



[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 ARZBERG

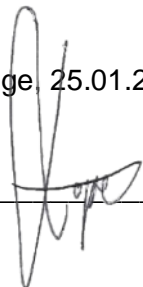
VERSION 2.0

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
D-25436 Moorrege
+49 4122 509100
mathias.roeper@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Moorrege, 25.01.2024



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, 25.01.2024



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
2.0	Neues Anlagenlayout	25.01.2024	Mathias Röper
1.1	Bäume als Sichtschutz berücksichtigt	18.01.2024	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	30.11.2023	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, Annahmen und Limitationen	10
5	Blendwirkungen auf Gebäude	11
5.1	Auswertungsmethodik.....	11
5.2	Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA	12
6	Blendwirkungen auf Verkehrswege	15
6.1	Auswertungsmethodik.....	15
6.2	Relevante Verkehrswege	17
6.3	Observationspunkte	18
6.4	Betrachtung umliegender Vegetation und weiterer Hindernisse	19
6.5	Ergebnisse.....	21
7	Diskussion der Ergebnisse und mögliche Maßnahmen	23
7.1	Gebäude.....	23
7.2	Verkehrswege.....	23
8	Literaturverzeichnis	25
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT	26

1 Einleitung

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

Table 1: Projektübersicht

Auftraggeber	Bayernwerk Natur GmbH Carl-von-Linde-Str. 38 85716 Unterschleißheim
Projektname	PVA Arzberg
Adresse	95659 Arzberg
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 (z. B. Wohnräume, Büros)
- Straßenverkehr

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

Table 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA (Informationen und ggf. Abbildungen)	Auftraggeber
Umliegende Vegetation (Informationen)	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Bebauung (Informationen)	
Luftbilder (Abbildungen)	Bayrische Vermessungsverwaltung
DGM1-Höhendaten (Informationen)	Bayrische Vermessungsverwaltung
3D-Laserscans der Gebäude (LoD2) (Informationen)	Bayrische Vermessungsverwaltung
Kartenausschnitte (Abbildungen)	OpenStreetMap

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) [1]
Verkehrswege (Straßen, Bahnstrecken)	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6)

2 Anlagenbeschreibung

Das Anlagenlayout wurde im Zuge der Planung so optimiert, dass Blendwirkungen auf den benachbarten Straßenverkehr der Staatsstraße minimiert werden. Zu diesem Zweck wurde der nördliche Teil der Anlage (PV-Feld 1) nach Südwesten ausgerichtet. Im südlichen Teil der Anlage (PV-Feld 2) wird indes eine Ost-West-Ausrichtung beibehalten.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	50.076655, 12.169547
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
Größe der PVA (Geltungsbereich)	ca. 3,35 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	PV-Feld 1: 191,6° Südwest PV-Feld 2: 90°/270° Ost-West
Modulneigung	PV-Feld 1: 15° PV-Feld 2: 18°
Höhe Modulunterkante	0,8 m
Höhe Moduloberkante	PV-Feld 1: 2,67 m PV-Feld 2: 3,20 m



Abbildung 1: Grundriss der PV-Fläche

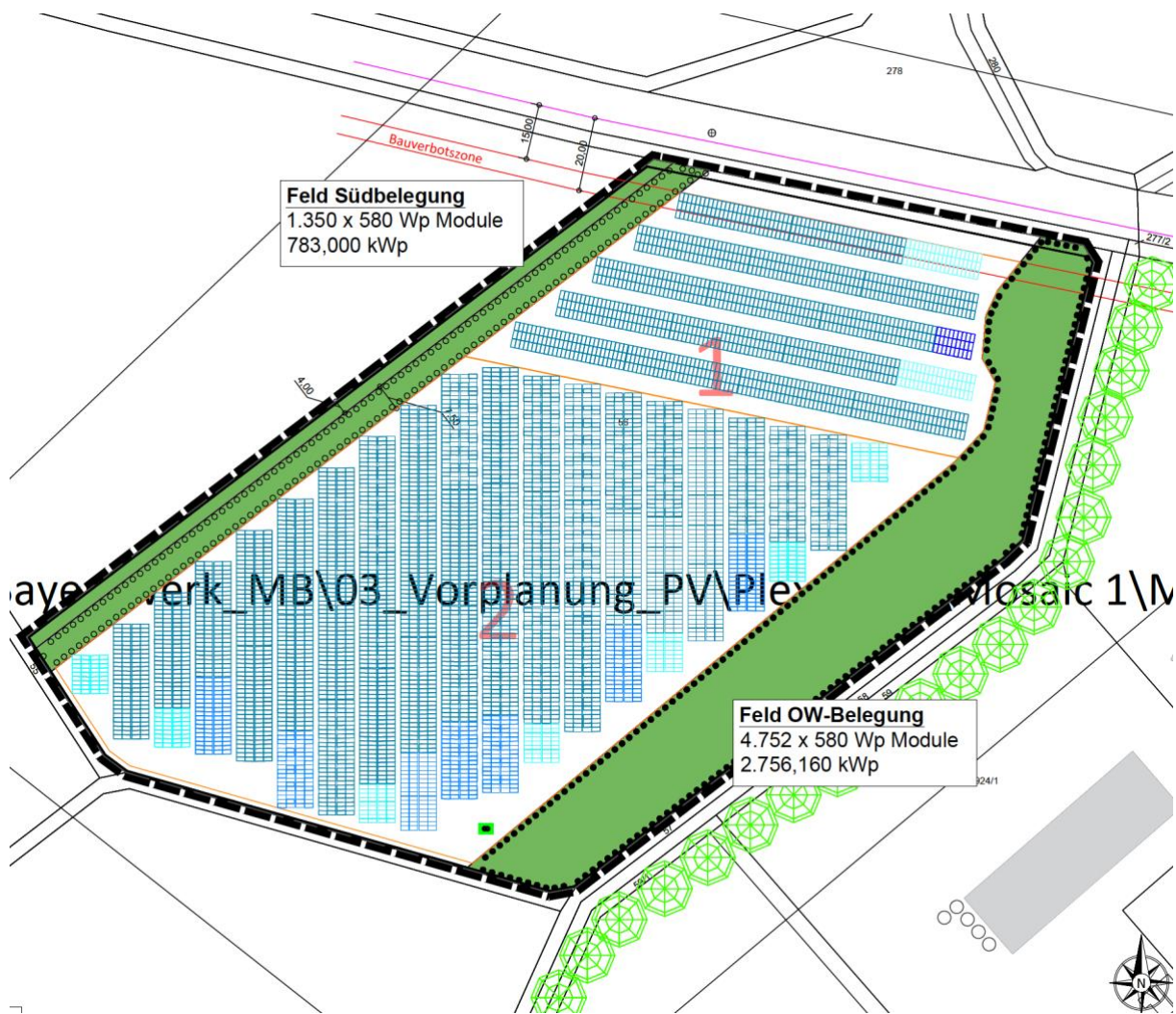


Abbildung 2: Belegungsplan der PVA

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) wird in schutzwürdigen Räumen wie Wohnräumen oder Büros keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen verursachen. Als relevanter Verkehrsweg in der Nähe der PVA wurde lediglich die Staatsstraße St 2180 identifiziert. Aufgrund des südlichen Anlagenteils (Ost-West-Ausrichtung) sind hier in beiden Fahrrichtungen Blendwirkungen bei bestimmten Sonnenständen nicht auszuschließen. Für Fahrzeugführer in Fahrtrichtung Osten können Blendwirkungen mit einem etwa 2,5 m hohen Sichtschutz (erhöhter Anlagenzaun mit Sichtschutzelementen) entlang der westlichen Anlagengrenze wirksam unterbunden werden. Die Auswertung kommt zum Schluss, dass die Reflexionen/Blendwirkungen, welche in Fahrtrichtung Westen wahrgenommen werden können, nicht erheblich ausfallen, da diese nicht im zentralen Sichtfeld (Straßenverlauf) auftreten und nur ein kurzer Abschnitt wesentlich betroffen ist. Insgesamt werden demnach, sofern der Sichtschutz entlang der westlichen Anlagengrenze realisiert wird, keine erheblichen Beeinträchtigungen auf der Staatsstraße erwartet.

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].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 3) 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 4).

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

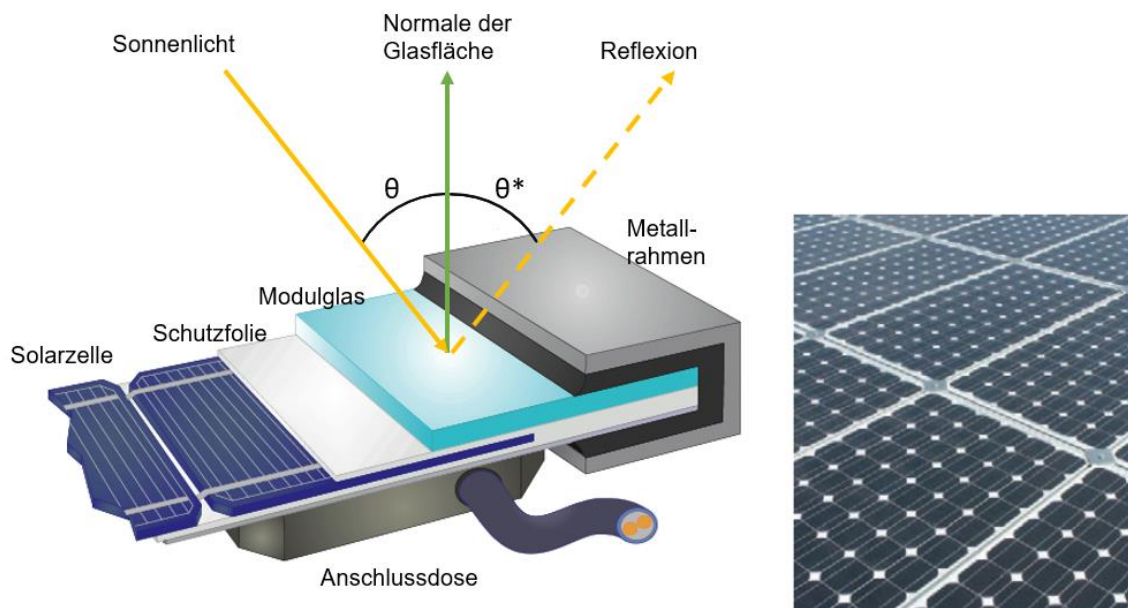


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

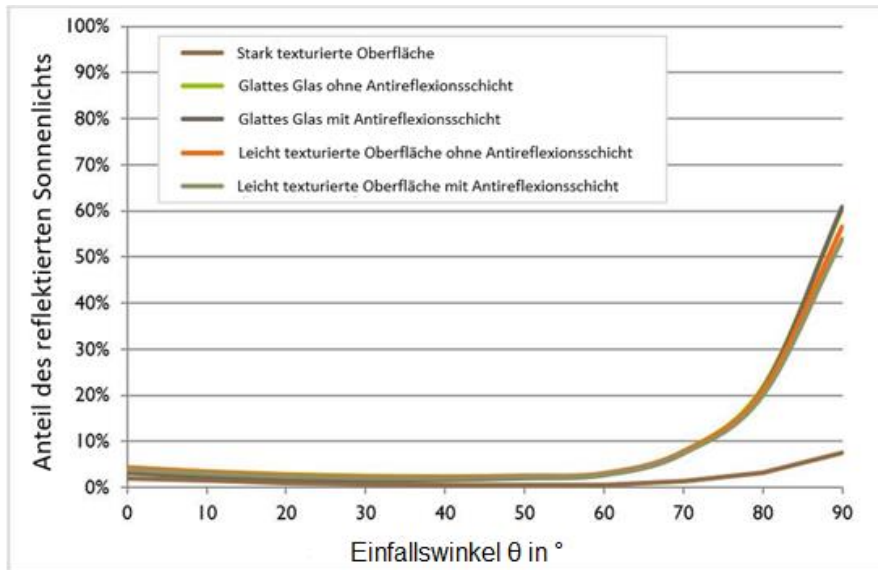


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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 5: 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 [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].

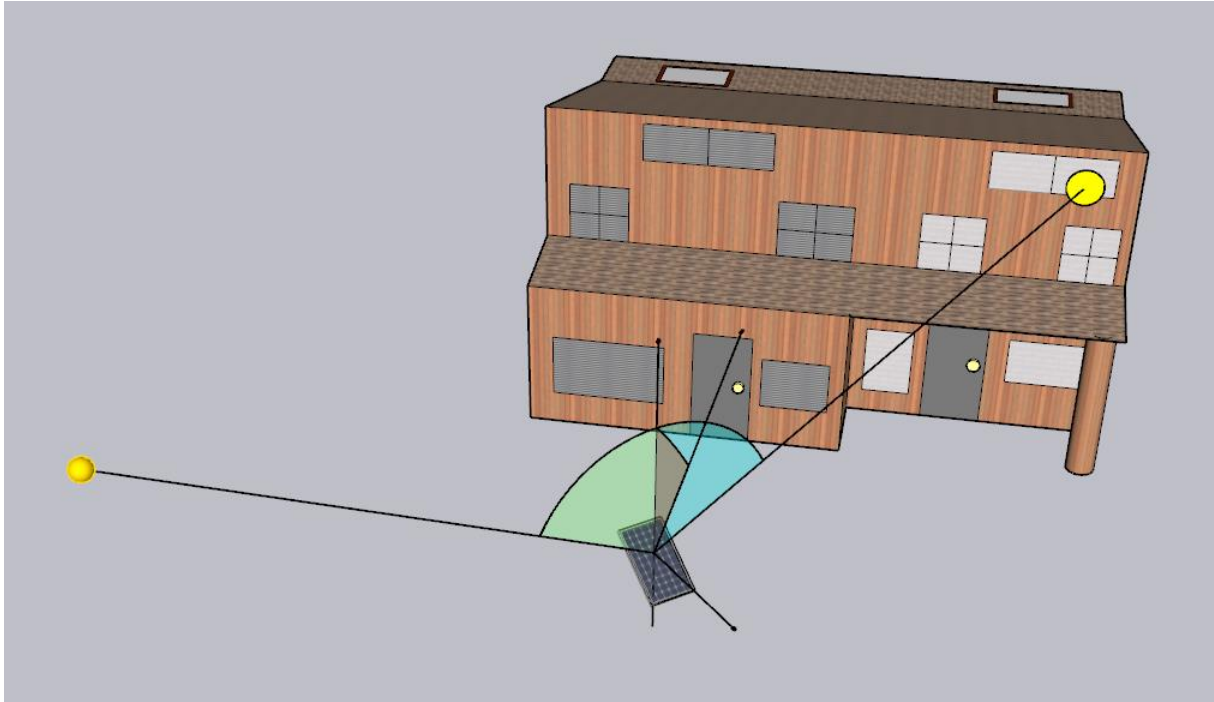


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

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.

Obwohl ForgeSolar zu den etabliertesten und professionellsten Programmen gehört, um PVA-bedingte Blendwirkungen zu berechnen, kann die Realität nur vereinfacht dargestellt werden. Somit werden die Generatorfelder als Ebenen zusammengefasst, wobei abweichende Modulausrichtungen im Feld (z. B. Modultische, die aufgrund der Topografie eine Neigung entlang der Tischachse besitzen und somit die effektive Ausrichtung der Module beeinflussen) teilweise verloren gehen. Die Limitationen der Software werden nach Möglichkeit durch zusätzliche Berechnungen kompensiert und die Ergebnisse stets validiert. Dennoch können Abweichungen von der späteren Realität nicht ausgeschlossen werden.

Eine weiterführende 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) [1].

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).

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

In der näheren Umgebung der PVA konnte lediglich ein (schutzwürdiges) Bürogebäude der PURUS PLASTICS GmbH identifiziert werden, das etwa 200 m östlich vom Modulfeld liegt. In der Regel können erhebliche Belästigungen durch PVA-bedingte Blendwirkungen ausgeschlossen werden, wenn ein Abstand von 100 m zwischen Immissionsort und Modulfeld eingehalten wird. Da es sich hierbei jedoch (teilweise) um eine Ost-West-Ausrichtung handelt, welche im Vergleich zu einer Südausrichtung deutlich stärker blenden kann, und das Bürogebäude unter anderem aufgrund der Topografie deutlich höher als das PV-Feld liegt, können erhebliche Blendwirkungen aufgrund der Distanz nicht ausgeschlossen werden.



Abbildung 7: Abstand zum nächstgelegenen schutzwürdigen Gebäude



Abbildung 8: Darstellung der erweiterten Umgebung

Mit einem 3D-Modell der Anlagenumgebung konnte jedoch festgestellt werden, dass selbst vom obersten Stockwerk des Bürogebäudes kaum (potenziell reflektierende) Modultische einsehbar sein werden. Betriebsgebäude zwischen dem Büro und der PVA blockieren die Sicht auf das PV-Feld. Erhebliche Belästigungen können somit ausgeschlossen werden. Eine weiterführende, detaillierte Simulation der Reflexionen erübrigt sich demnach in diesem Kontext.

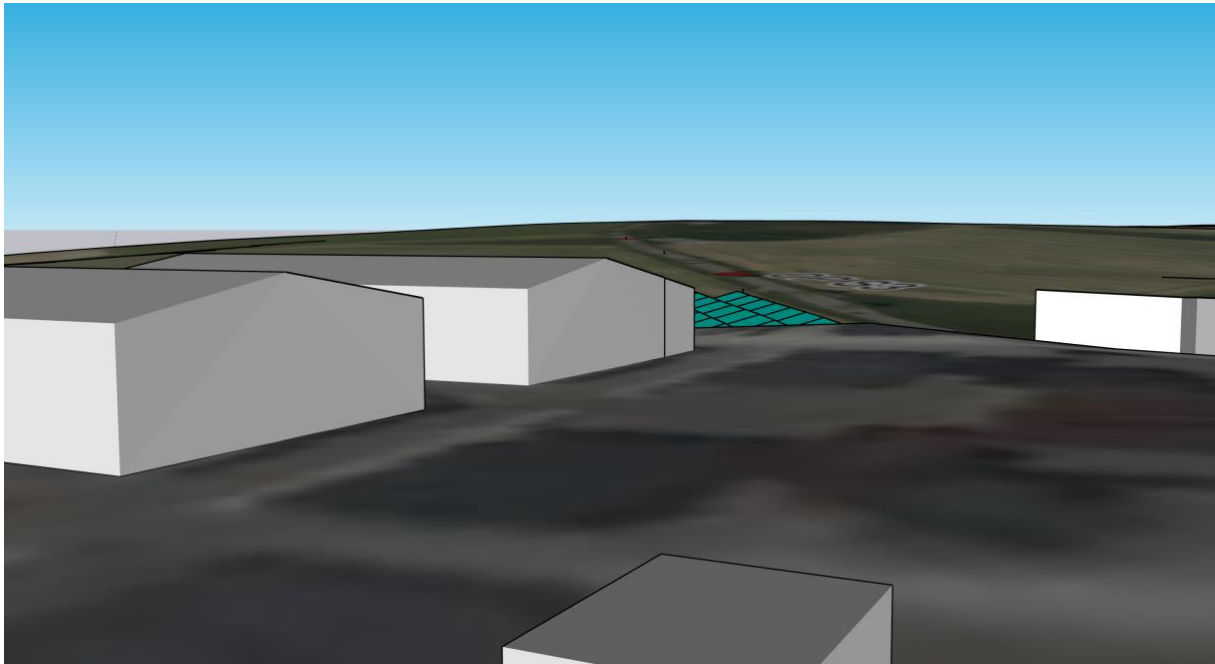


Abbildung 9: Modellierte Sicht vom obersten Stockwerk des Bürogebäudes auf die PVA: Die Modultische (türkis) sind aufgrund von Betriebsgebäuden kaum einsehbar: Erhebliche Belästigungen können ausgeschlossen werden.

6 Blendwirkungen auf Verkehrswege

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf Verkehrswege (Straßen und Bahnstrecken) 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 Verkehrswege ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder von Fahrzeugführern (Kraftfahrzeug- und Lokführer) zu definieren, welche sich dann durch ihre Relevanz bezüglich Blendwirkungen unterscheiden. Anschließend wird mittels Simulation geprüft, ob Reflexionen in diesen Sichtfeldern auftreten. Es wird dabei angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6].

Es wird zwischen folgenden Sichtfeldern bzw. Sichtfeldgrenzen unterschieden (siehe Abbildung 12 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 (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.

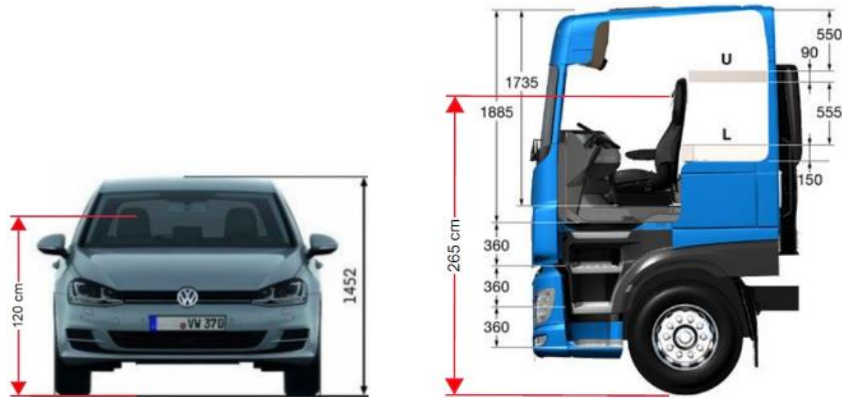


Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

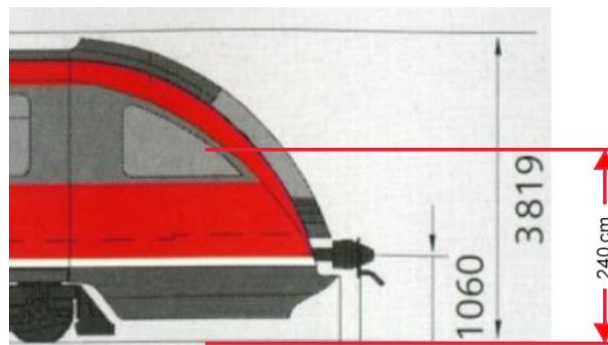


Abbildung 11: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

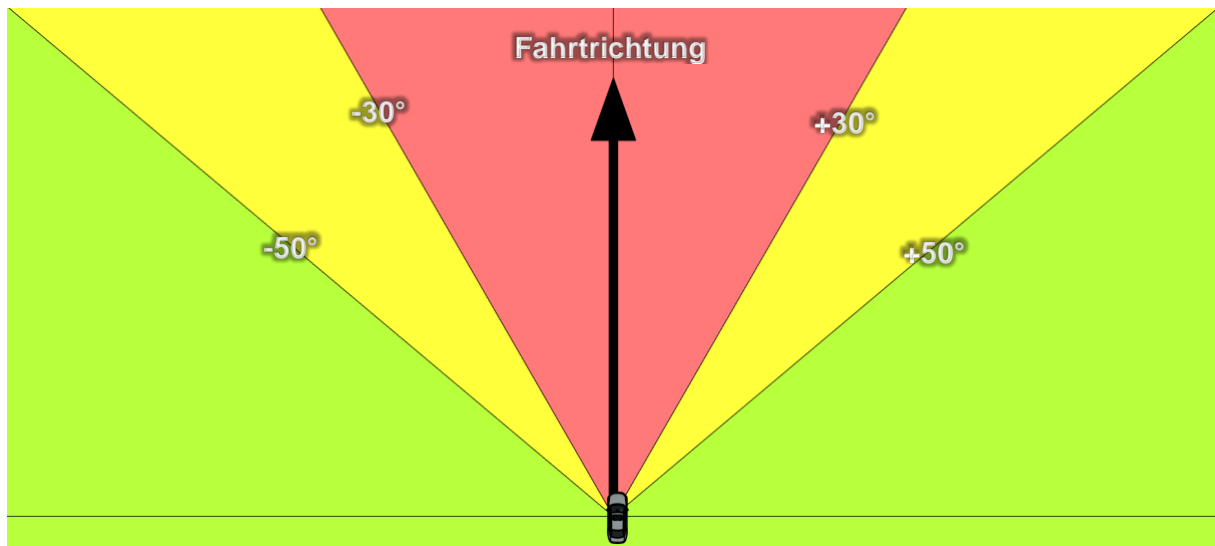


Abbildung 12: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers:
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

In der Umgebung der Photovoltaikanlage wurden folgende Verkehrswege als relevant klassifiziert:

- Staatsstraße St 2180

Nur die als relevant klassifizierten Verkehrswege wurden simulationstechnisch auf Blendwirkungen hin untersucht.



Abbildung 13: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege

6.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die St 2180 wurden sogenannte „Observationspunkte“ (OP) definiert. Diese OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftretende Reflexionen. Insgesamt wurden 5 OP (OP S1 bis S5) zur Analyse der Blendwirkungen auf den Verkehrsweg festgelegt.

Die OP Sx wurden in einer Höhe von 2,65 Metern über dem Boden positioniert, was ungefähr der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht.

Abbildung 14 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



Abbildung 14: Positionen der OP Sx

6.4 Betrachtung umliegender Vegetation und weiterer Hindernisse

Östlich der PVA befindet sich unter anderem entlang der St 2180 ein dichter Vegetationsstreifen. Außerdem wird von der Staatsstraße östlich der PVA die Sicht auf PV-Feld 2 aufgrund der Gebäude der PURUS PLASTICS GmbH verdeckt. Abbildung 15 zeigt die Position der Vegetation und Abbildung 16 zeigt, dass diese auch im Winter (im blattlosen Zustand) effektiven Sichtschutz bietet. Demnach kann angenommen werden, dass in Fahrtrichtung Westen auf der Staatsstraße erst ab OP S4 Sicht auf PV-Feld 2 besteht.



Abbildung 15: Position der dichten Vegetation



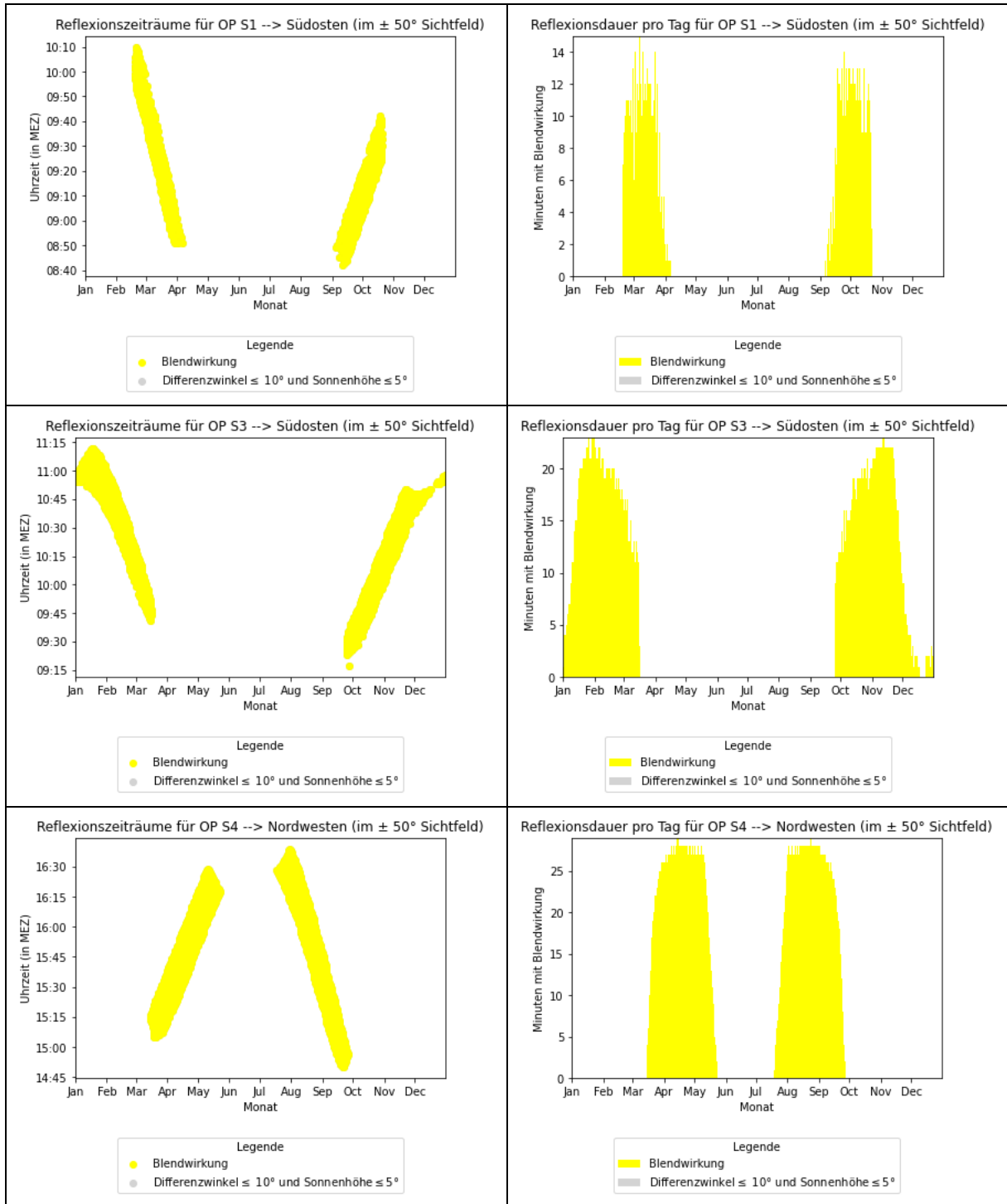
Abbildung 16: Aufnahme von OP S4 in Richtung Westen an einem Wintertag (2023) - Quelle: Auftraggeber

6.5 Ergebnisse

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

Observationspunkt (OP)	Grundlegende Fahrtrichtung	Min. Winkel (ca.) zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (wenn der Winkel über 90° beträgt, werden die Reflexionen nicht mehr aufgeführt)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze vollständig von der Sonne überlagert?	Anmerkung
S1	Südosten	9°	nein	Reflexionen ausgehend von PV-Feld 2.
	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
S2	Südosten	keine relevanten Reflexionen	-	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
S3	Südosten	25°	nein	Reflexionen ausgehend von PV-Feld 2.
	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
S4	Südosten	keine Reflexionen	-	-
	Nordwesten	25°	-	Vegetation berücksichtigt. Reflexionen ausgehend von PV-Feld 2.
S5	Südosten	keine Reflexionen	-	Nur PV-Feld 2 könnte in die Richtung reflektieren, jedoch besteht keine Sicht auf dieses Feld.
	Nordwesten	keine Reflexionen	-	

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisdiagramme für die Observationspunkte der Verkehrswege (sofern Reflexionen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze auftreten)



7 Diskussion der Ergebnisse und mögliche Maßnahmen

7.1 Gebäude

In der relevanten Umgebung der Photovoltaikanlage befindet sich ein Bürogebäude. Selbst vom obersten Stockwerk ist die Sicht auf die PVA aufgrund von umliegenden Betriebsgebäuden so weit eingeschränkt, dass keine erheblichen Belästigungen möglich sind. Die PVA wird demnach keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen in schutzwürdigen Räumen verursachen.

7.2 Verkehrswege

Auf der St 2180 sind in beiden Fahrtrichtungen Reflexionen zu erwarten, die Fahrzeugführer zu bestimmten Sonnenständen blenden können. Die Blendwirkungen gehen ausschließlich von PV-Feld 2 (Ost-West-Ausrichtung) aus. PV-Feld 1 blendet nicht und dient teilweise sogar als Sichtschutz (Blendschutz) von der Staatsstraße auf PV-Feld 2. In Fahrtrichtung Osten fallen die Reflexionen von Feld 2 voraussichtlich nicht übermäßig intensiv aus. Um Beeinträchtigungen dennoch vollständig ausschließen zu können, sollte entlang der westlichen Anlagengrenze neben PV-Feld 2 ein Sichtschutz (Blendschutz) realisiert werden. In der Auswertung wurde ein 2,5 m hoher Sichtschutz als ausreichend bewertet, dies sollte jedoch im Rahmen der Detailplanung nochmals validiert werden. Ziel sollte es sein, von OP S1 bis S3 die Sicht auf PV-Feld 2 zumindest im $\pm 30^\circ$ Sichtfeld zu nehmen.



Abbildung 17: Position des empfohlenen Sichtschutzes



Abbildung 18: Modellierter Sicht von OP S2 auf die PV-Fläche: Ein 2,5 m hoher Sichtschutz (hier im transparenten Grün dargestellt) verdeckt bereits die dahinterliegenden Ost-West-Modultische

Bei OP S4 in Fahrtrichtung Westen könnten trotz Vegetation über einen kurzen Abschnitt hinweg Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld auftreten. Dabei bleibt ein zentrales Sichtfeld von ca. $\pm 25^\circ$ blendfrei. Reflexionen können somit geringfügig innerhalb der Erheblichkeitsgrenze auftreten (definiert als ein Sichtfeld von $\pm 30^\circ$), dies wird jedoch für einen kurzen Abschnitt (ca. 80 m) als vertretbar betrachtet. Wie die folgende Abbildung zeigt, sind im zentralen Sichtfeld unmittelbar neben dem Straßenverlauf zunächst ausschließlich die nicht reflektierenden, nach Süden ausgerichteten Modultische zu sehen.

Insgesamt werden, sofern der Sichtschutz entlang der westlichen Anlagengrenze umgesetzt wird, keine erheblichen Beeinträchtigungen auf der St 2180 erwartet.

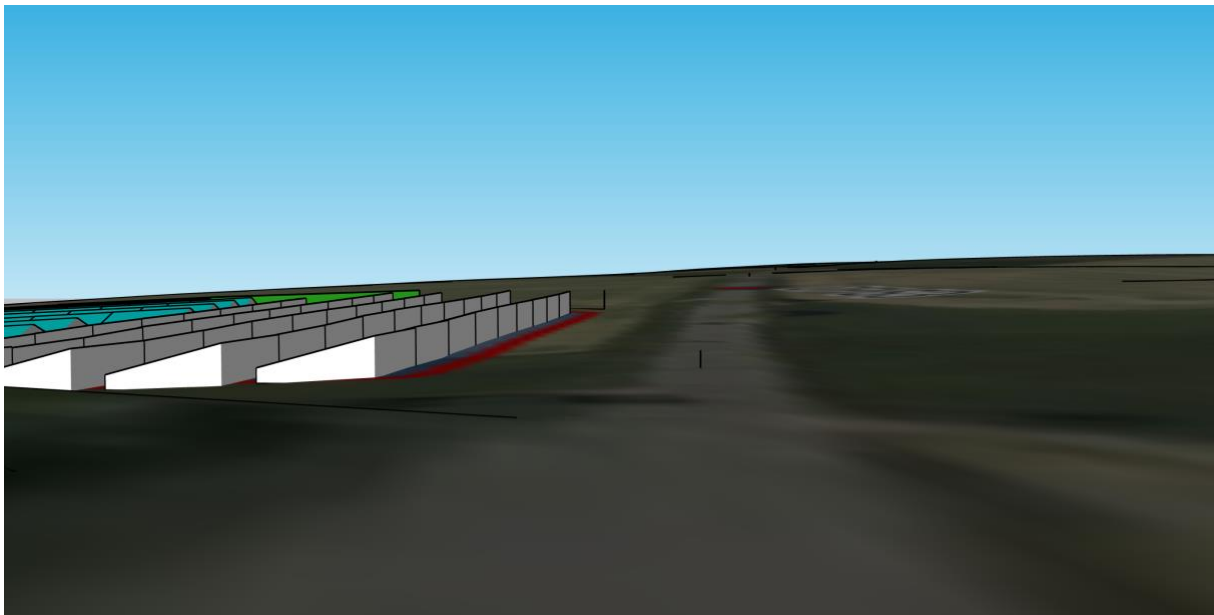


Abbildung 19: Modellierter Sicht von OP S4 auf die PV-Fläche (Vegetation nicht dargestellt)

8 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-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [2] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [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