

[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 ROHRBACH

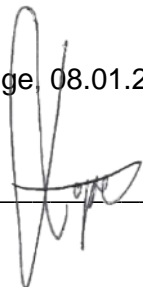
VERSION 1.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

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

Moorrege, 08.01.2025



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, 08.01.2025



Revisionstabelle

| Version | Änderung | Datum | Name |
|---------|--|------------|---------------|
| 1.1 | Adresse Standort PVA angepasst (Tabelle 1) | 08.01.2025 | Mathias Röper |
| 1.0 | Erste Fassung | 12.01.2024 | 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 | 6 |
| 4 | Grundlagen | 7 |
| 4.1 | Blendwirkung von Modulen | 7 |
| 4.2 | Berechnung von Reflexionen | 9 |
| 4.3 | Verwendete Software..... | 9 |
| 5 | Blendwirkungen auf Gebäude | 10 |
| 5.1 | Auswertungsmethodik..... | 10 |
| 5.2 | Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA..... | 11 |
| 6 | Blendwirkungen auf Verkehrswege | 12 |
| 6.1 | Auswertungsmethodik..... | 12 |
| 6.2 | Relevante Verkehrswege | 14 |
| 6.3 | Observationspunkte | 15 |
| 6.4 | Topografische Zwischenbetrachtung..... | 16 |
| 6.5 | Ergebnisse..... | 17 |
| 7 | Diskussion der Ergebnisse | 19 |
| 7.1 | Gebäude..... | 19 |
| 7.2 | Straßen..... | 19 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 20 |
| | Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT | 21 |

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 | Vispiron EPC GmbH & Co. KG |
| Projektname | PVA Rohrbach (Energiepark Rohrbach GmbH & Co. KG) |
| Adresse PVA | 85296 Rohrbach |
| 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
- 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

Table 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

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

| Parameter | Wert/Angabe |
|--------------------------------|--|
| Geokoordinaten (Breite, Länge) | 48.62423131522051, 11.518369060927931 |
| Art der Anlage | Freiflächenanlage |
| Modultyp | Si-kristalline Module mit Antireflexbeschichtung |
| Aufständering | Fest aufgeständert |
| Größe der PV-Fläche | ca. 20 ha |
| Modulausrichtung (Azimut) | 180° Süd |
| Modulneigung | 20° |
| Höhe Modulunterkante | ca. 0,8 m (minimal) |
| Höhe Moduloberkante | ca. 3,5 m (maximal) |



Abbildung 1: Grundriss der PV-Fläche - Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten Umfeld der Photovoltaikanlage (PVA) befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Erhebliche Belästigungen in schutzwürdigen Räumen, wie beispielsweise Wohnräumen, können somit bereits aufgrund der Distanz zwischen den nächstgelegenen Häusern und der PVA ausgeschlossen werden. Zudem werden keine relevanten Reflexionen in Richtung Norden oder Süden erwartet, also in Richtung Siedlungsgebiete.

Vom Abschnitt der Bundesautobahn, der südöstlich der PVA liegt, besteht keine Sicht auf die PVA, da Geländeerhöhungen zwischen der Fahrbahn und dem Generatorfeld liegen. Somit können höchstens direkt östlich der PVA Reflexionen auf die Autobahn treffen. Die Fahrbahn weist dort jedoch einen mehr oder weniger Nord-Süd-Verlauf auf, sodass Reflexionen nur seitlich in die Fahrzeuge treffen können. Das relevante Sichtfeld (ein Sichtfeld von $\pm 50^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung) der Fahrzeugführer in beide Fahrtrichtungen erfährt dabei keinerlei Reflexionen.

Auf der Kreisstraße westlich der PVA (PAF 21) sowie auf der Gemeindestraße östlich der PVA (Verbindungsstraße zwischen den Siedlungsgebieten Gambach/Stöffel) werden ebenfalls keine Reflexionen im zentralen bzw. relevanten Sichtfeld von Fahrzeugführern stattfinden.

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 2) 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 3).

Da bereits Reflexionen von weniger als 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

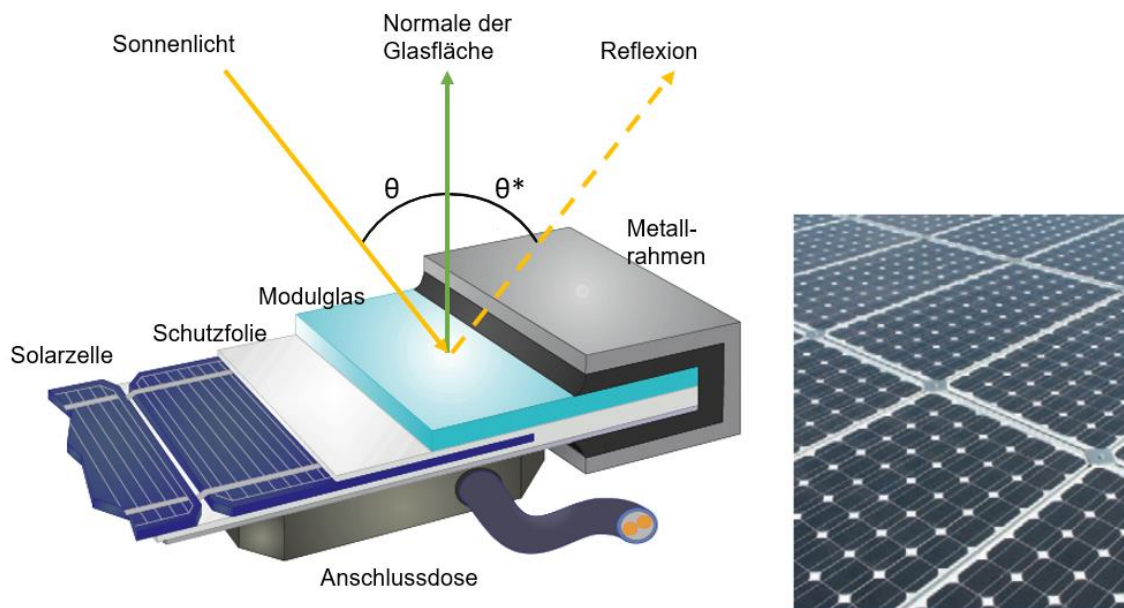


Abbildung 2: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

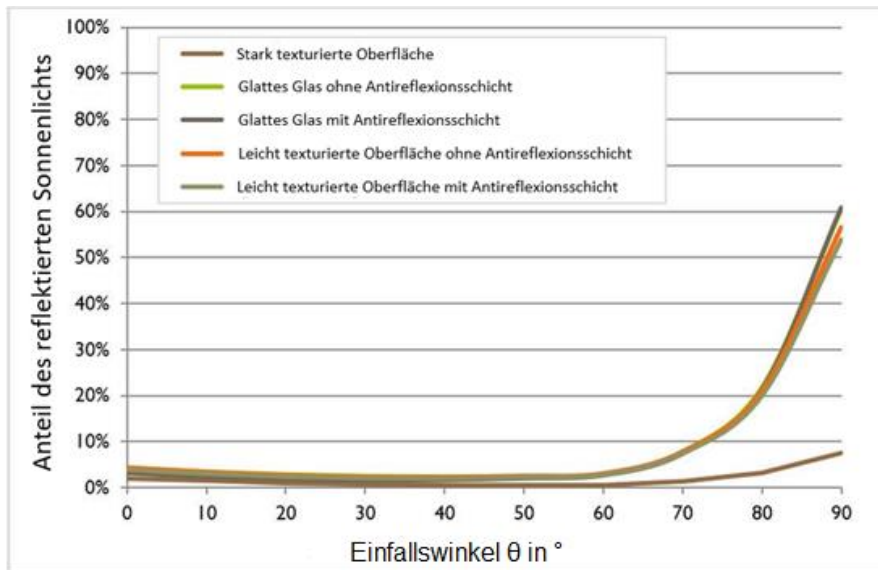


Abbildung 3: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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 4: 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].

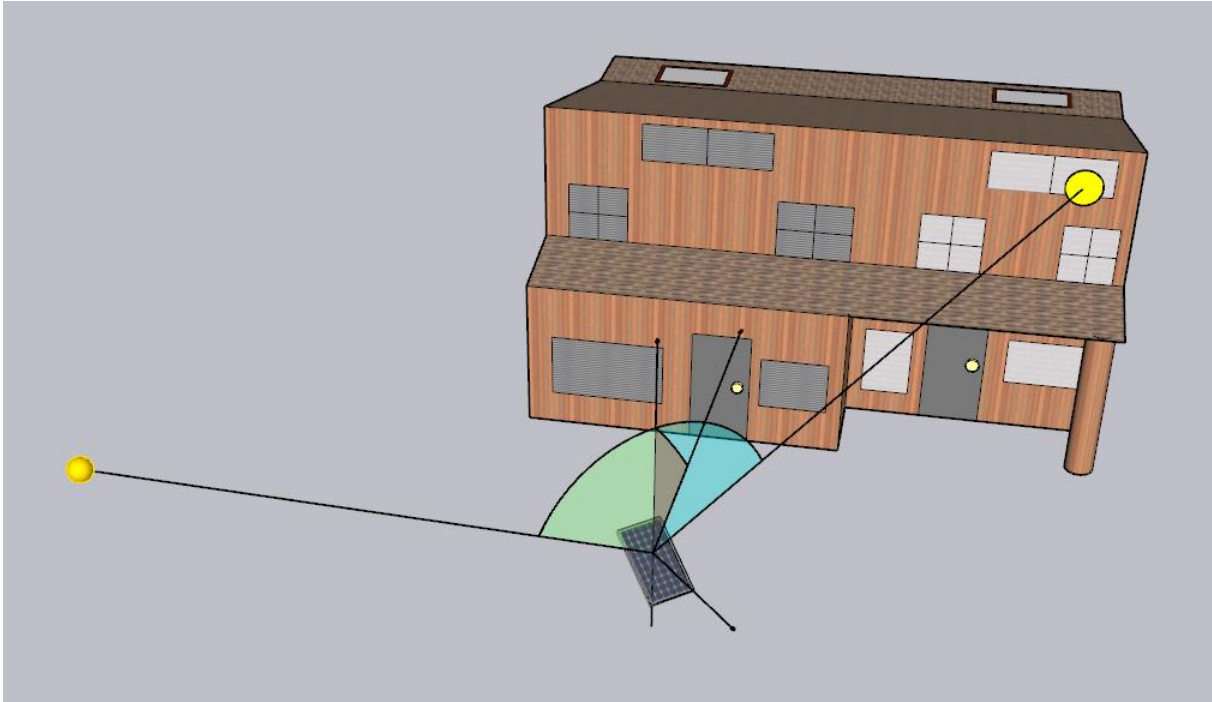


Abbildung 5: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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.

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 oder Auswertungsmethoden 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) [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].

Die untenstehende Abbildung zeigt den Bereich, der innerhalb eines 100-Meter-Umkreises um das Generatorfeld (PV-Fläche) liegt. Es ist ersichtlich, dass sich hier kein schutzwürdiges Gebäude (siehe Kapitel 5.1 für die Definition) befindet. Zusätzlich ist zu beachten, dass eine nach Süden ausgerichtete Photovoltaikanlage (PVA) weder nach Norden (in Bodennähe) noch nach Süden reflektieren kann. Daher werden die Siedlungsgebiete nördlich und südlich der PVA keine Reflexionen erfahren.

Erhebliche Belästigungen in oder an schutzwürdigen Gebäuden können somit für diesen spezifischen Fall, basierend auf der aktuellen Datenlage, generell ausgeschlossen werden. Daher ist eine detaillierte Simulation der Reflexionen in diesem Kontext nicht notwendig.

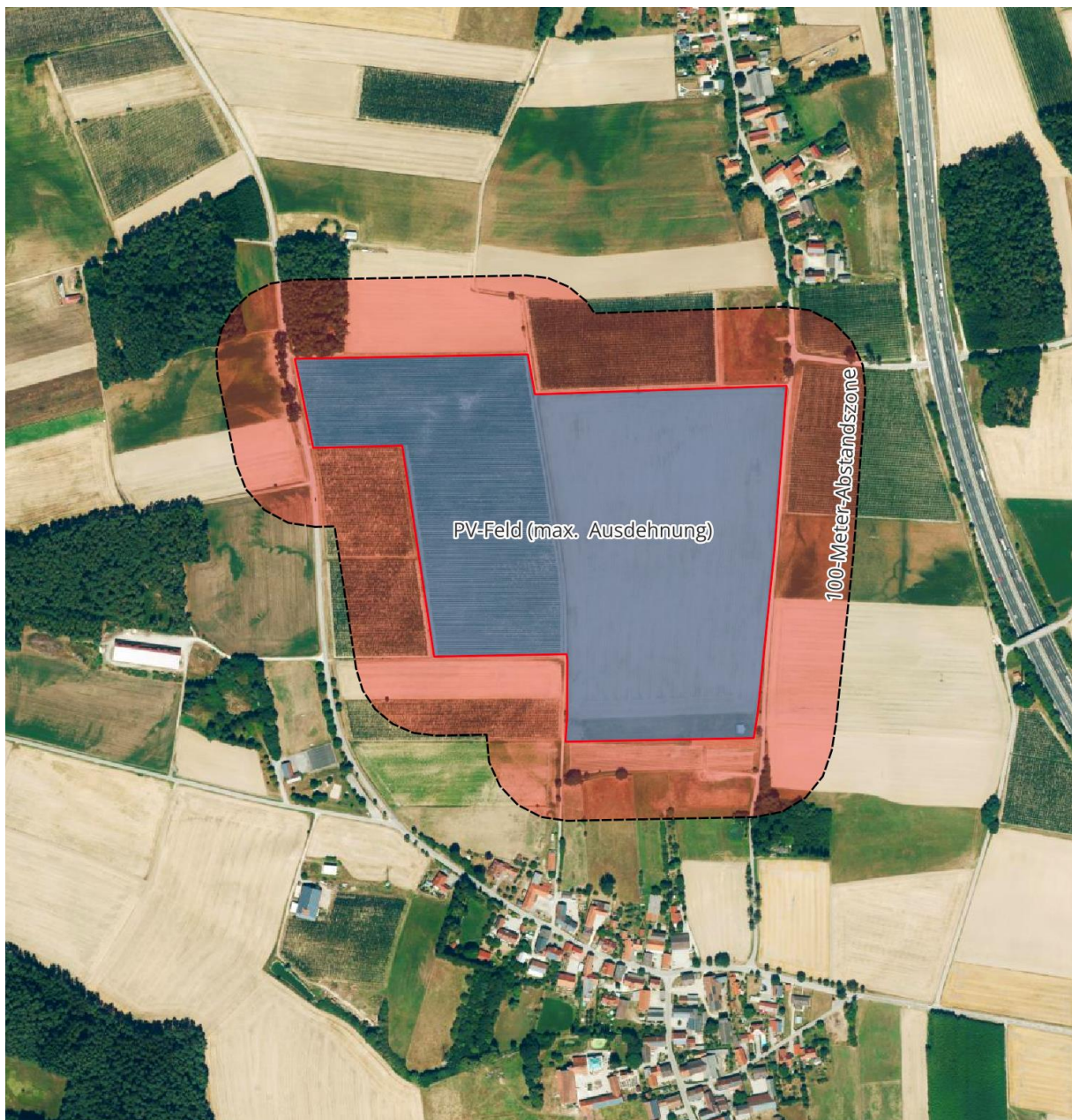


Abbildung 6: Darstellung der 100-Meter-Abstandszone - Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

6 Blendwirkungen auf Verkehrswege

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf den Straßen- und Schienenverkehr 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 Straßen- und Schienenverkehr 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 9 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, und die von Lokführern auf 2,40 m.

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.

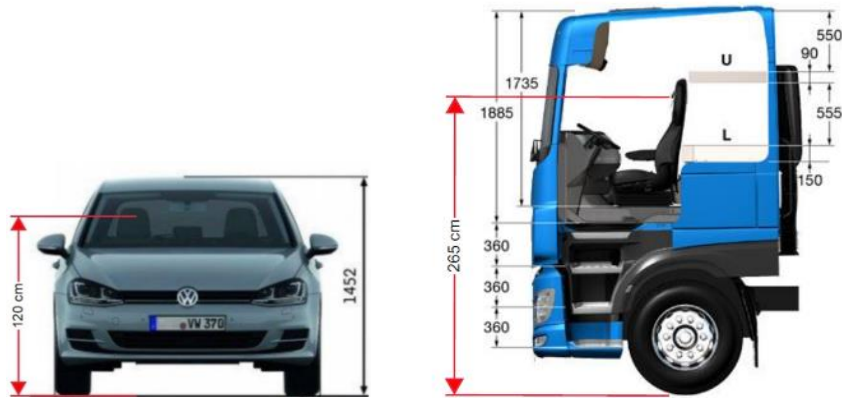


Abbildung 7: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

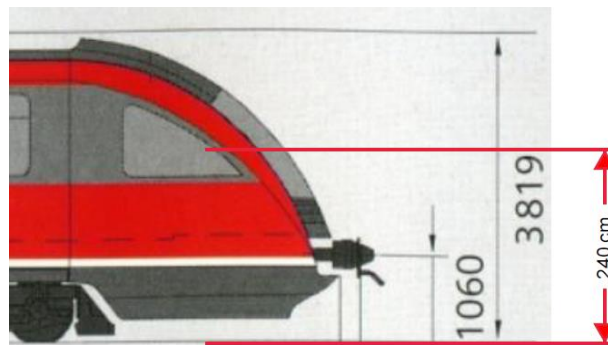


Abbildung 8: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

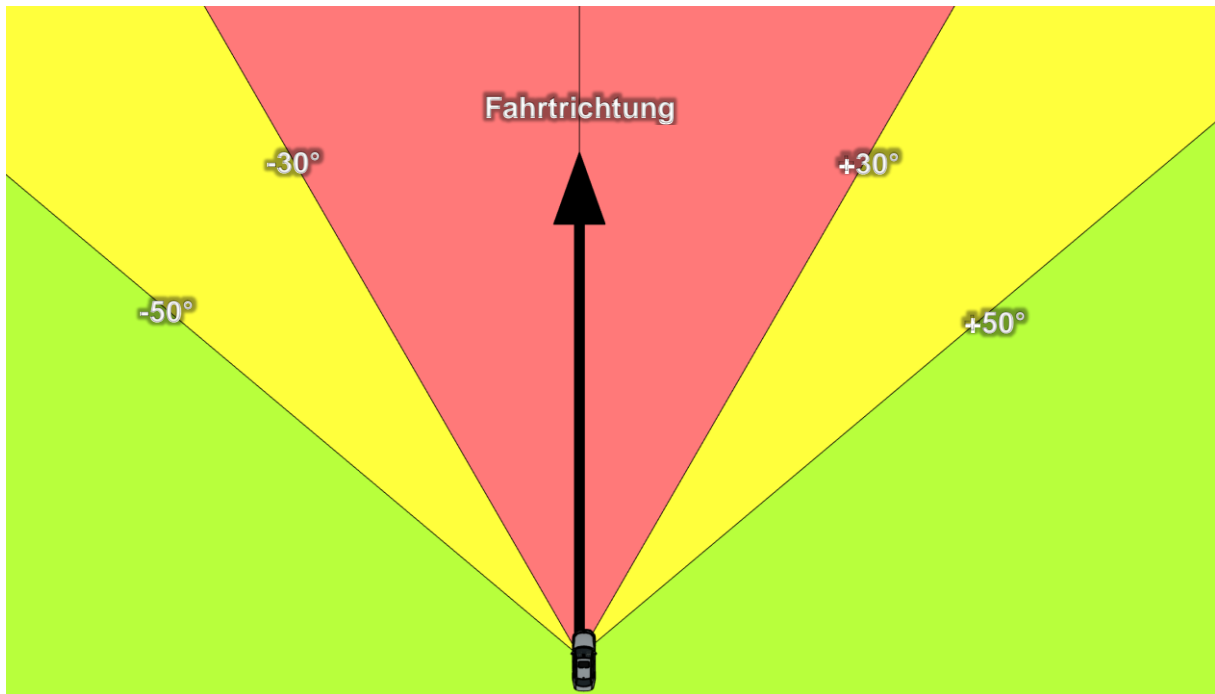


Abbildung 9: Definierte Sichtfelder einer fahrenden Person:
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$ (Bahnstrecken: $\pm 30^\circ$)
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

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

- Bundesautobahn A 9
- Kreisstraße PAF 21
- Gemeindestraße „Verbindung Gambach - Stöffel“

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.

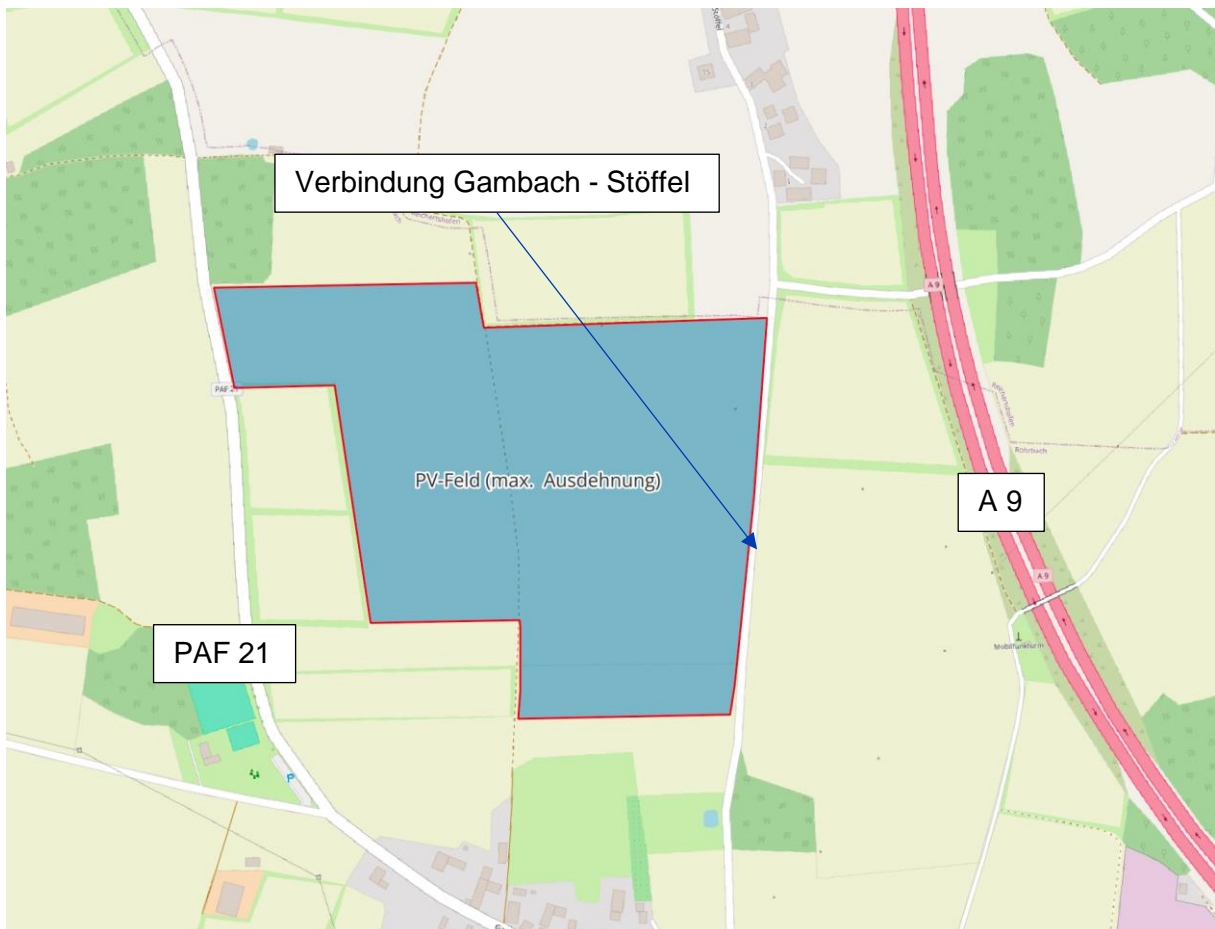


Abbildung 10: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden sogenannte „Observationspunkte“ (kurz OP) definiert. Diese OP dienen in der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen. Die Punkte OP S1 bis S12 repräsentieren den Straßenverkehr auf der Autobahn A 9. Hierbei stehen OP S1 bis S6 für den Verkehr in Fahrtrichtung Norden/Nordwesten, während OP S7 bis OP S12 den Verkehr in Fahrtrichtung Süden/Südosten abbilden. OP S13 bis S16 sind für den Verkehr auf der Kreisstraße PAF 21 in beiden Fahrtrichtungen zuständig. OP S17 bis S19 repräsentieren den Verkehr auf der Verbindungsstraße zwischen den Siedlungsgebieten, ebenfalls in beiden Fahrtrichtungen.

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

Abbildung 11 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



Abbildung 11: Positionen der OP Sx - Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

6.4 Topografische Zwischenbetrachtung

Im Rahmen der Auswertung wurden das Anlagengelände und die umliegende Umgebung auf der Basis von präzisen Höhendaten (DGM1) der Bayerischen Vermessungsverwaltung modelliert und analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass vom Abschnitt der Bundesautobahn A 9, der südöstlich der Photovoltaikanlage liegt, keine direkte Sicht auf die PVA besteht. Dies ist auf Geländeerhöhungen zurückzuführen, die die Sicht auf das Modulfeld blockieren.

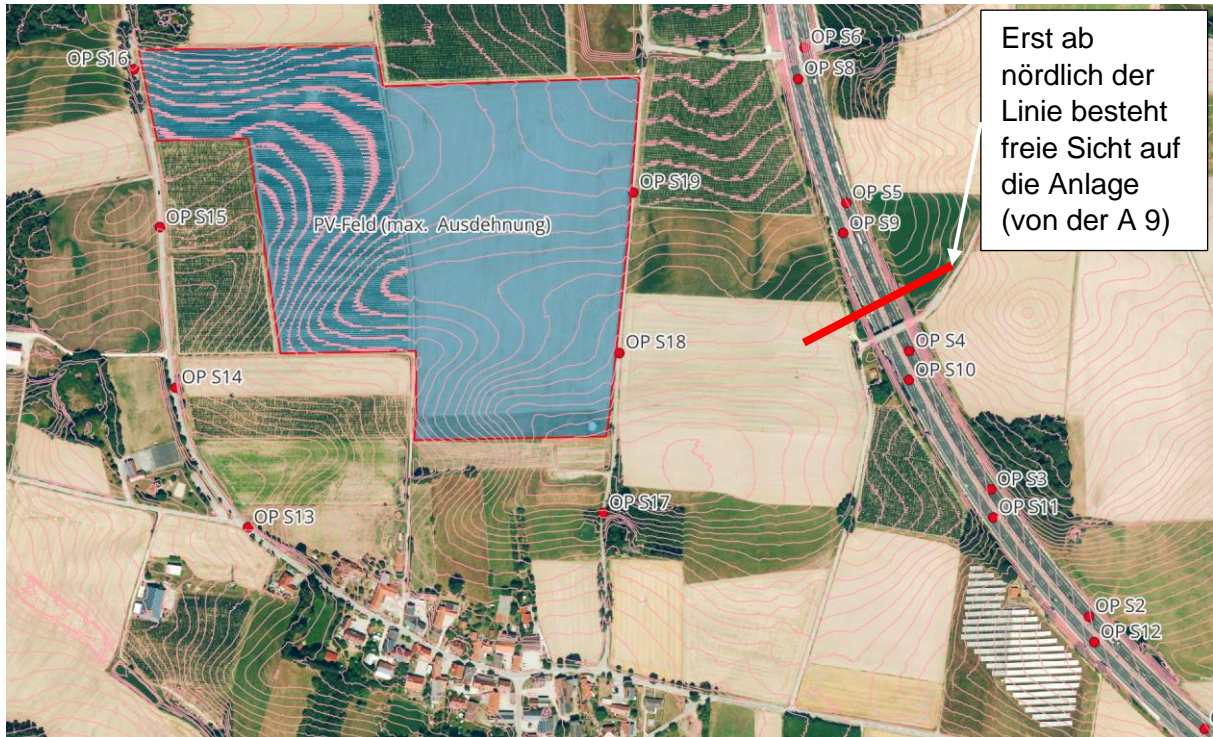


Abbildung 12: Konturlinien des Geländes - Quelle Luftbild und Höhendaten: Bayerische Vermessungsverwaltung

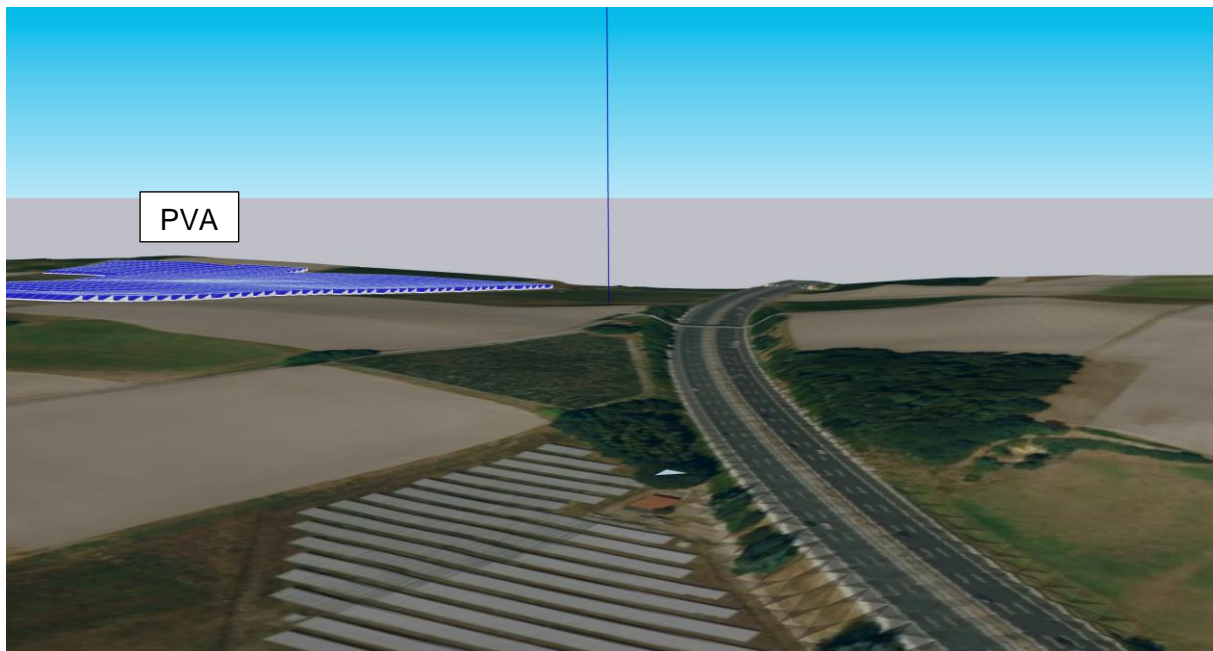


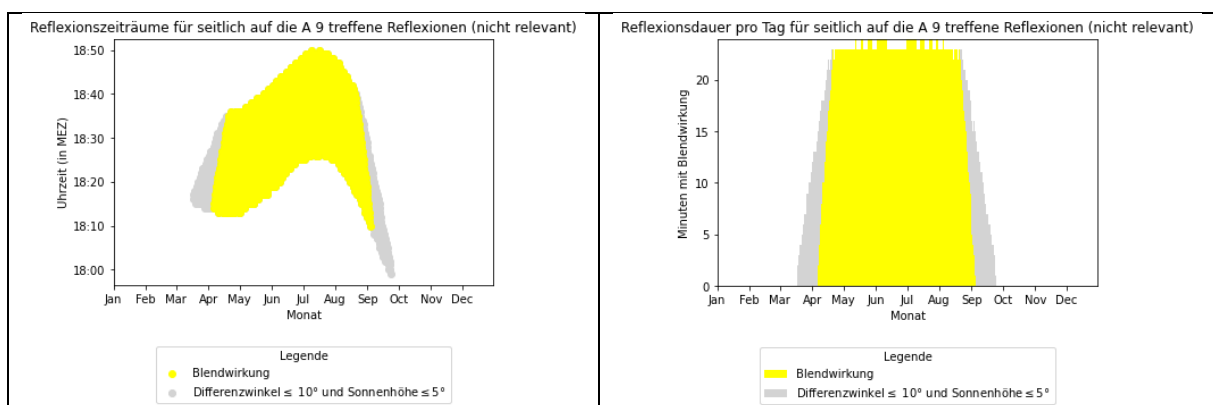
Abbildung 13: Ausschnitt des 3D-Modells der PVA und der Anlagenumgebung

6.5 Ergebnisse

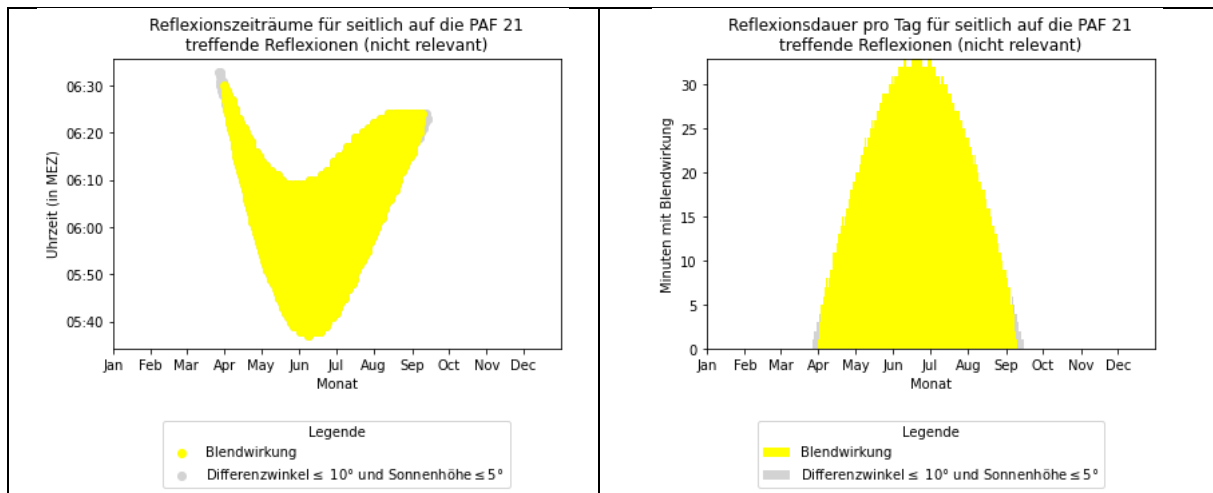
Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

| 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 |
|-------------------|---------------|--|--|---|
| S1 | Nordwesten | keine Reflexionen | - | Geländeerhöhungen blockieren die Sicht auf die PVA. |
| S2 | Nordwesten | keine Reflexionen | - | |
| S3 | Nordwesten | keine Reflexionen | - | |
| S4 | Nordwesten | keine Reflexionen | - | |
| S5 | Nordwesten | 53° | - | - |
| S6 | Nordwesten | keine Reflexionen | - | - |
| S7 | Südosten | keine Reflexionen | - | - |
| S8 | Südosten | keine Reflexionen | - | - |
| S9 | Südosten | > 90° | - | - |
| S10 | Südosten | keine Reflexionen | - | Geländeerhöhungen blockieren die Sicht auf die PVA. |
| S11 | Südosten | keine Reflexionen | - | |
| S12 | Südosten | keine Reflexionen | - | |
| S13 | Norden | > 90° | - | - |
| | Süden | 50° | - | |
| S14 | Norden | 74° | - | - |
| | Süden | 84° | - | |
| S15 | Norden | 73° | - | - |
| | Süden | 84° | - | |
| S16 | Norden | 73° | - | - |
| | Süden | 84° | - | |
| S17 | Norden | 74° | - | - |
| | Süden | > 90° | - | |
| S18 | Norden | 74° | - | - |
| | Süden | 80° | - | |
| S19 | Norden | 74° | - | - |
| | Süden | 80° | - | |

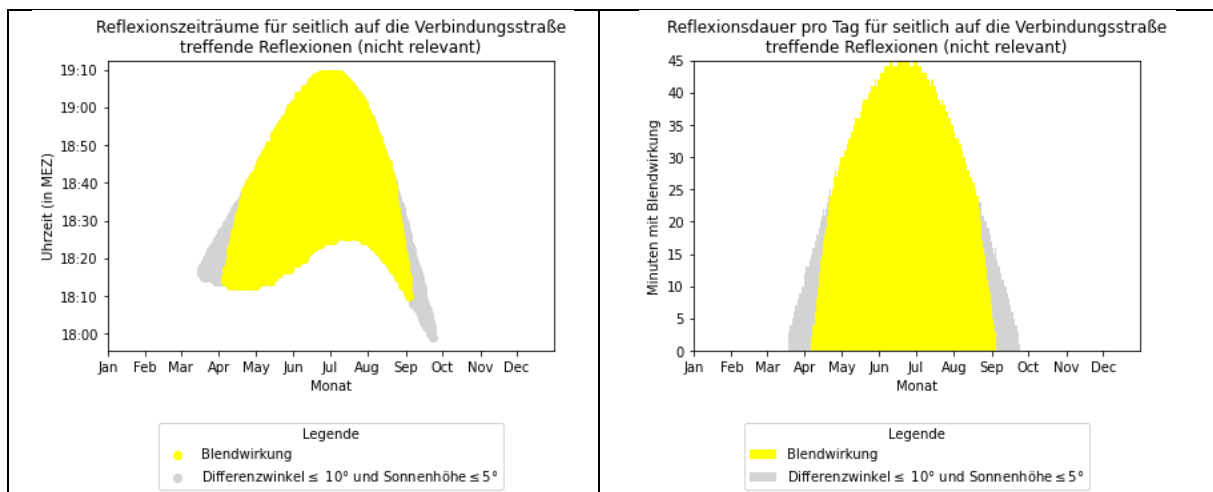
Ergebnisdiagramme 1: Seitliche Reflexionen auf die A 9 (das relevante Sichtfeld von Fahrzeugführern bleibt unberührt) - betroffen ist der Bereich bei OP S5 und S9



Ergebnisdiagramme 2: Seitliche Reflexionen auf die PAF 21 (das relevante Sichtfeld von Fahrzeugführern bleibt unberührt) - betroffen ist der Bereich bei OP S14 bis S16



Ergebnisdiagramme 3: Seitliche Reflexionen auf die Verbindungsstraße (das relevante Sichtfeld von Fahrzeugführern bleibt unberührt) - betroffen ist der Bereich bei OP S17 bis S19



7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld der Photovoltaikanlage, definiert als ein 100-Meter-Radius um die Anlage, befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Daher können erhebliche Belästigungen in schutzwürdigen Räumen ausgeschlossen werden. Zusätzlich sind keine bedeutenden Reflexionen in nördliche oder südliche Richtung zu erwarten, also in Richtung der umliegenden Siedlungsgebiete. Dies liegt daran, dass eine nach Süden ausgerichtete PVA, bezogen auf die Ausrichtung der Module, weder nach Süden noch in Bodennähe nach Norden reflektieren kann.

7.2 Straßen

7.2.1 A 9

Auf der Autobahn A 9 werden Fahrzeugführer keine Reflexionen im relevanten Sichtfeld wahrnehmen. Von dem Autobahnabschnitt südöstlich der Photovoltaikanlage besteht keine freie Sicht auf die Module, da Geländeerhöhungen die Sicht blockieren. Östlich der PVA können Reflexionen seitlich auf die Autobahn emittiert werden, jedoch liegen diese Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtfelds der Fahrzeugführer in beiden Fahrrichtungen. Folglich sind keine relevanten Beeinträchtigungen für die Fahrzeugführer zu erwarten.

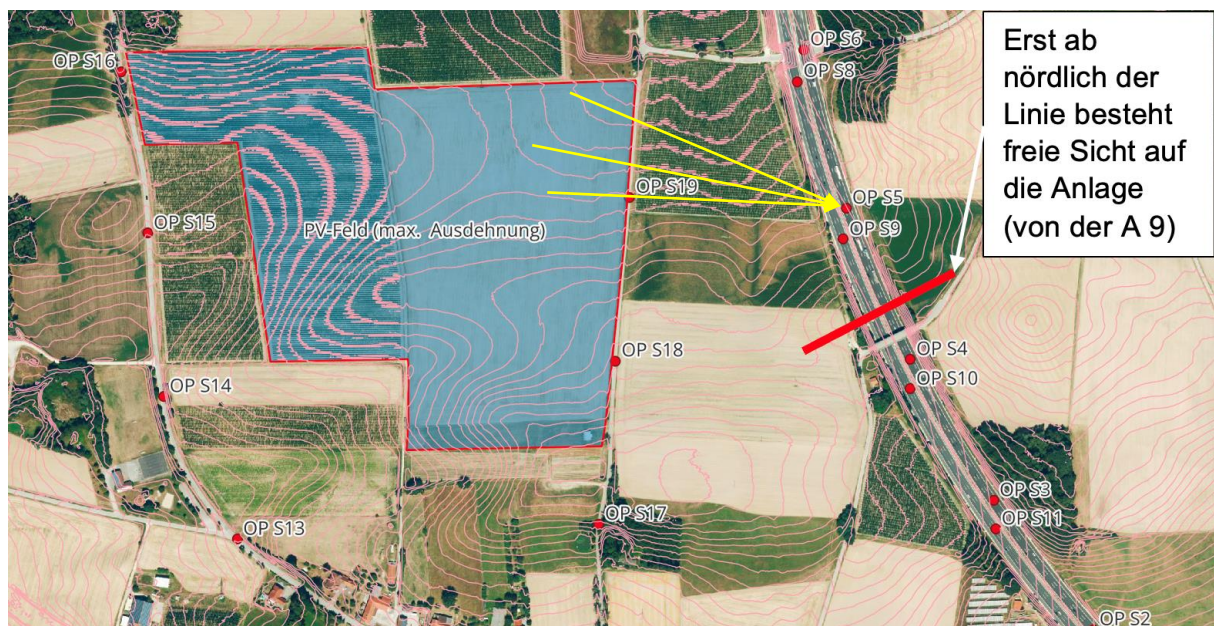


Abbildung 14: Skizze der Reflexionsrichtungen zu OP S5 (Beispiel)
- Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

7.2.2 Kreisstraße PAF 21 und Verbindungsstraße östlich der PVA

Auf der Kreisstraße PAF 21 sowie auf der Verbindungsstraße östlich der Photovoltaikanlage, die zwischen den Siedlungsgebieten verläuft, werden nur seitliche Reflexionen auf die Straßen erwartet. Das relevante Sichtfeld der Fahrzeugführer in beiden Fahrrichtungen (auf beiden Straßen) wird daher keine Reflexionen erfahren. Folglich sind keine relevanten Beeinträchtigungen für die Fahrzeugführer zu erwarten.

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