



[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 LINNER

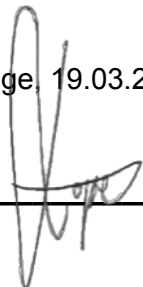
VERSION 1.3

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, 19.03.2024



Review:

Sachverständiger für Photovoltaik
Max Krug

Melm 1
D-96274 Itzgrund
+49 151 51207524
max.krug@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Itzgrund, 19.03.2024



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.3	Blendschutzmaßnahme in Absprache mit dem Projektierer und der Gemeinde angepasst	19.03.2024	Mathias Röper
1.2	Neues Layout berücksichtigt	14.03.2024	Mathias Röper
1.1	Blendwirkungen am Hof westlich der PVA simulationstechnisch bestimmt; redaktionelle Änderungen	20.12.2023	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	23.11.2023	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
5.3	Observationspunkte	13
5.4	Ergebnisse.....	14
6	Blendwirkungen auf Verkehrswege	15
6.1	Auswertungsmethodik.....	15
6.2	Relevante Verkehrswege	17
6.3	Vorbetrachtung	18
6.4	Observationspunkte	19
6.5	Ergebnisse.....	20
7	Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen	22
7.1	Gebäude.....	22
7.2	Verkehrswege.....	22
8	Literaturverzeichnis	25
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT	26

1 Einleitung

Die HEMA Solar TB GmbH, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	MaxSolar GmbH Schmidhamer Str. 22 83278 Traunstein
Projektname	PVA Linner
Adresse	84508 Burgkirchen an der Alz
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand <input type="checkbox"/> Im Bau <input checked="" type="checkbox"/> Planung

Der vorliegende Bericht wurde maßgeblich von Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit erstellt.

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)
- 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

Tabelle 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA	Auftraggeber
Umliegende Vegetation	Google Earth Pro, OpenStreetMap, Bayerische Vermessungsverwaltung
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell (DGM 1)	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) [1]
Verkehrswege (Straßen, Bahnstrecken)	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6)

2 Anlagenbeschreibung

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	48.1422651, 12.7697412
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
Größe der PVA (Modulfläche)	ca. 5,6 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd
Modulneigung	18°
Höhe Modulunterkante	ca. 0,8 m
Höhe Moduloberkante	ca. 3 m



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

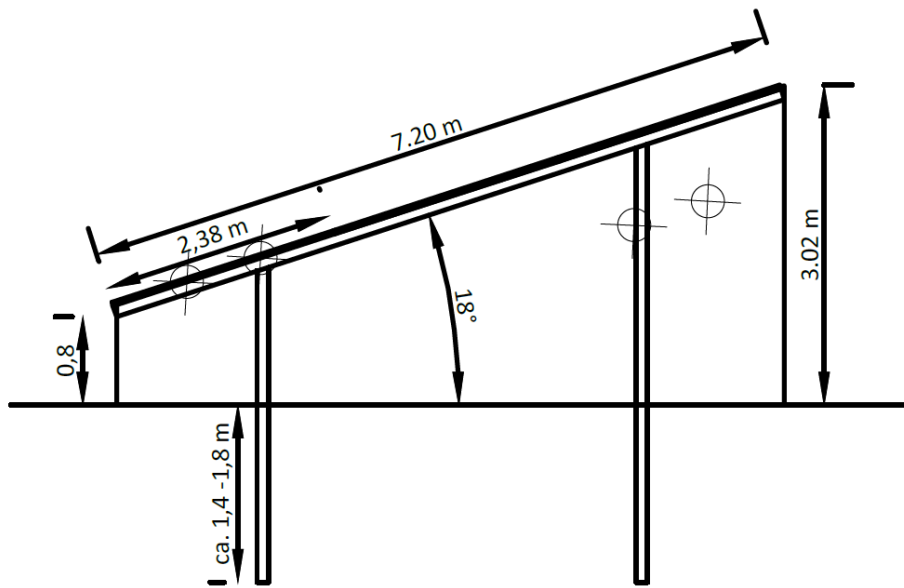


Abbildung 2: Schnittzeichnung Modultisch - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die geplante Photovoltaikanlage wird keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen in schutzwürdigen Räumen (z. B. Wohnräumen) verursachen.

Im Rahmen der Begutachtung wurden die Blendwirkungen zudem auf folgenden umliegenden Verkehrswegen ausgewertet:

- Bundesstraße B 20
- Madlstraße (Gemeindestraße)
- Pfaffing (Gemeindestraße)
- Ziegelstadl (Gemeindestraße)
- Bahnstrecke

Dabei sind nur auf der Madlstraße relevante/beeinträchtigende Blendwirkungen nicht auszuschließen. Zu bestimmten, wenigen Zeiträumen im Jahr ist mit stärkeren Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld zu rechnen (in Fahrtrichtung Westen). Um die Blendwirkungen auf der Madlstraße zu unterbinden bzw. zu minimieren, sollte ein Sichtschutz realisiert werden. Dieser wird in Absprache mit der Gemeinde durch eine mehrreihige Eingrünung realisiert. Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass ein effektiver Sichtschutz erst mittelfristig erreicht werden kann (Wuchsdauer).

Auf den weiteren geprüften Verkehrswegen, inklusive der Bahnstrecke, konnten keine relevanten Blendwirkungen identifiziert werden.

4 Grundlagen

4.1 Blendwirkung von Modulen

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

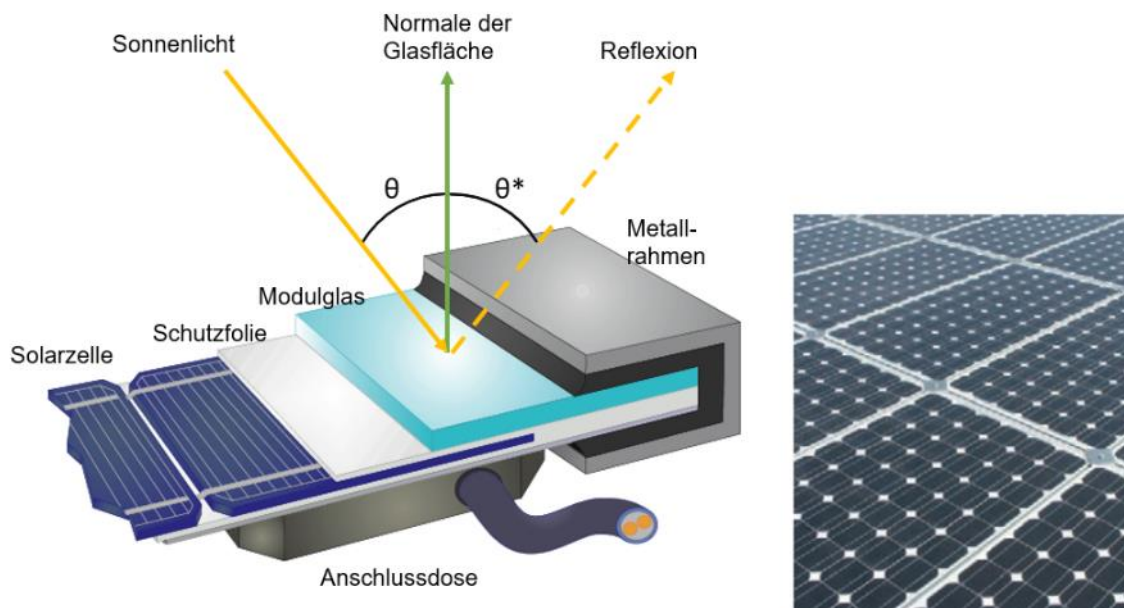


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

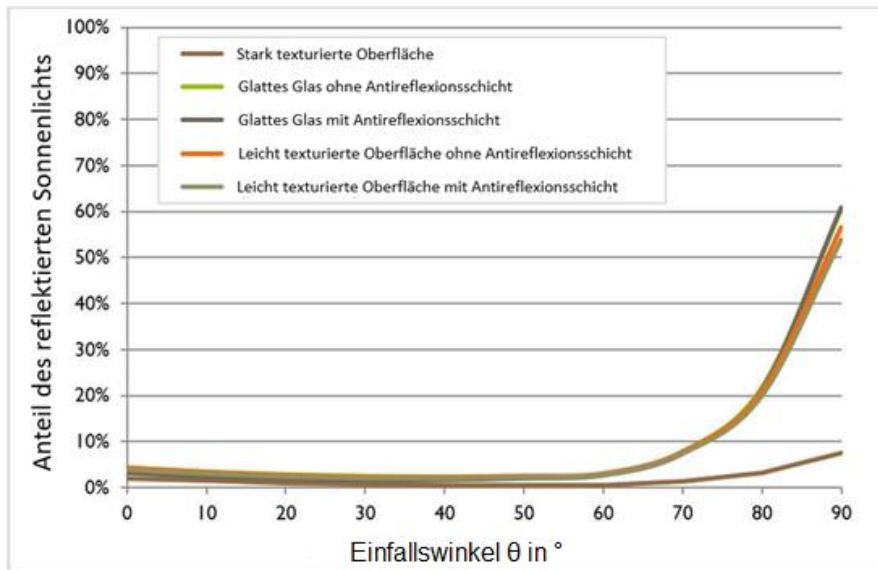


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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].

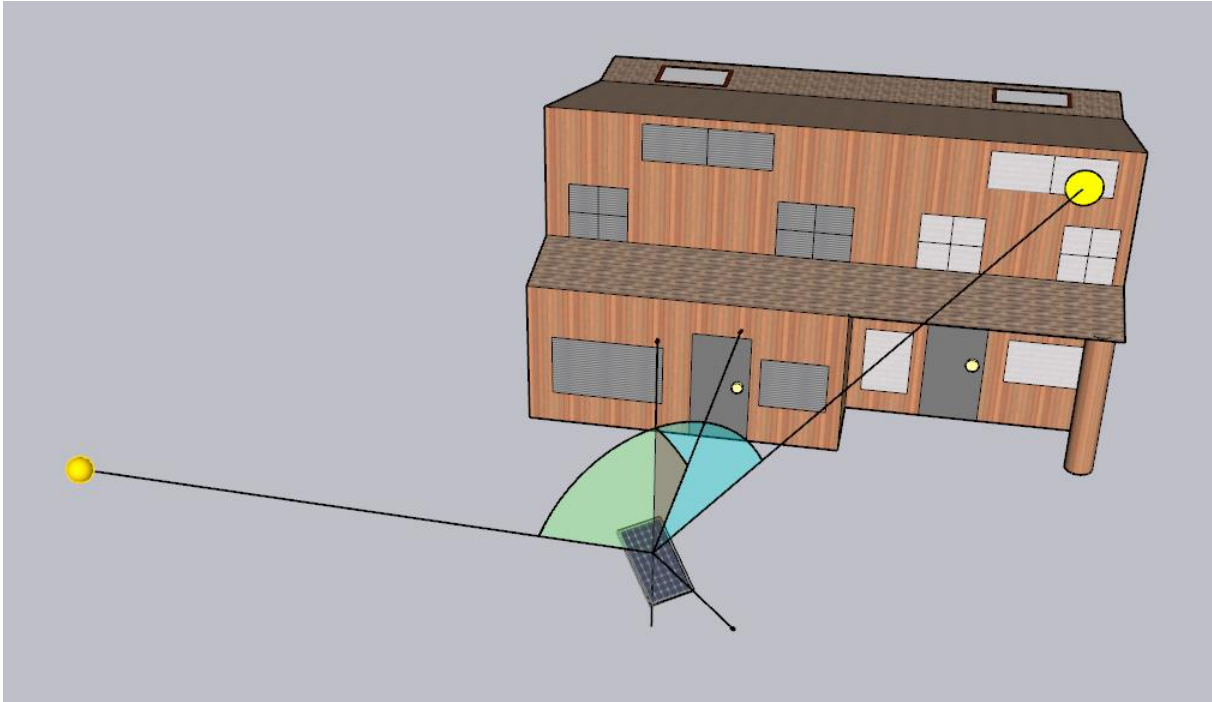


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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).

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

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

Ab einem Abstand zwischen Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und PVA von 100 m können erhebliche Belästigungen (i. d. R.) pauschal ausgeschlossen werden [1]. Erfahrungsgemäß stellen in Relation zur PVA sehr viel höher liegende Immissionsorte eine Ausnahme dar – entsprechende Immissionsorte befinden sich jedoch nicht im Umfeld der geplanten PVA.

Abbildung 7 zeigt den Bereich, der 100 Meter oder näher zur Photovoltaikanlage liegt. Innerhalb dieser 100-Meter-Abstandszone befinden sich keine Gebäude. Somit können erhebliche Belästigungen durch Blendwirkungen in oder an schutzwürdigen Räumen, wie Wohnräumen, pauschal ausgeschlossen werden.

Trotzdem werden im Folgenden die Blendwirkungen auf den Hof im Westen ausgewertet und dargestellt.

Es gilt zudem zu beachten, dass eine nach Süden ausgerichtete PVA weder nach Norden noch nach Süden reflektieren kann.



Abbildung 7: Übersicht der 100-Meter-Zone – Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

5.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf den Hof westlich der Photovoltaikanlage wurde ein sogenannter „Observationspunkt“ (OP) definiert, bezeichnet als OP H1. Der OP dient in der Simulation als Detektorpunkt für einfallende Reflexionen. Der OP wurde in einer Höhe von 4,6 Metern über der Geländeoberkante festgelegt. Dies entspricht etwa der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss. Tendenziell erfahren höher gelegene Immissionsorte mehr Blendwirkungen als tiefer gelegene.



Abbildung 8: Position von OP H1 - Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

5.4 Ergebnisse

Bei OP H1 konnten keine relevanten Reflexionen identifiziert 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 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 (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. Dichte Waldflächen werden hingegen als Sichtschutz berücksichtigt.

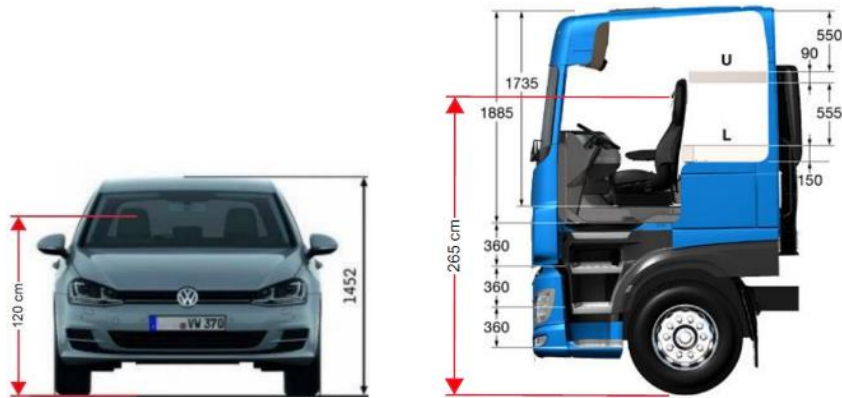


Abbildung 9: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

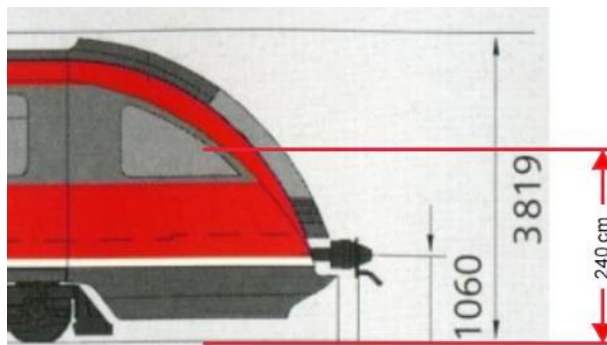


Abbildung 10: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

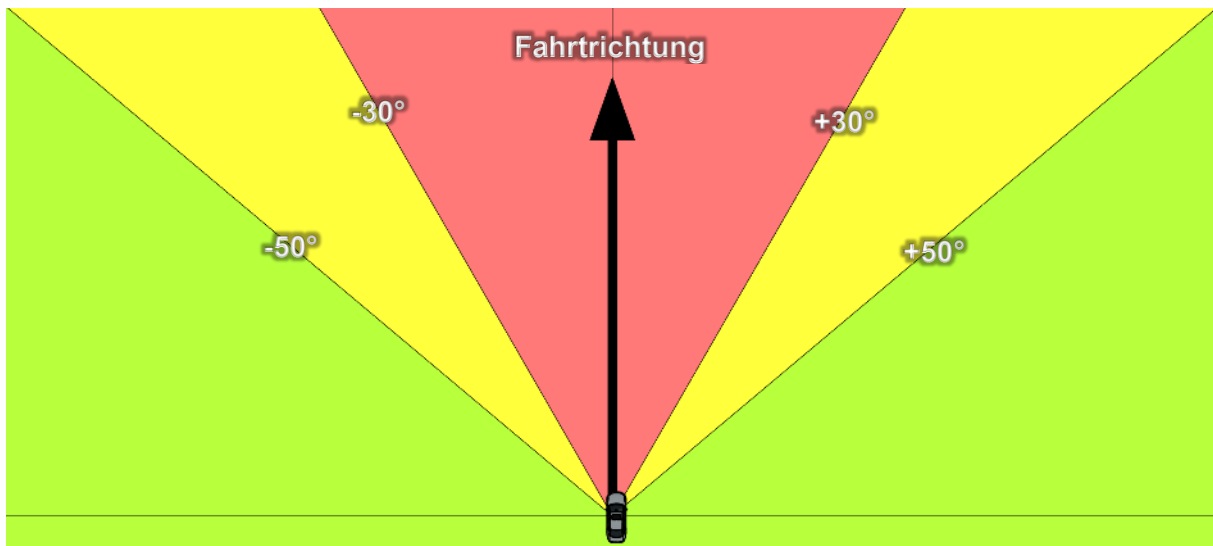


Abbildung 11: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers:
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

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

- Bundesstraße B 20
- Madlstraße (Gemeindestraße)
- Pfaffing (Gemeindestraße)
- Ziegelstadl
- Bahnstrecke

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

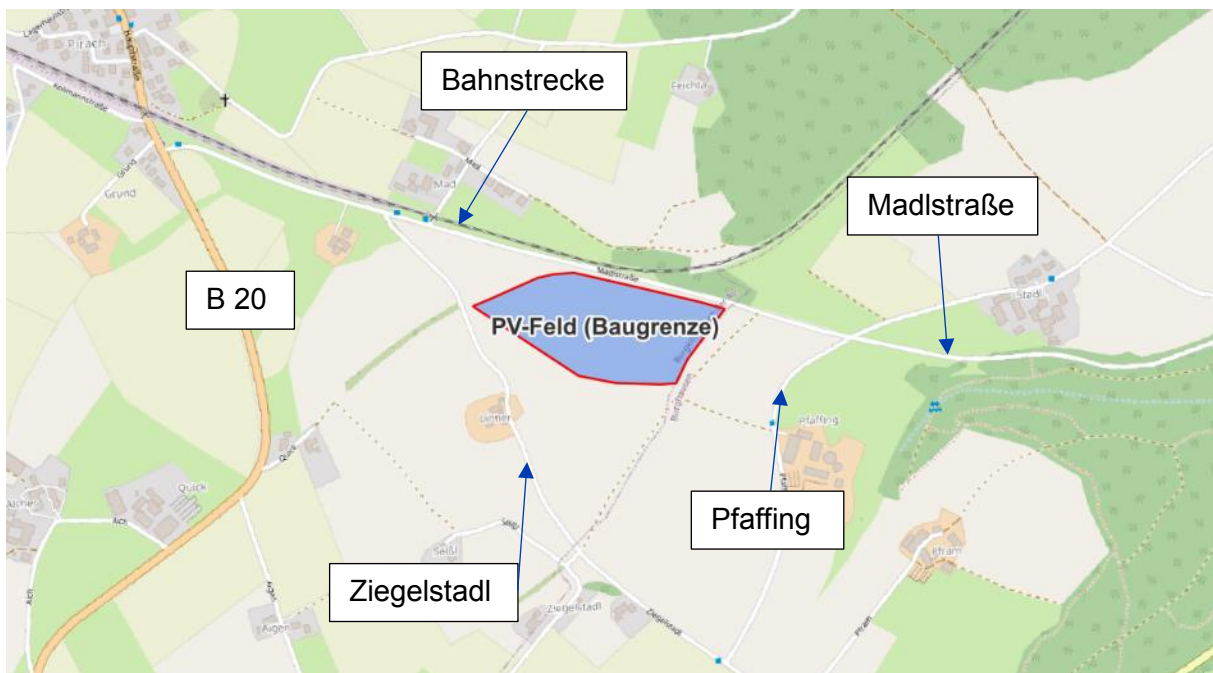


Abbildung 12: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Vorbetrachtung

Blendwirkungen nördlich der PVA können pauschal ausgeschlossen werden, da von dort aus lediglich die nicht reflektierenden Rückseiten der Modultische sichtbar sind. Zudem ist es geometrisch betrachtet nicht möglich, dass die PVA nach Süden reflektiert. Reflexionen nach Südosten und Südwesten sind jedoch möglich. Insgesamt lässt sich der Bereich, in dem Reflexionen zu erwarten sind, bereits im Vorfeld deutlich eingrenzen.

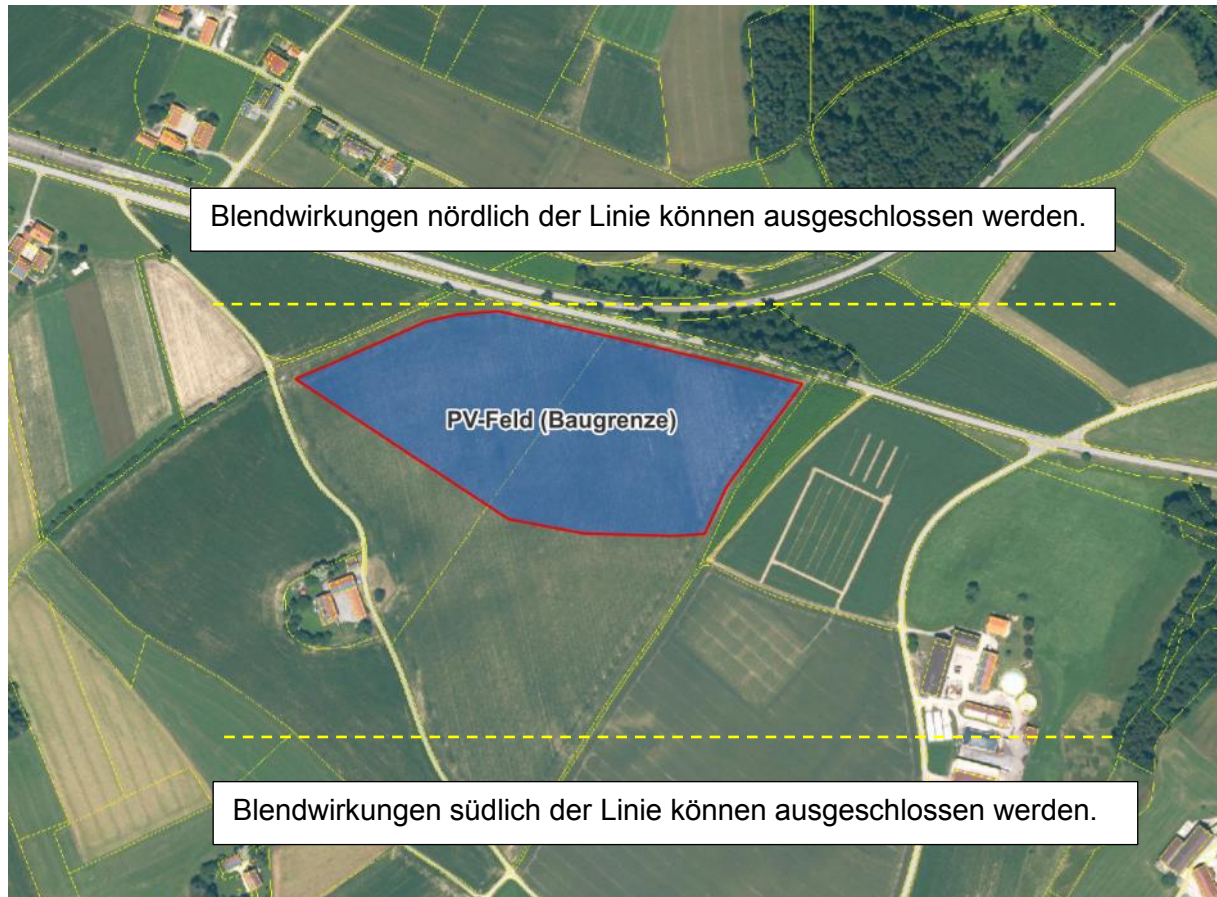


Abbildung 13: Einschränkung des Bereichs, in dem Reflexionen auftreten können.
- Quelle Luftbild: Bayrische Vermessungsverwaltung

6.4 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden sogenannte „Observationspunkte“ (OP) definiert. Diese OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftreffende Reflexionen. Insgesamt wurden 16 OP (OP S1 bis S12 und OP B1 bis B4) zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt.

- OP S1 bis S4 repräsentieren den Verkehr auf der Bundesstraße B 20.
- OP S5 bis S8 repräsentieren den Verkehr auf der Madlstraße.
- OP B1 bis B4 stehen für den Bahnverkehr.

Die OP Sx wurden in einer Höhe von 2,65 Metern über dem Boden positioniert, was ungefähr der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht. Die OP Bx wurden in einer Höhe von 2,4 Metern über dem Schienenniveau positioniert, was wiederum annähernd der Augenhöhe eines Lokführers entspricht.

Abbildung 14 zeigt die Positionen der Observationspunkte.

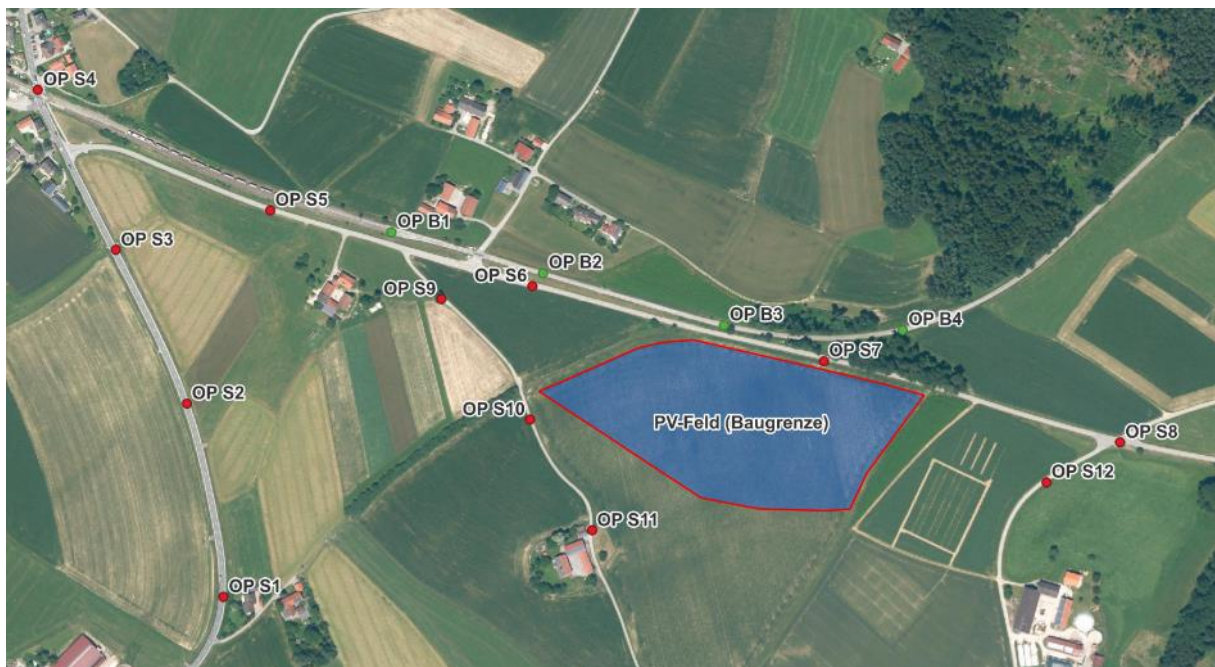


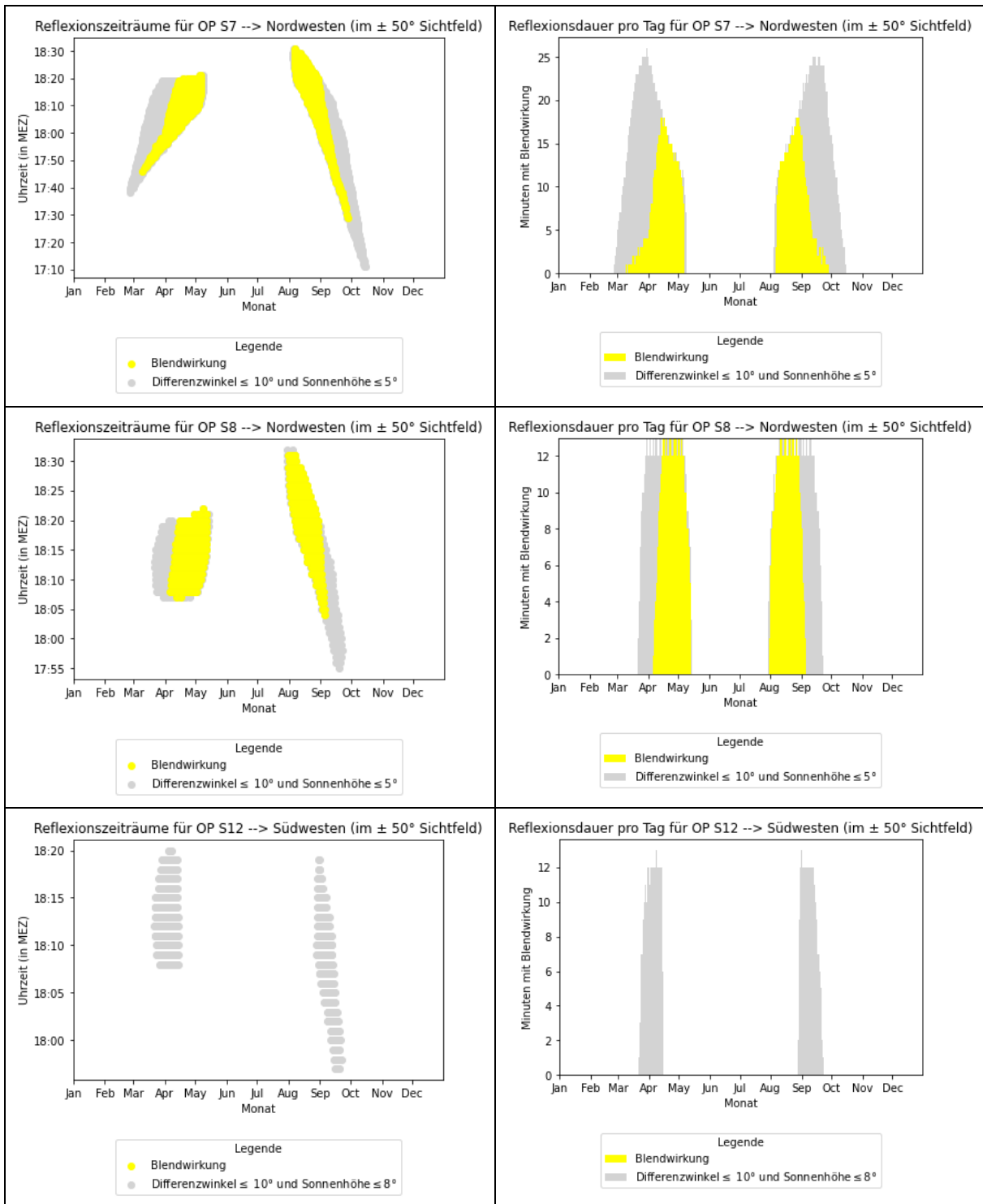
Abbildung 14: Positionen der OP Sx und Bx - Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

6.5 Ergebnisse

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

Observationspunkt (OP)	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (wenn der Winkel über 90° beträgt, werden die Reflexionen nicht mehr aufgeführt)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld bei Fahrt, $\pm 90^\circ$ Sichtfeld an Kreuzungen/Bahnübergängen) vollständig von der Sonne überlagert?	Anmerkung
S1	Norden	69°	-	-
	Süden	keine Reflexionen	-	-
S2	Nordwesten	80°	-	-
	Südosten	77°	-	-
S3	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S4	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S5	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S6	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S7	Nordwesten	4°	nein	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S8	Nordwesten	3°	nein	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S9	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S10	Nordwesten	87°	-	-
	Südosten	68°	-	-
S11	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
S12	Nordosten	keine Reflexionen	-	-
	Südwesten	40°	ja	-
B1	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
B2	Nordwesten	keine Reflexionen	-	-
	Südosten	keine Reflexionen	-	-
B3	Westen	keine Reflexionen	-	-
	Osten	keine Reflexionen	-	-
B4	Nordosten	keine Reflexionen	-	-
	Südwesten	keine Reflexionen	-	-

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisse für die OP Sx und Bx



7 Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen

7.1 Gebäude

In der relevanten Umgebung der Photovoltaikanlage befinden sich keine schutzwürdigen Räume, wie beispielsweise Wohngebäude. Daher können erhebliche Belästigungen in oder an schutzwürdigen Räumen ausgeschlossen werden.

Die Blendwirkungen auf dem Hof westlich der Photovoltaikanlage (PVA) wurden mittels Simulation bestimmt. Die Auswertung ergab, dass keine nennenswerten Reflexionen am Hof zu erwarten sind. Die Grenzwerte der Lichtimmission (LAI) werden dabei nicht annähernd überschritten.

7.2 Verkehrswege

Auf der Bundesstraße B 20, der Bahnstrecke und den Gemeindestraßen Pfaffing und Ziegelstadl werden keine nennenswerten Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen erwartet, da das relevante Sichtfeld stets blendfrei bleibt bzw. keinerlei Reflexionen auftreten.

Auf der Madlstraße hingegen können in Fahrtrichtung Westen störende, teilweise stärker beeinträchtigende Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld nicht ausgeschlossen werden. Der Bahnübergang bleibt blendfrei. Da die Gemeinde keinen künstlichen Sichtschutz wünscht (dies wurde noch bis zur Berichtsversion 1.2 empfohlen), wurde sich auf eine Eingrünung verständigt. Da bezüglich der Bewertung von PVA-bedingten Blendwirkungen auf den Straßenverkehr keine Richtlinien, Normen oder sonstige Vorgaben existieren, liegt dies bei der Madlstraße im Ermessensbereich der zuständigen Zulassungsbehörde. Wenn die Eingrünung mehrreihig ausfällt, sodass zu den entsprechenden Blendzeiten (siehe Kapitel 6.5) die Sicht von der Straße auf die Anlage unterbunden wird, stellt eine ausgewachsene Eingrünung eine effektive Alternative zu einem Sichtschutzzaun dar. Hierbei muss nur erwähnt werden, dass die erforderliche Wuchshöhe von mindestens 2,5 m (dann sind PKW-Fahrer vollständig geschützt) erst nach einer Wuchsdauer von mehreren Jahren erreicht wird. Um auch LKW-Fahrer zu schützen, sollte sogar eine maximale Wuchshöhe von ca. 3,5 m angestrebt werden.



Abbildung 15: Geplante Eingrünung des PV-Feldes - Quelle: Auftraggeber

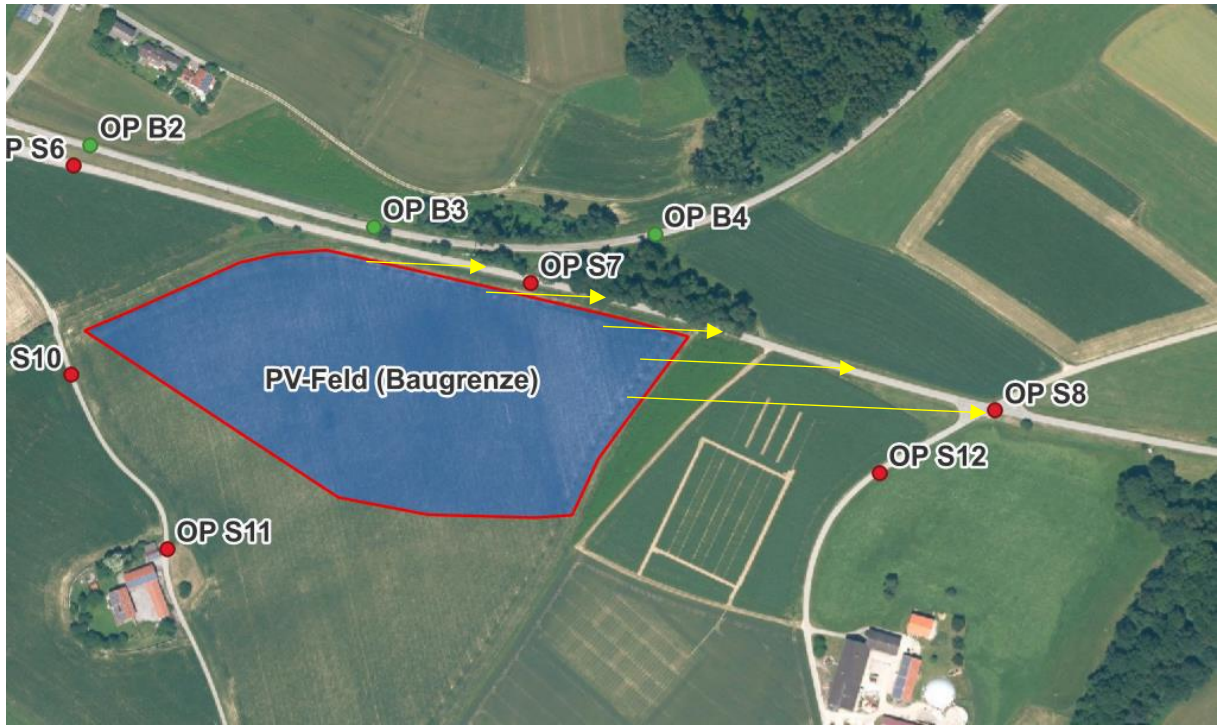


Abbildung 16: Skizze der Reflexionsrichtungen auf die Madlstraße
- Quelle Luftbild: Bayrische Vermessungsverwaltung

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