



[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 RICKLING

VERSION 1.0

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik  
Mathias Röper, M. Eng.

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

Moorrege, 09.10.2024

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	09.10.2024	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 .....	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	Observationspunkte .....	18
6.4	Ergebnisse.....	19
7	Diskussion der Ergebnisse .....	23
7.1	Gebäude.....	23
7.2	Verkehrswege.....	23
8	Literaturverzeichnis .....	27
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT .....	28

# 1 Einleitung

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

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	Malte Haack Kätnerweg 1 24983 Handewitt
Projektname	PVA Rickling
Adresse PVA	24635 Rickling (an der B 205)
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand   <input type="checkbox"/> Im Bau   <input checked="" type="checkbox"/> Planung

## 1.1 Fragestellung

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

- Schutzwürdige Räume (z. B. Wohnräume)
- Straßenverkehr
- Bahnverkehr

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
Umliegende Bebauung	
Höhendaten (DGM1)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation SH

## 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	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6)

## 2 Anlagenbeschreibung

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	53.980669,10.200404
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständering	Fest aufgeständert
PV-Fläche	siehe Abb. 1
Nennleistung (DC)	37,39 MWp
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd (Norden = 0°)
Modulneigung	18°
Höhe Modulunterkante	0,8 m
Höhe Moduloberkante	2,97 m



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

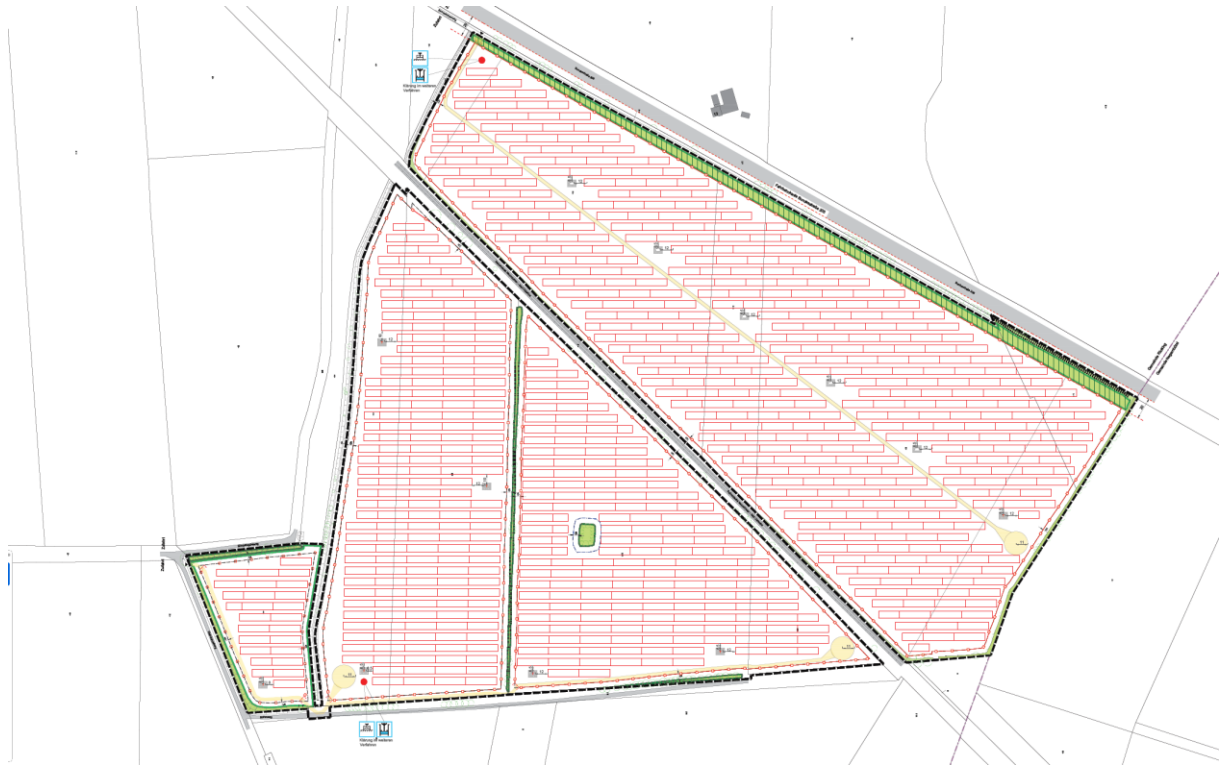


Abbildung 2: Belegungsplan - Quelle: Auftraggeber

## Schnitt Modultisch

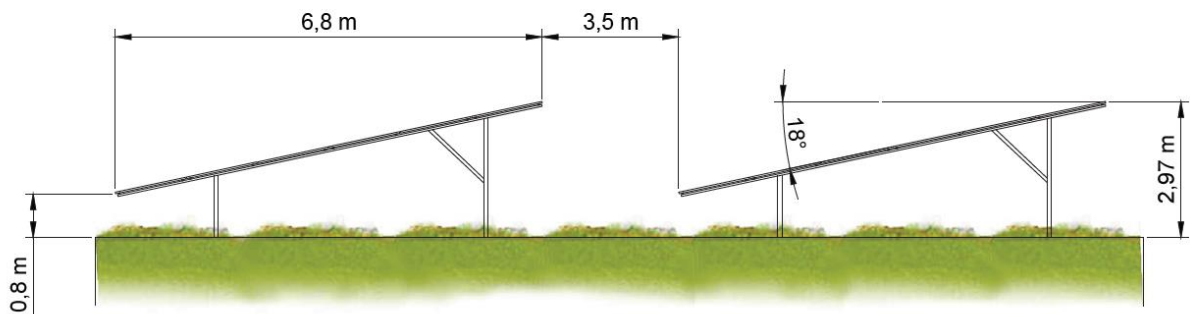


Abbildung 3: Schnittzeichnung Modultische - Quelle: Auftraggeber

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten Umfeld der PVA (100 m Radius) befindet sich lediglich ein schutzwürdiges Wohngebäude. Die durchgeführte Simulation hat ergeben, dass an diesem Wohngebäude, unabhängig von der lokalen Vegetation, die LAI-Grenzwerte eingehalten werden. Entsprechend wird die PVA keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen in oder an schutzwürdigen Räumen verursachen.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Bundesstraße B 205 und die angrenzende Bahnstrecke Rickling–Fahrenkrug als relevante Verkehrswege im Umfeld der geplanten Photovoltaikanlage identifiziert und geprüft.

Auf der B 205 können Fahrzeugführer in Fahrtrichtung Nordwesten geometrisch betrachtet Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld erfahren, wodurch erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können. Um diese auszuschließen, ist die Realisierung eines Sichtschutzes im Nordosten/Osten der PVA in Betracht zu ziehen. Dieser sollte die Höhe der Modultische (ca. 3 m) erreichen und kann durch blickdichte Vegetation oder bauliche Maßnahmen umgesetzt werden.

An der Bahnstrecke können Lokführer in Fahrtrichtung Nordwesten im zentralen Sichtfeld potenziell geblendet werden. Allerdings bleibt ein blendfreies Sichtfeld von etwa  $\pm 20^\circ$ , bezogen auf die Fahrtrichtung, erhalten, sodass keine kritischen Blendwirkungen zu erwarten sind. Wenn sich auf dem betroffenen Streckenabschnitt keine Signale befinden, ist die Situation unbedenklich. Falls jedoch Signale vorhanden sind, sollte ein Sichtschutz auf der Bahnstrecke in Erwägung gezogen werden, um mögliche Blendwirkungen zu unterbinden.

## 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  $\theta$  (siehe Abbildung 4) lediglich einen kleinen Teil des Sonnenlichts (etwa 5%). Studien zeigen jedoch, dass trotz Texturierung und Antireflexbeschichtung der Anteil des reflektierten Sonnenlichts mit ansteigendem Einfallswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 5).

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

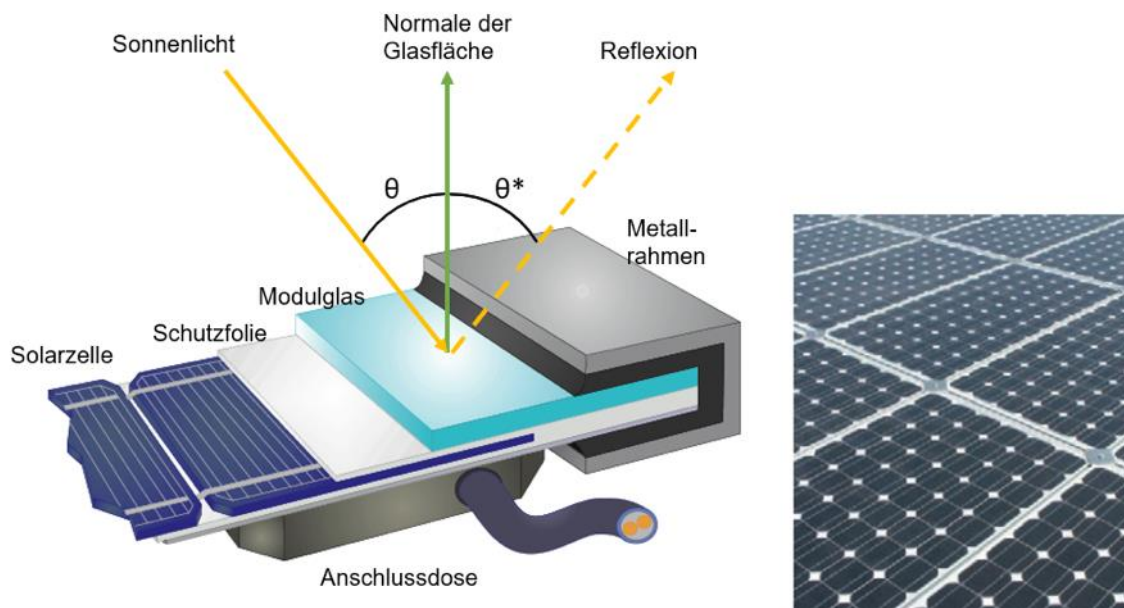


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“  
- Quelle: [3] (modifiziert)

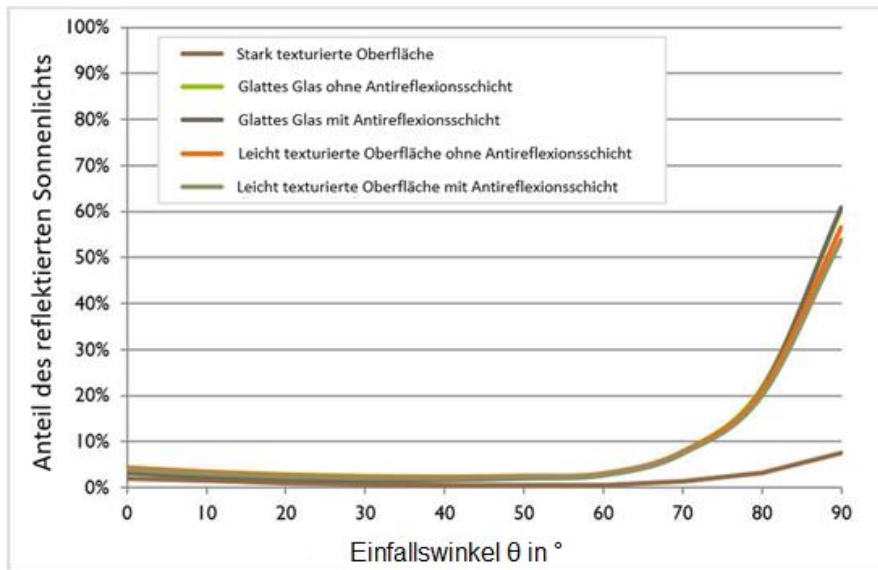


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

Die Oberflächentexturierung des Modulglases bewirkt eine weniger intensive, aber diffuse (gestreute) Reflexion des Sonnenlichts, wodurch der Immissionsort der Reflexion vergrößert wird. Daher sind die Intensitäten von Reflexionen an Solarmodulen nicht mit denen an beispielsweise glatten Fensterscheiben vergleichbar, bei denen das Sonnenlicht gerichteter reflektiert wird. Neue PV-Module verfügen in der Regel über eine Antireflexbeschichtung und zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies gilt auch für den später verwendeten Modultyp.



Abbildung 6: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) - Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

## 4.2 Berechnung von Reflexionen

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

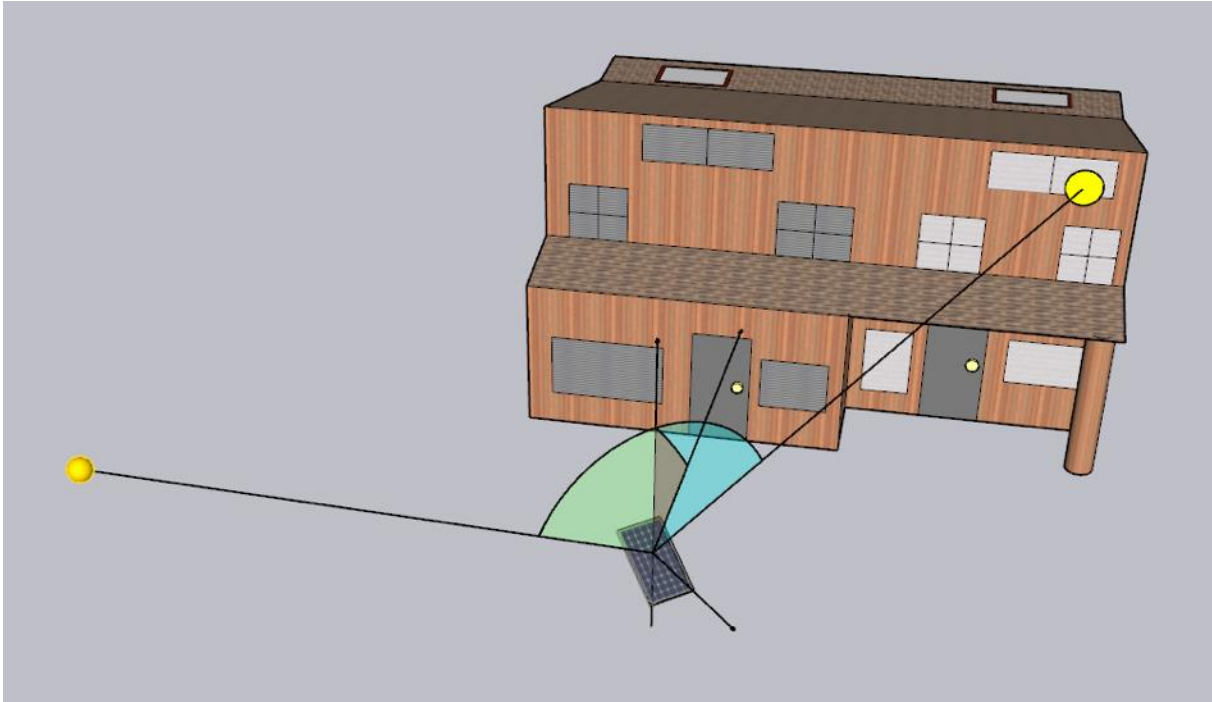


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

## 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, 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 wird jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um dennoch eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden 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. In der Diskussion (Kapitel 7) werden Hindernisse jedoch ggf. berücksichtigt.

## 5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

Ab einem Abstand zwischen Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und einer nach (ca.) Süden ausgerichteten PVA von 100 m können erhebliche Belästigungen (i. d. R.) pauschal ausgeschlossen werden [1].

Abbildung 8 veranschaulicht den Bereich, der 100 Meter oder näher an der Photovoltaikanlage liegt.

Es lässt sich feststellen, dass sich im 100-Meter-Umkreis ein schutzwürdiges Wohngebäude im Nordosten der PVA befindet. Dort können erhebliche Belästigungen durch Blendwirkungen nicht pauschal ausgeschlossen werden.

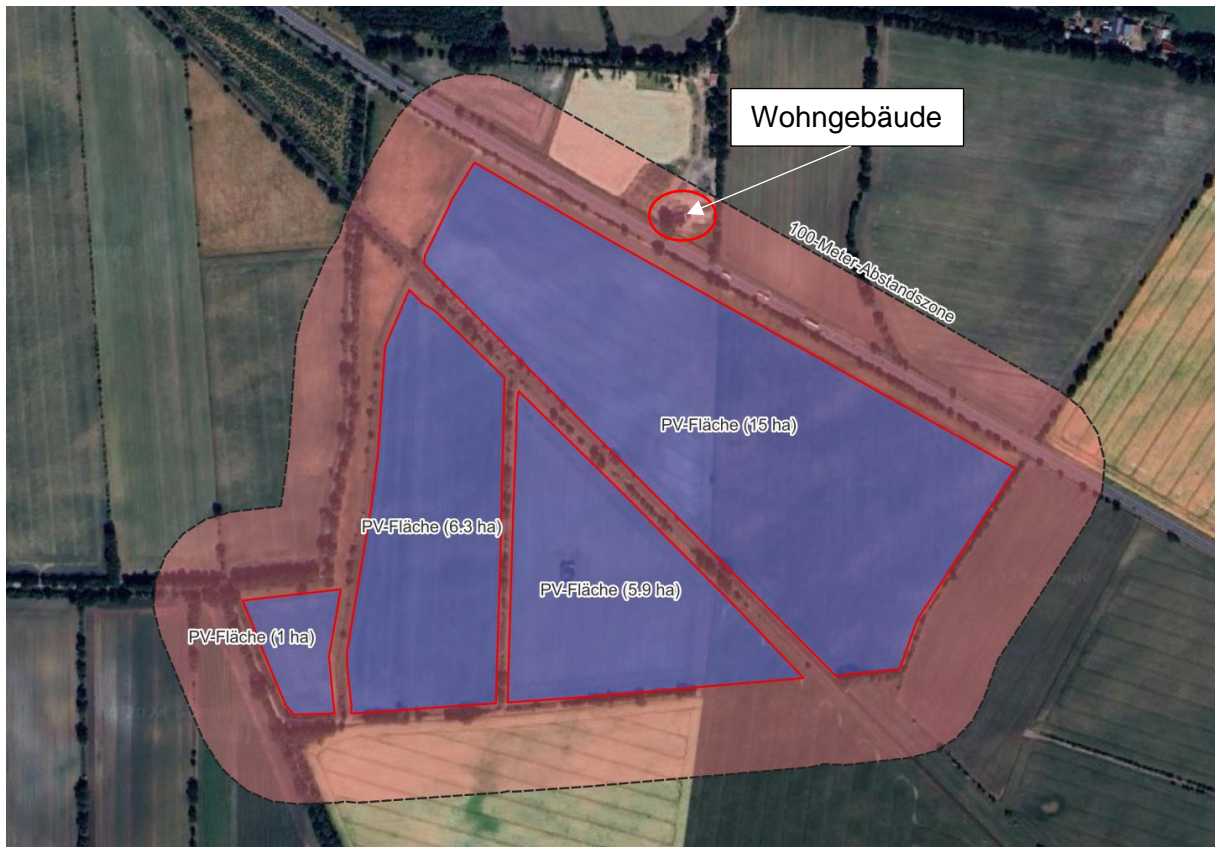


Abbildung 8: Übersicht der 100-Meter-Zone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 5.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen in den schutzwürdigen Räumen wurden im Rahmen der Simulation sogenannte „Observationspunkte“ (OP) festgelegt. Diese Punkte fungieren als Detektoren für einfallende Reflexionen. Insgesamt wurde ein OP am Wohnhaus im Nordosten der PVA definiert (OP H1). Der OP wurde so positioniert, dass er das Worst-Case-Szenario repräsentiert, also den Ort, an dem die stärksten Blendwirkungen erwartet werden.

Der OP H1 ist in einer Höhe von 4,6 m angebracht, was ungefähr der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Stock entspricht. Generell sind höher gelegene Immissionsorte stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt als tiefer gelegene.



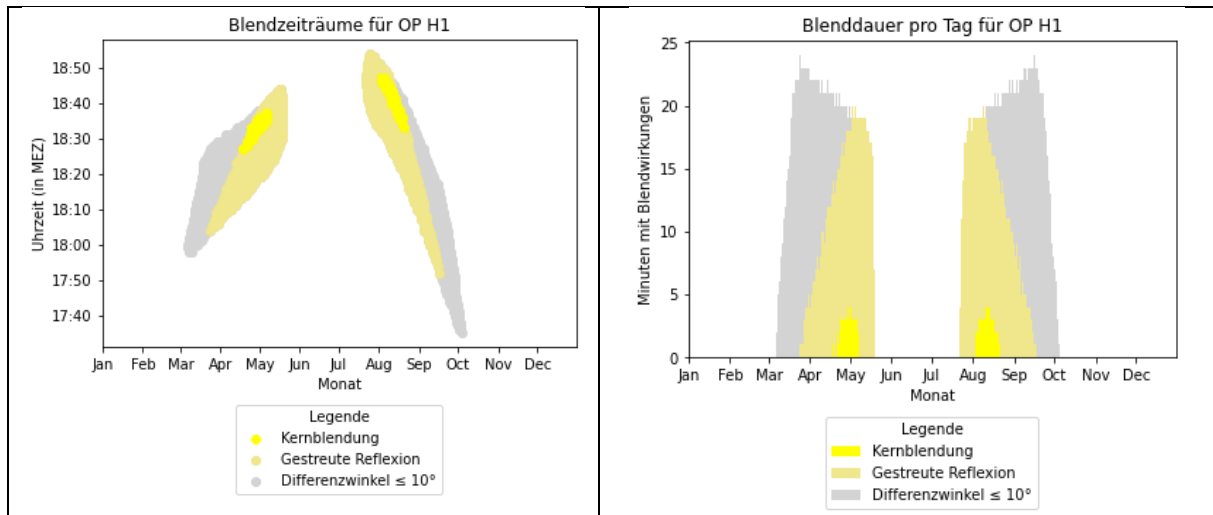
Abbildung 9: Position von OP H1 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

## 5.4 Ergebnisse

Tabelle 5: Ergebnisse an den OP Hx

Observationspunkt	Max. Blenddauer (Kernblendung) pro Tag in Minuten	Gesamtblenddauer pro Jahr (Kernblendung) in Minuten	Werden die LAI-Grenzwerte eingehalten (vgl. Kapitel 5.1)?
H1	4	101	ja

Ergebnisdiagramme 1: Blendwirkungen bei den OP Hx



## 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 10 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 Bahnstrecken:** Für Lokführer wird eine gemeinsame Erheblichkeits- und Beeinträchtigungsgrenze von  $\pm 30^\circ$  angesetzt.

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. In der Diskussion (Kapitel 7) werden Hindernisse jedoch ggf. berücksichtigt.

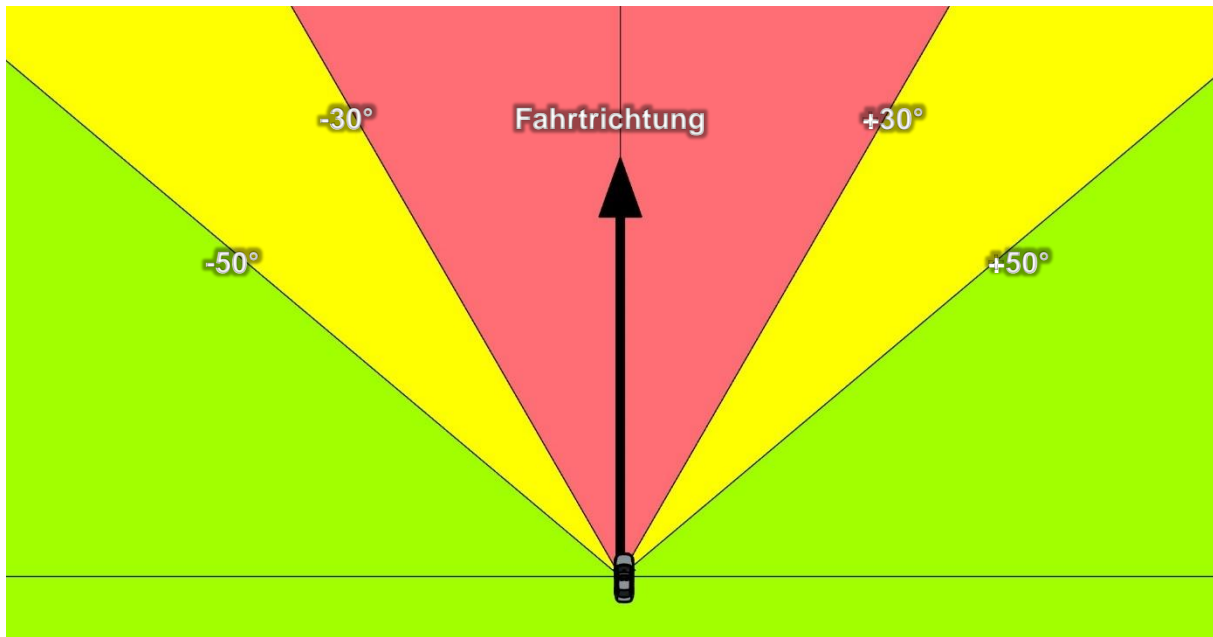


Abbildung 10: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers  
– Quelle: Eigene Abbildung

Die folgenden Abbildungen zeigen die geschätzten Augenhöhen der Verkehrsteilnehmer. Diese Angaben sind im Rahmen der Simulation relevant (siehe Kapitel 6.3).



Abbildung 11: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer  
– Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

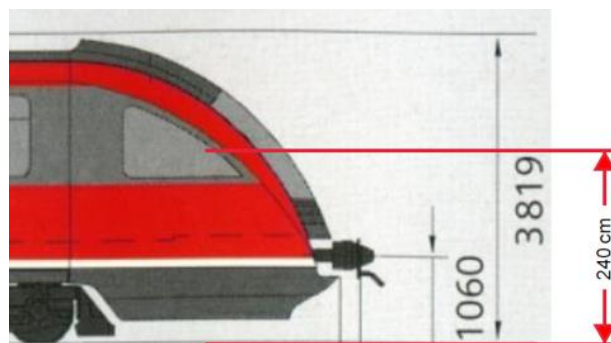


Abbildung 12: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: [www.nahverkehr-franken.de](http://www.nahverkehr-franken.de) (modifiziert)

## 6.2 Relevante Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesstraße B 205 sowie die angrenzende Bahnstrecke Rickling-Fahrenkrug als relevante (übergeordnete) Verkehrswege identifiziert.

Wirtschaftswege oder nur sporadisch befahrene Straßen und Zuwegungen wurden aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens als nicht relevant eingestuft und daher in der Analyse nicht weiter berücksichtigt.



Abbildung 13: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

### 6.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden spezifische „Observationspunkte“ (OP) definiert, die in der Simulation als Detektorpunkte für auftretende Reflexionen dienen.

Insgesamt wurden 11 OP zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt:

- OP S1 bis S5 für den Straßenverkehr auf der B 205.
- OP S6 bis S11 für den Schienenverkehr auf der Bahnstrecke.

Die OP S1 bis S5 sind in einer Höhe von 2,65 m über dem Straßenniveau angebracht, was der angenommenen Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht.

Die OP S6 bis S11 sind in einer Höhe von 2,40 m über dem Schienenniveau angebracht, was der angenommenen Augenhöhe eines Lokführers entspricht.

Abbildung 14 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



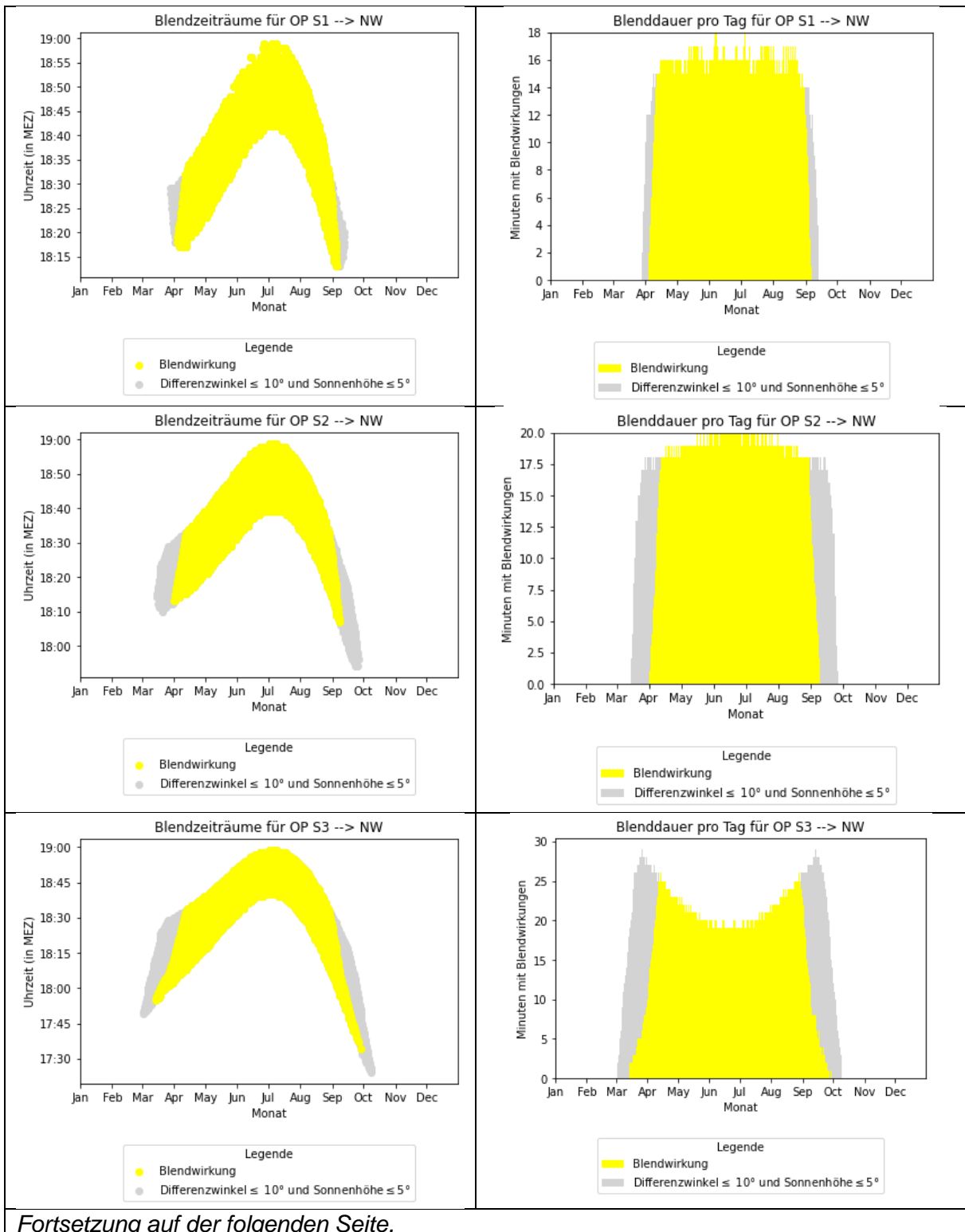
Abbildung 14: Positionen der OP auf den Verkehrswegen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

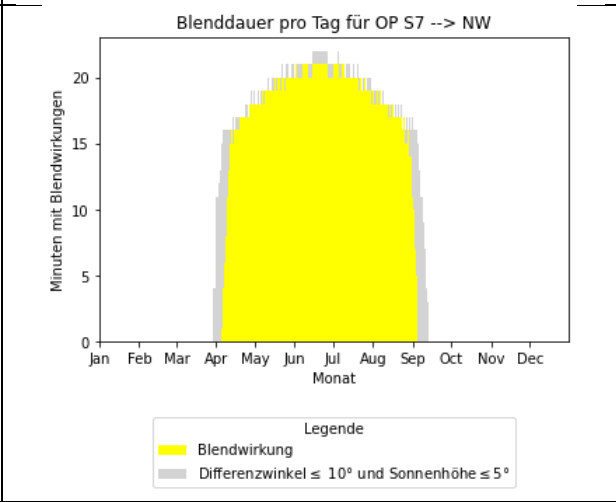
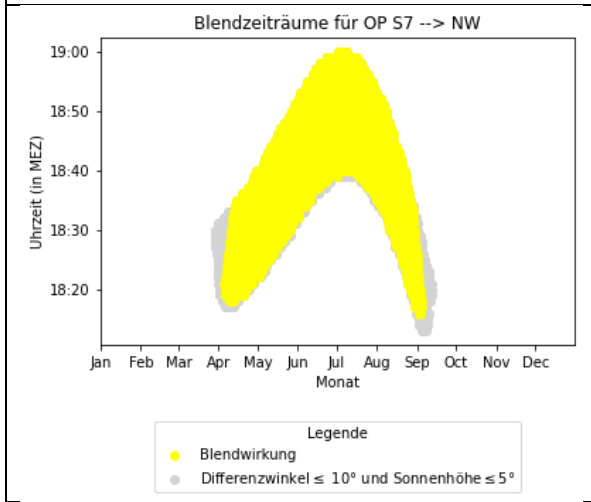
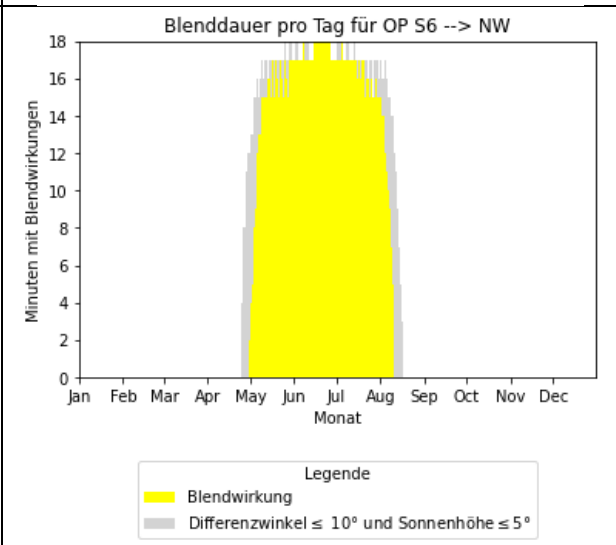
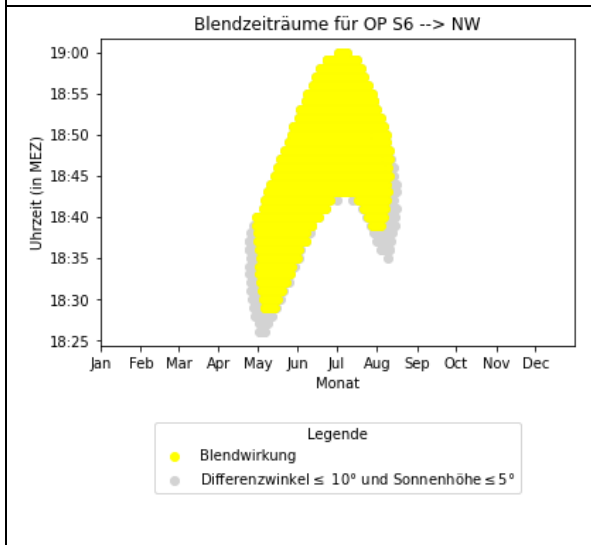
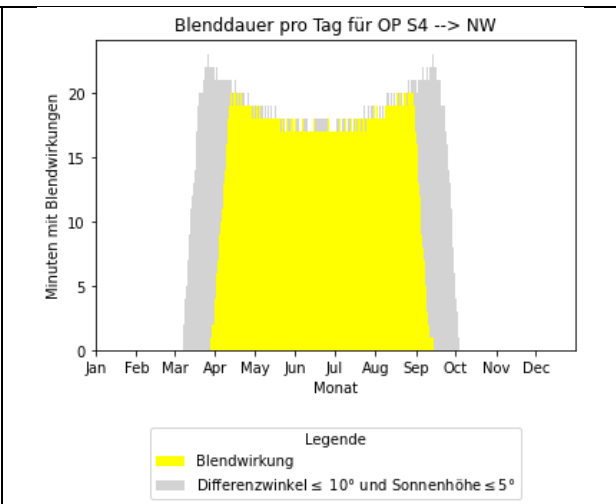
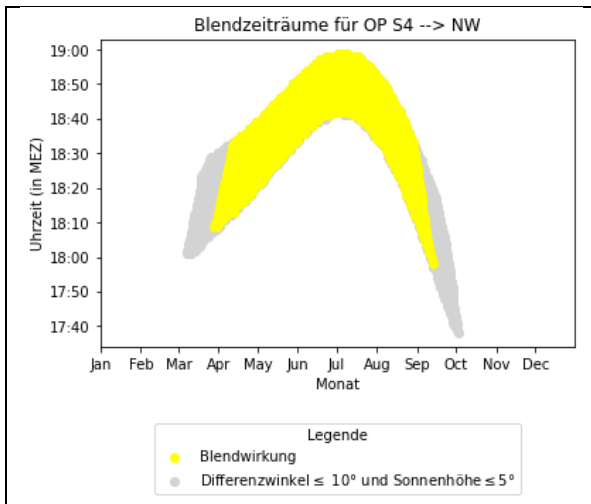
## 6.4 Ergebnisse

Tabelle 6: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte auf den Verkehrswegen

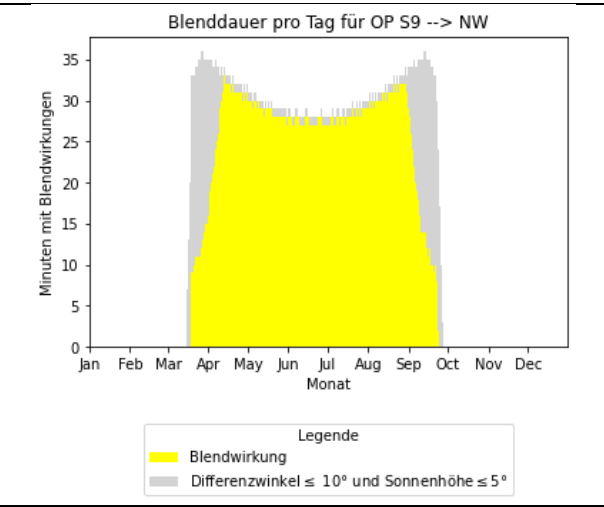
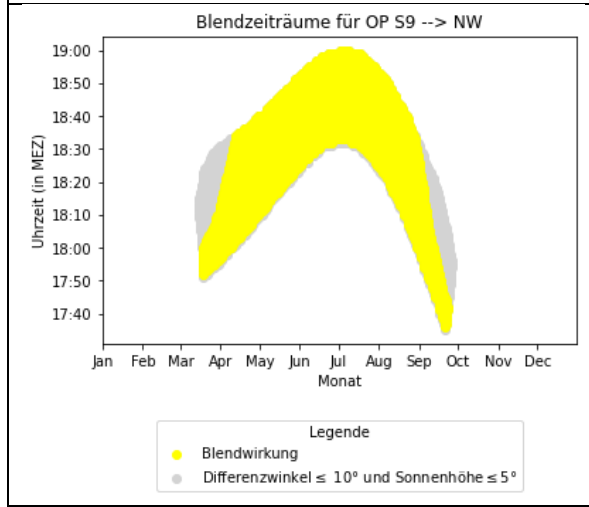
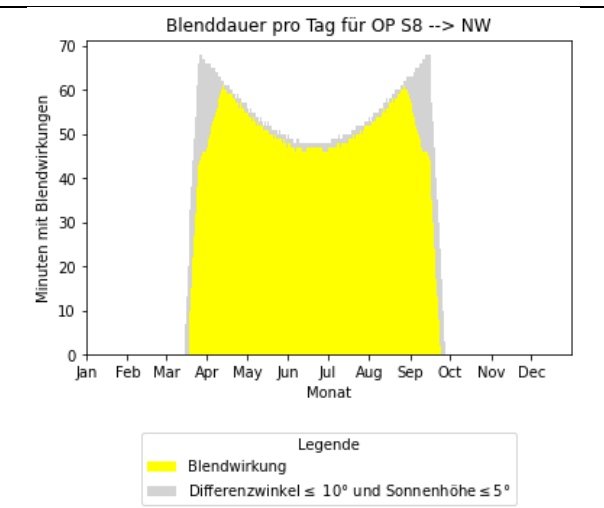
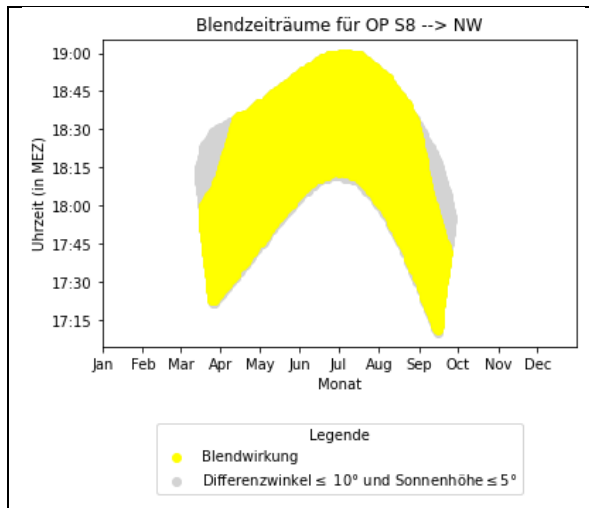
Verkehrsweg	OP	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze vollständig von der Sonne überlagert?	Anmerkung
B 205	S1	Nordwesten	5°	Nein	* = Auf diese Entfernung wird die PV-Fläche nur als schmaler Streifen im Sichtfeld zu erkennen sein. Daher werden trotz Reflexionen im zentralen Sichtfeld keine erheblichen Blendwirkungen erwartet.
		Südosten	> 90°	-	-
	S2	Nordwesten	5°	Nein	*
		Südosten	> 90°	-	-
	S3	Nordwesten	5°	Nein	-
		Südosten	> 90°	-	-
	S4	Nordwesten	5°	Nein	-
		Südosten	> 90°	-	-
	S5	Nordwesten	-	-	Keine Reflexionen
		Südosten	-	-	Keine Reflexionen
Bahnstrecke	S6	Nordwesten	20°	Nein	*
		Südosten	> 90°	-	-
	S7	Nordwesten	20°	Nein	-
		Südosten	> 30°	-	-
	S8	Nordwesten	20°	Nein	-
		Südosten	> 30°	-	-
	S9	Nordwesten	20°	Nein	-
		Südosten	> 30°	-	-
	S10	Nordwesten	> 90°	Nein	-
		Südosten	> 30°	-	-
S11	Nordwesten	> 90°	Nein	-	
	Südosten	> 30°	-	-	
<b>LEGENDE</b>					
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze					
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze (aber außerhalb der Erheblichkeitsgrenze)					
Relevante Blendwirkungen außerhalb der Beeinträchtigungsgrenze / keine (relevanten) Reflexionen					

Ergebnisdiagramme 2: Reflexionen zu den OP auf den Verkehrswegen, sofern diese innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze wahrgenommen werden können





Fortsetzung auf der folgenden Seite.



## 7 Diskussion der Ergebnisse

### 7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld (100 m Radius) der Photovoltaikanlage befindet sich lediglich ein schutzwürdiges Wohngebäude. Die Simulation hat ergeben, dass an dem Wohngebäude ungeachtet der lokalen Vegetation die LAI-Grenzwerte eingehalten werden. Entsprechend wird die PVA keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen in/an schutzwürdigen Räumen verursachen.

### 7.2 Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesstraße B 205 sowie die angrenzende Bahnstrecke Rickling–Fahrenkrug als relevante (übergeordnete) Verkehrswege identifiziert und entsprechend geprüft.

#### 7.2.1 Bundesstraße B 205

Auf der B 205 können Fahrzeugführer in Fahrtrichtung Nordwesten geometrisch betrachtet Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld erfahren, sodass erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können. Um erhebliche Blendwirkungen auszuschließen, ist ein Sichtschutz im Nordosten/Osten der PVA in Betracht zu ziehen. Der Sichtschutz sollte ca. die Höhe der Modultische aufweisen ( $\approx 3$  m). Ein Sichtschutz ließe sich auch mit einer blickdichten Eingrünung realisieren. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Blickdichte bereits ab Mitte März gegeben ist (entsprechender Laubrythmus oder immergrüne Pflanzen bzw. hoher Anteil von Gehölz). Die Blickdichte muss nur seitlich bestehen, sodass im  $\pm 30^\circ$  Sichtfeld (bezogen auf die Fahrtrichtung) der Fahrzeugführer die PVA verdeckt wird. Es muss somit kein direkter Blick, orthogonal zum Straßenverlauf, blockiert werden. Dieser Umstand wird durch Abb. 17 verdeutlicht: Die lückenhafte Bestandsvegetation am Straßenrand schützt bei seitlichem Blick im fast blattlosen Zustand bereits ein Sichtfeld von ca.  $\pm 15^\circ$ . Die Bestandsvegetation sollte in das Sichtschutzkonzept jedoch nur integriert werden, wenn ihr Erhalt gewährleistet werden kann. Ansonsten sollte auf dem Projektgelände ein eigenständig funktionierendes Sichtschutzkonzept (blickdichte Vegetation oder Anlagenzaun) realisiert werden.

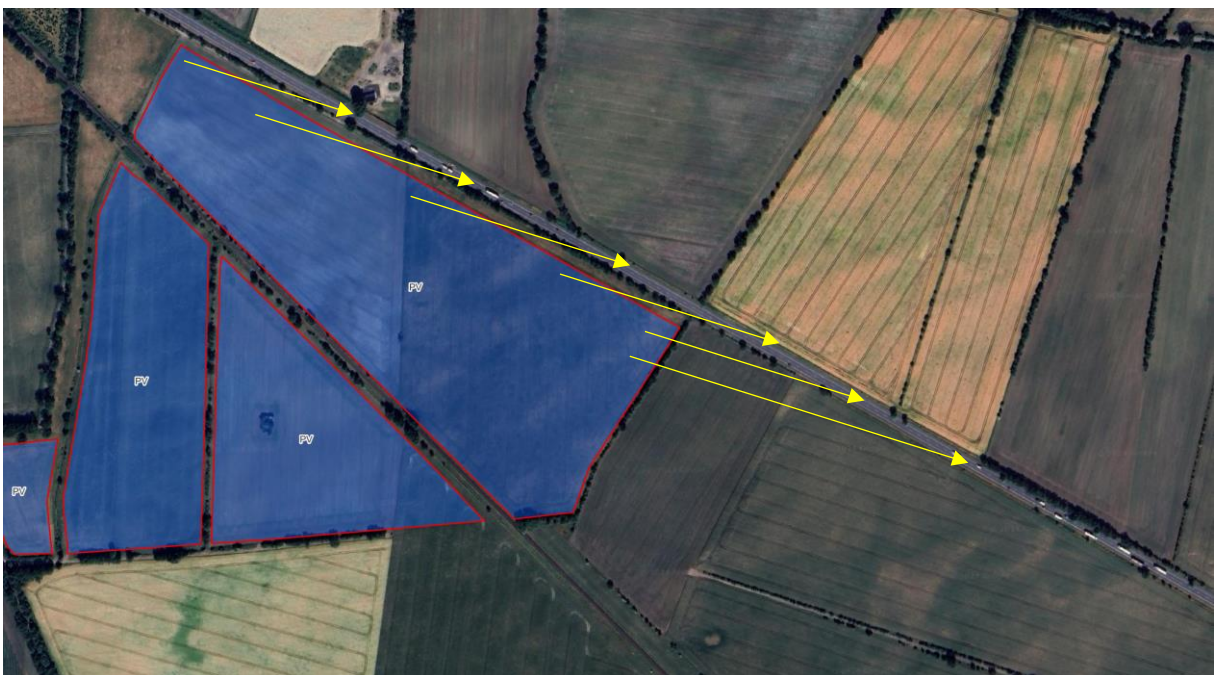


Abbildung 15: Skizze der relevanten Reflexionsrichtungen auf die B 205 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

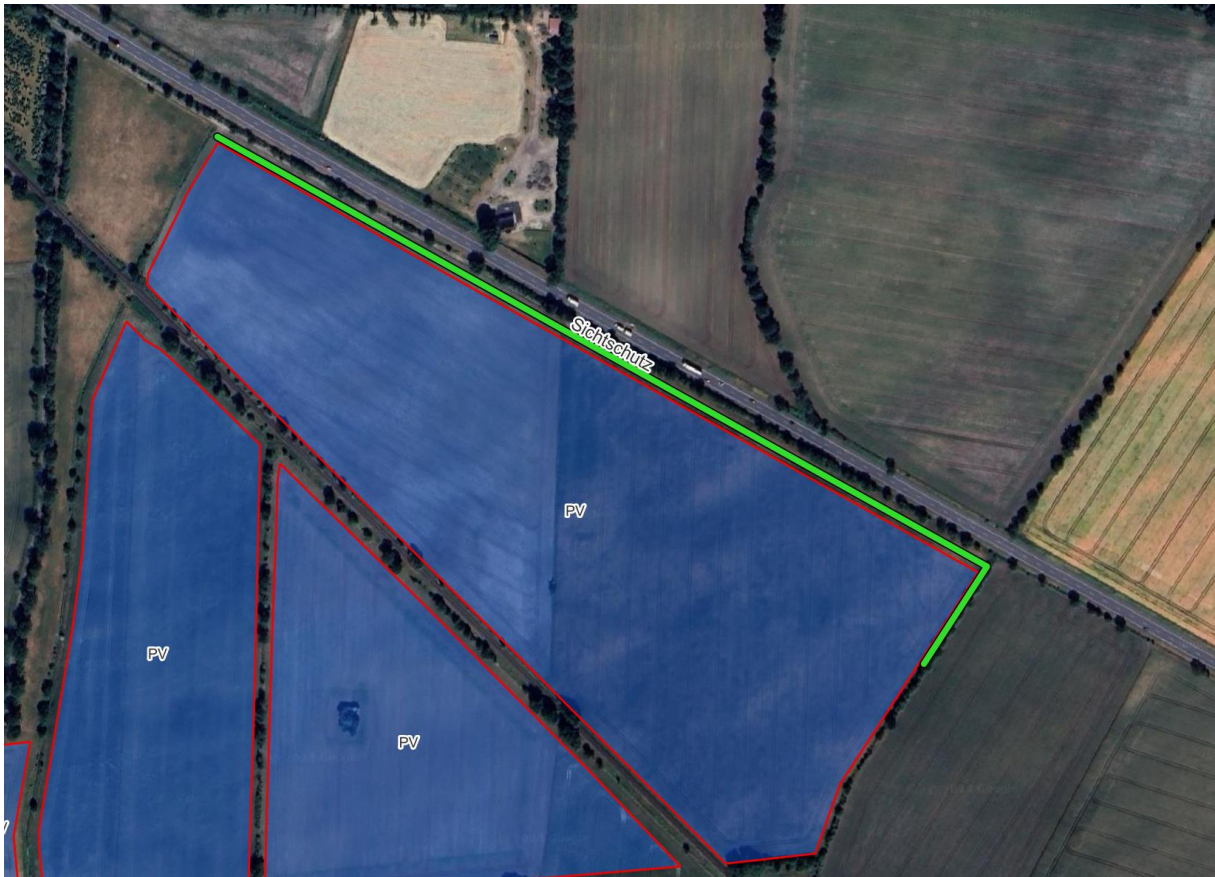


Abbildung 16: Sichtschutz zwischen PVA und B 205 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

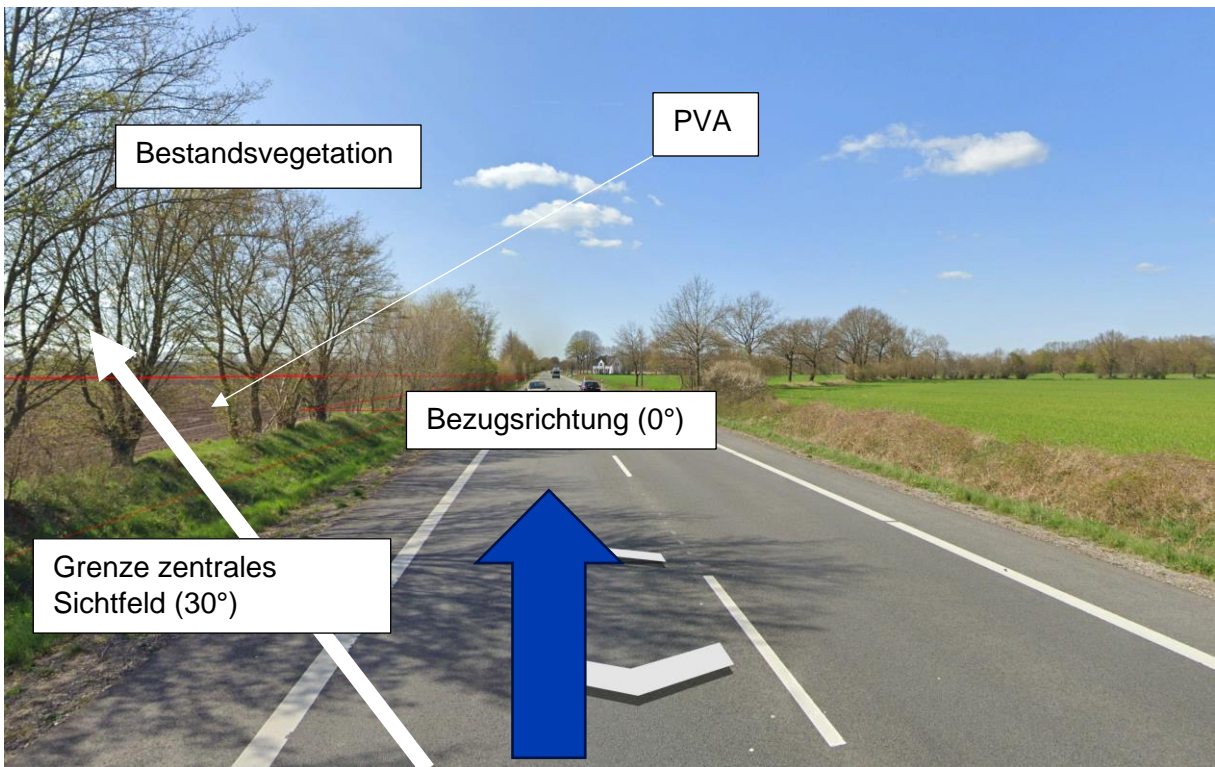


Abbildung 17: Aufnahme von der B 205 Richtung Nordwesten - Quelle: Google Earth Pro

## 7.2.2 Bahnstrecke

Auf der Bahnstrecke können Lokführer in Fahrtrichtung Nordwesten im zentralen Sichtfeld geblendet werden, dabei bleibt jedoch noch ein Sichtfeld von ca.  $\pm 20^\circ$ , bezogen auf die Fahrtrichtung, blendfrei. Es werden somit keine kritischen Blendwirkungen erwartet. Wenn sich auf der Strecke zwischen und ca. 300 m südöstlich der PVA keine Signale befinden, wird keine relevante Beeinträchtigung für Lokführer erwartet. Die potenziell störenden Reflexionen stammen von den PV-Flächen südlich der Bahnstrecke. Um die Blendwirkungen auf den Bahnverkehr zu unterbinden, besteht die Möglichkeit, einen Sichtschutz zwischen Bahnstrecke und den südlichen PV-Feldern zu realisieren. Der Sichtschutz sollte ca. 3 m hoch sein (entsprechend der Modultischhöhe). Es besteht auch die Möglichkeit, den Sichtschutz durch eine Eingrünung zu realisieren. Dabei gelten die gleichen Vorgaben wie in 7.2.1 erläutert. Der Sichtschutz an der Bahnstrecke wird nicht pauschal empfohlen, wenn sich keine Signale auf dem betroffenen Bahnabschnitt befinden. Ohne Signale wird ein blendfreies Sichtfeld von  $\pm 20^\circ$  für den Schienenverkehr als ausreichend eingeschätzt.



Abbildung 18: Skizze der relevanten Reflexionsrichtungen auf die Bahnstrecke  
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

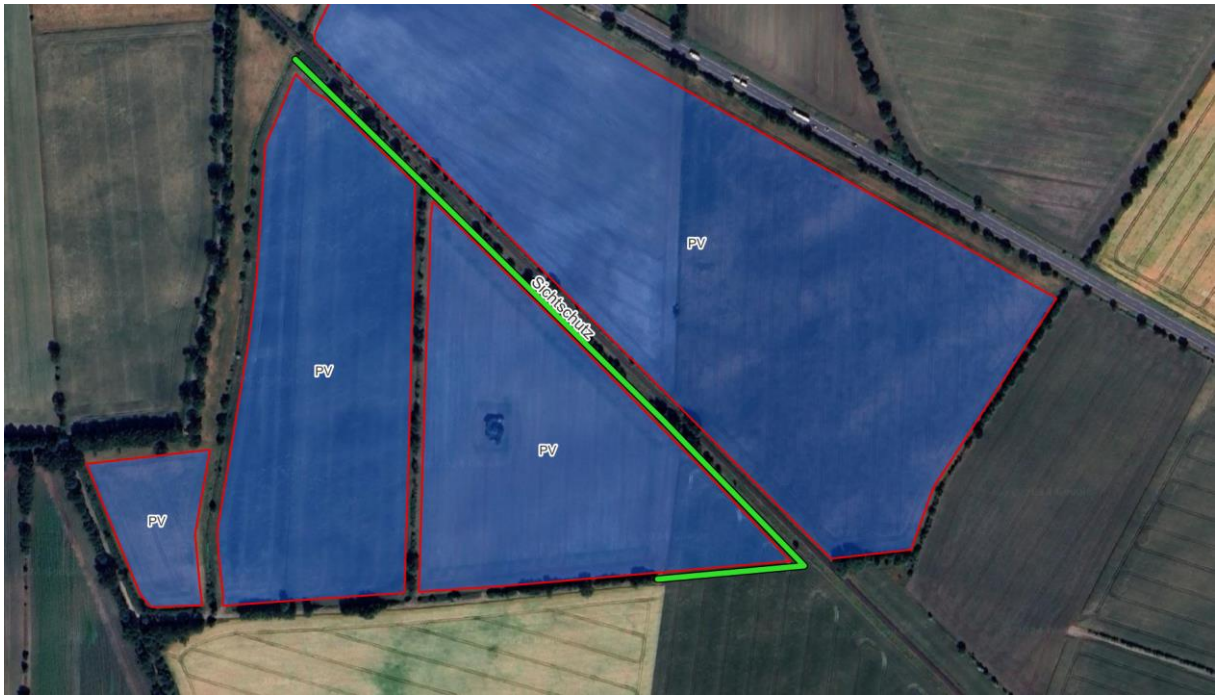


Abbildung 19: Sichtschutz zwischen PVA und Bahnstrecke - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

## 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](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](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](https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf)