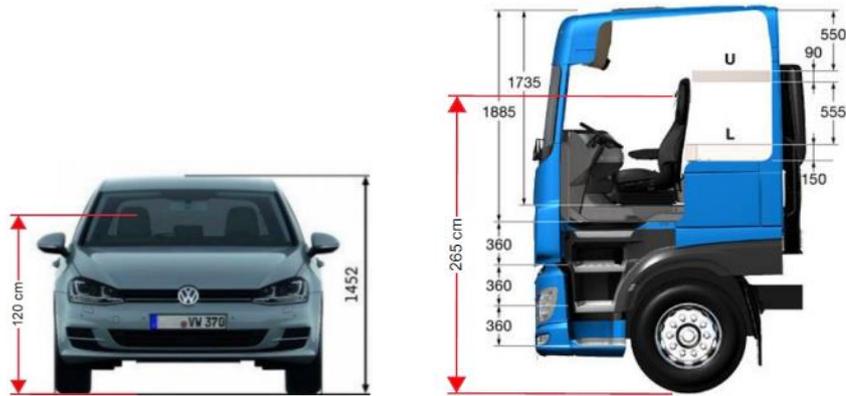


Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer  
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

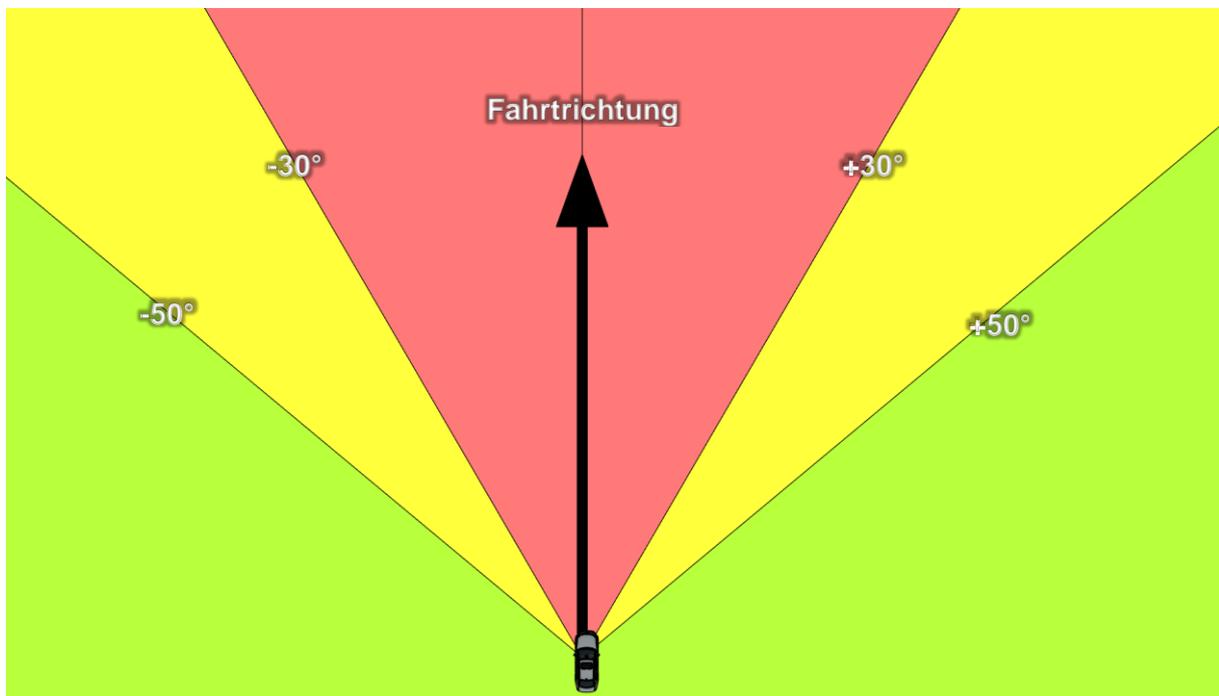


Abbildung 11: Definierte Sichtfelder einer fahrenden Person:  
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von  $\pm 30^\circ$   
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von  $\pm 50^\circ$   
 – Quelle: Eigene Abbildung

## 6.2 Relevante Verkehrswege

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

- Gemeindestraße Oberzeiling
- Staatsstraße St 2108

Die übrigen Straßen in der unmittelbaren Umgebung stellen primär 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 der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

### 6.3 Observationspunkte

Für die Analyse der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden sogenannte „Observationspunkte“ (OP) festgelegt. Diese OP fungieren in der Simulation als Detektionspunkte für einfallende Reflexionen.

Die Observationspunkte OP S1 bis S4 stehen stellvertretend für den Straßenverkehr auf der Gemeindestraße Oberzeiling.

Für den Straßenverkehr auf der St 2108 dienen die Observationspunkte OP S5 und S6 als Referenz.

Die genannten OP wurden in einer Höhe von 2,65 m über dem Straßenniveau festgelegt, was in etwa der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht.

Abbildung 13 zeigt die Positionen der Observationspunkte.

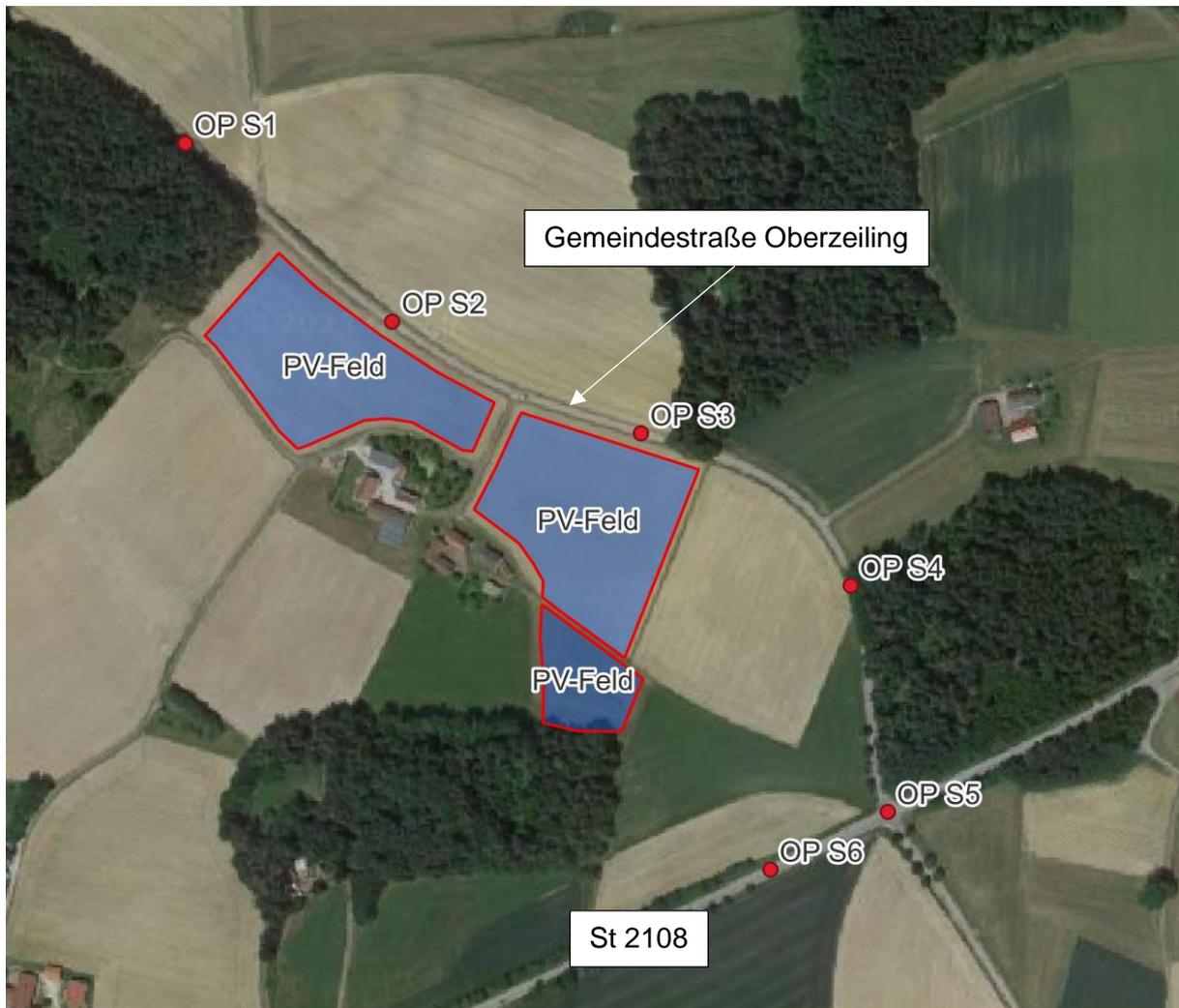


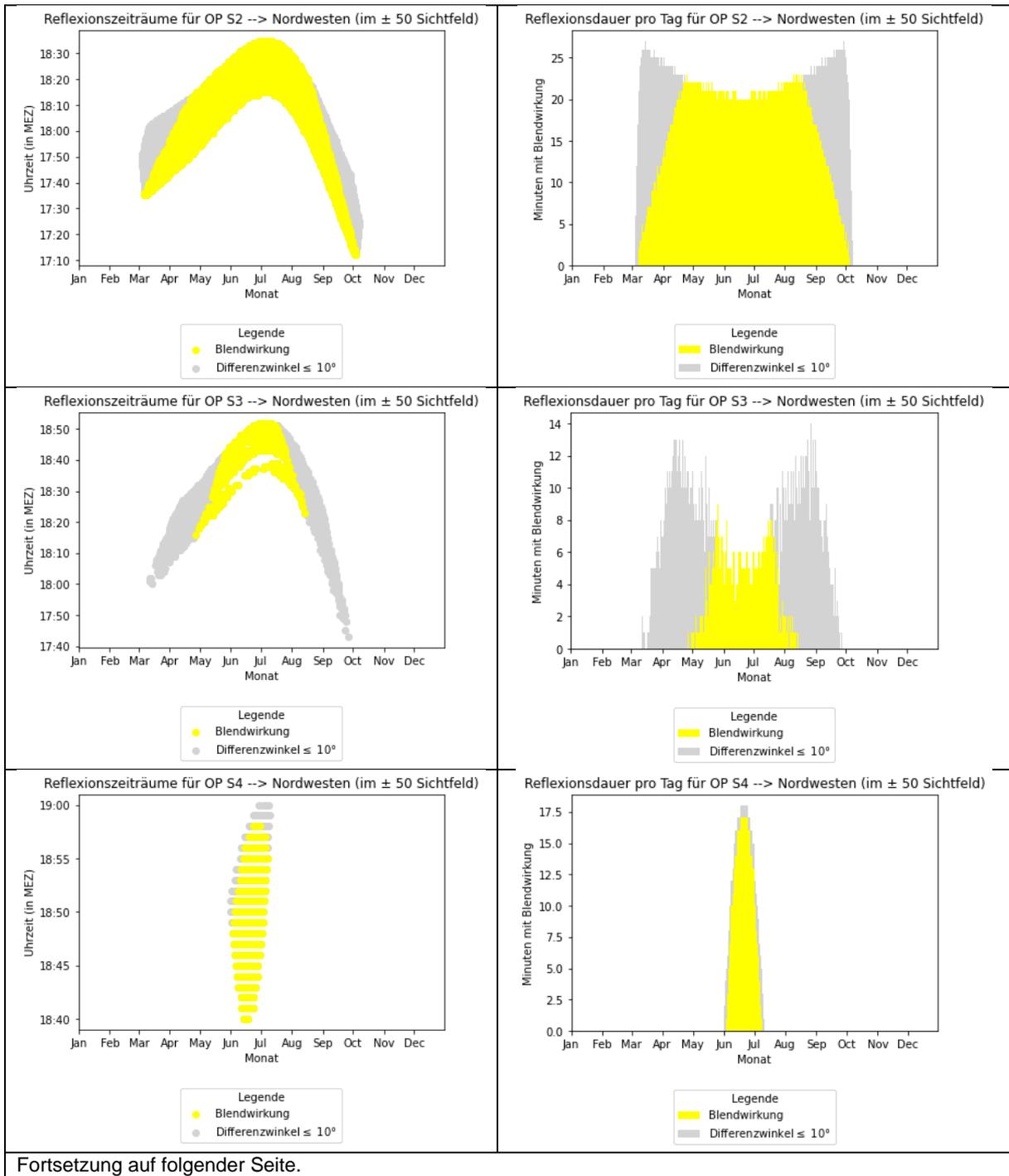
Abbildung 13: Positionen der OP Sx - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

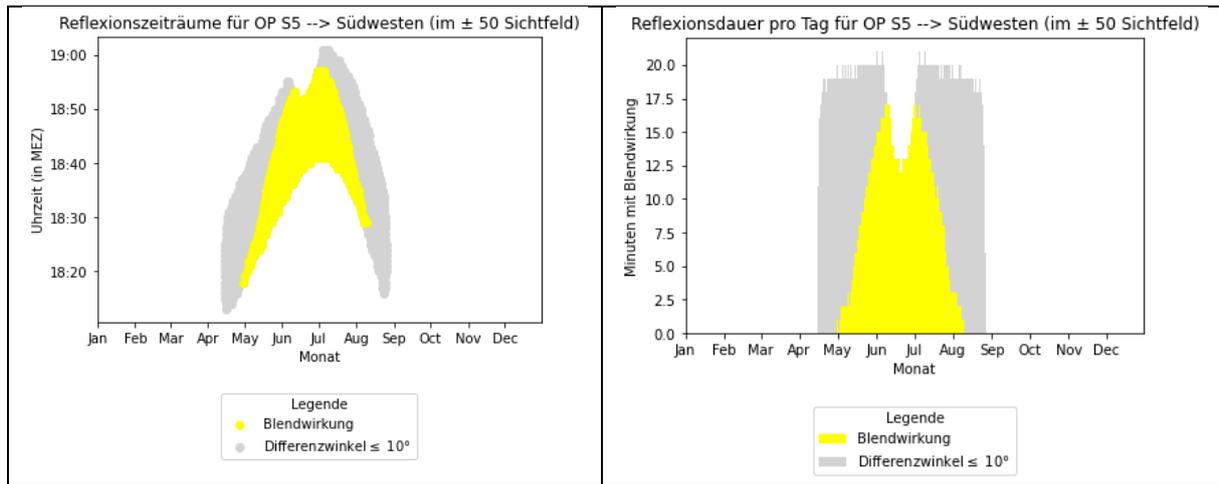
## 6.4 Ergebnisse

Tabelle 6: Ergebnistabelle für die OP Sx

Observationspunkt (OP)	Fahrtrichtung (FR)	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ( $\pm 50^\circ$ Sichtfeld) von der Sonne überlagert?	Anmerkung
S1	Südosten	keine Reflexionen	-	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
S2	Südosten	$> 90^\circ$	-	-
	Nordwesten	$17^\circ$	Nein	-
S3	Südosten	$> 90^\circ$	-	-
	Nordwesten	$10^\circ$	Nein	-
S4	Süden	$> 90^\circ$	-	-
	Norden	$49^\circ$	Nein	-
S5	Nordosten	$> 90^\circ$	-	-
	Südwesten	$38^\circ$	Nein	-
	Norden	$59^\circ$	Nein	Abbiegen auf die Gemeindestraße.
S6	Nordosten	keine Reflexionen	-	-
	Südwesten	keine Reflexionen	-	-

Ergebnisdiagramme 2: Ergebnisdiagramme für die OP Sx





## 7 Diskussion der Ergebnisse und Maßnahmen

### 7.1 Gebäude

Innerhalb eines Radius von 100 Metern um die PVA liegt ein Hof mit zwei Wohngebäuden, die als schutzwürdig gelten.

Das westliche Wohngebäude wird voraussichtlich keine erheblichen Belästigungen erfahren, und die LAI-Grenzwerte werden eingehalten. Bei dieser Einschätzung wurden Hindernisse wie andere Gebäude im Hof oder Bäume nicht berücksichtigt.

Das östliche Wohngebäude wird hingegen insbesondere im ersten Obergeschoss erheblichen Blendwirkungen ausgesetzt sein, wobei die LAI-Grenzwerte nicht eingehalten werden.



Abbildung 14: Skizze der reflektierenden Bereiche der PVA auf die Wohnhäuser  
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

Um das östliche Gebäude vor übermäßigen Blendwirkungen zu schützen, wird empfohlen, einen Sichtschutz nordöstlich des Gebäudes zu errichten. Dieser sollte eine Höhe von mindestens 4 Metern aufweisen und eine Länge von etwa 30 Metern haben.



Abbildung 15: Empfohlener Sichtschutz neben dem östlichen Wohngebäude  
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro





Abbildung 17: Position des Sichtschutzes zum Schutz der Gemeindestraße  
 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 18: Perspektive eines LKW-Fahrers von der Gemeindestraße (Fahrtrichtung Nordwesten) auf die westliche PV-Fläche:  
 Der Sichtschutz schirmt mit einer Höhe von 2,5 m noch nicht die oberen Modulstüchbereiche ab.

### 7.2.2 Staatsstraße St 2108

Auf der Staatsstraße, einschließlich des Kreuzungsbereichs, sind keine erheblichen Beeinträchtigungen zu erwarten. Innerhalb der festgelegten Erheblichkeitsgrenze ( $\pm 30^\circ$  Sichtfeld, bezogen auf die Fahrtrichtung) treten keine Blendwirkungen auf.

Fahrzeugführer auf der St 2108 in Fahrtrichtung Südwesten sowie Abbieger von der Staatsstraße auf die Gemeindestraße nach Norden könnten jedoch kurzzeitig Blendwirkungen im peripheren Sichtfeld wahrnehmen, die auch innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze liegen.

Um alle Blendwirkungen auf die St 2108 zu verhindern, wäre im Südosten der Anlage die Errichtung eines kurzen Sichtschutzes von etwa 2,5 m Höhe erforderlich.

Die Situation wird jedoch auch ohne Sichtschutz als vertretbar eingeschätzt.



Abbildung 19: Position des Sichtschutzes zum Schutz der St 2108 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 7.3 Allgemeine Hinweise

Der vorgeschlagene Sichtschutz könnte beispielsweise durch einen erhöhten Anlagenzaun mit integrierten Sichtschutzelementen realisiert werden. Die angegebenen Höhen basieren auf einer ersten Auswertung und sollen primär als Orientierung dienen. Die untersten 0,5 Meter des Zauns können stets offengelassen werden, um die Windbelastung zu reduzieren.



Abbildung 20: Beispiel eines Anlagenzaunes mit Sichtschutzelementen - Quelle: Accura Fachhandel

## 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](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\\_humanfacfs/oamtechreports/2010s/media/201512.pdf](https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacfs/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](https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf)