



[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 SCHLADEN

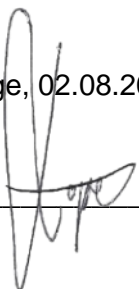
VERSION 1.1

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, 02.08.2023



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, 02.08.2023



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Redaktionelle Änderungen + geringfügige Anpassung der empfohlenen Maßnahme	02.08.2023	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	28.07.2023	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	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 den Straßenverkehr.....	12
6.1	Auswertungsmethodik	12
6.2	Relevante Verkehrswege	14
6.3	Observationspunkte	15
6.4	Ergebnisse	16
7	Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen	19
7.1	Gebäuden	19
7.2	Straßen	19
7.3	Lösungsansatz	19
8	Literaturverzeichnis	23
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT	24

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	Ebert Erneuerbare Energien Wind GmbH & Co. KG
Projektname	PVA Schladen
Adresse	38315 Schladen-Werla
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand <input type="checkbox"/> Im Bau <input checked="" type="checkbox"/> Planung

Der vorliegende Bericht wurde zudem von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft.

1.1 Fragestellung

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

- Schutzwürdige Räume (z. B. Wohnräume)
- 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	

1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken

Die Auswertung der Blendwirkungen auf die Immissionsorte wurde entsprechend folgender Tabelle durchgeführt.

Tabelle 3: Methodiken

Immissionsort	Methodik
Schutzbedürftige Räume (Wohnräume, Büros etc.)	Gemäß dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden)
Straßen	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6.1)

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA befindet sich in 38315 Schladen-Werla und liegt westlich der Bundesautobahn A 36.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	52.011914°, 10.535313°
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
Größe der PV-Flächen	ca. 17 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd
Modulneigung	20°
Höhe Modulunterkante	ca. 80 cm
Höhe Moduloberkante	ca. 3,5 m



Abbildung 1: Grundriss der PVA - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) wird keine signifikanten Lichtimmissionen verursachen, die zu Belästigungen an oder in den umliegenden schutzwürdigen Gebäuden führen könnten.

Auf der Bundesautobahn A 36 sowie auf dem „Wasserweg“ sind allerdings relevante Blendwirkungen zu erwarten.

Es wird daher empfohlen, die PV-Module mit einem Azimut von $222,5^\circ$ nach Südwesten auszurichten, unter Berücksichtigung einer Modulneigung von 20° . Diese Ausrichtung sorgt dafür, dass die Reflexionsperioden auf die Autobahn ausschließlich in die späten Abendstunden fallen, wenn die Reflexionsintensität nur noch sehr gering ist. Zudem wird die direkte Sonneneinstrahlung dann die verbleibenden schwachen Reflexionen überlagern. Die neue Ausrichtung gewährleistet somit, dass die Leichtigkeit des Verkehrs auf der A 36 nicht gefährdet wird.

Die Blendsituation auf dem „Wasserweg“ wird durch die neue Ausrichtung ebenfalls verbessert. Es sind zwar weiterhin Blendwirkungen zu erwarten, diese werden jedoch als vertretbar eingestuft.

Fazit

Die geplante PVA kann mit der Umgebung verträglich realisiert werden, vorausgesetzt, es werden angemessene Maßnahmen getroffen, um relevante Reflexionen auf der A 36 zu verhindern. Hierzu zählt insbesondere die Empfehlung, die Module nach Südwesten auszurichten.

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.

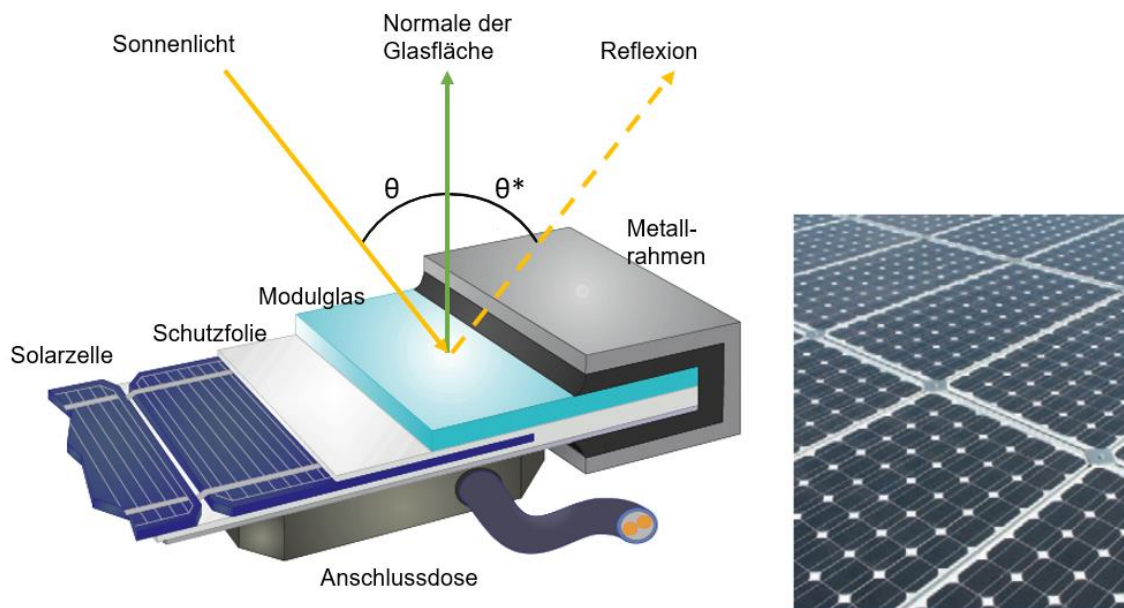


Abbildung 2: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

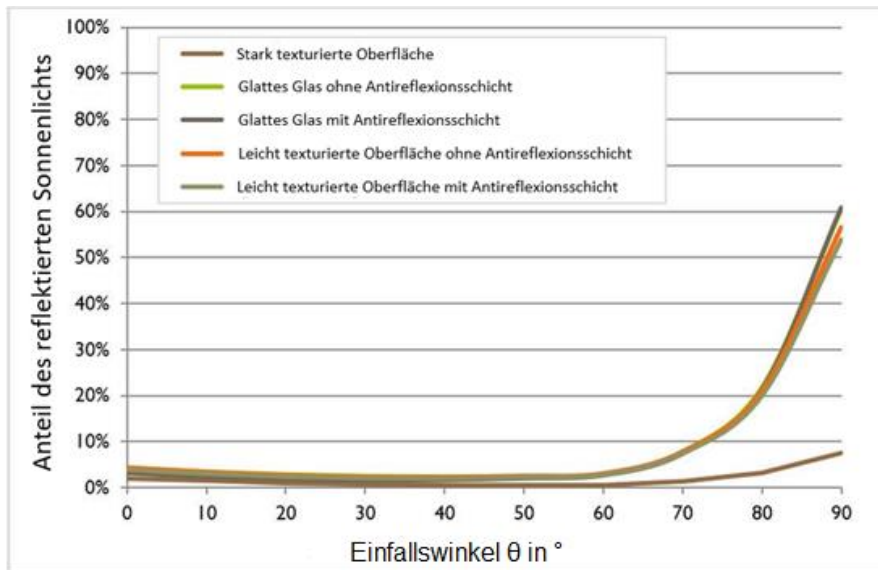


Abbildung 3: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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].

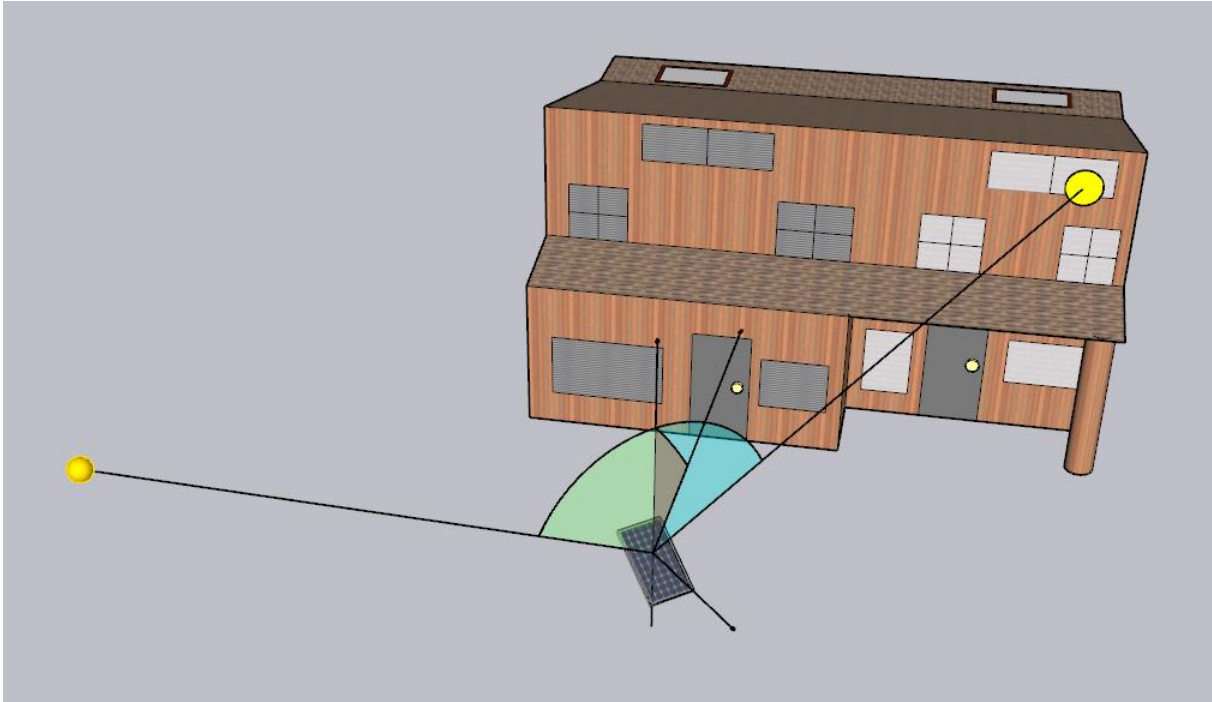


Abbildung 5: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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. Eine erweiterte Auflistung der Annahmen und Einschränkungen bzgl. der Simulation befindet sich in Anhang A.

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

Die Auswertung der Blendwirkungen auf umliegende Gebäude (inkl. Terrassen und Balkone) basiert auf dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [2].

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzbedürftige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören:

- Wohnräume
- Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien)
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume
- An relevanten Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

Räume, die keiner dieser Kategorien zuzuordnen sind, wurden im Rahmen des Gutachtens nicht auf Blendwirkungen untersucht.

Gemäß dem LAI-Leitfaden gelten (ca.) 100 Meter als räumlicher Grenzwert: Liegt ein Immissionsort weiter als 100 Meter von der PVA entfernt, können erhebliche Belästigungen in der Regel ausgeschlossen werden.

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

Erhebliche Belästigungen können grundsätzlich ab einem Abstand von 100 Metern zwischen dem Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und der PVA pauschal ausgeschlossen werden [2].

Abbildung 6 illustriert die Bereiche, die 100 Meter oder näher an der PVA liegen.

Es ist ersichtlich, dass sich kein Gebäude, das gemäß dem LAI-Leitfaden als schutzwürdig einzustufen ist, innerhalb dieser 100-Meter-Zone befindet.

Daher können Belästigungen in der Nachbarschaft ausgeschlossen werden. Eine detaillierte Simulation ist in diesem Zusammenhang nicht erforderlich.

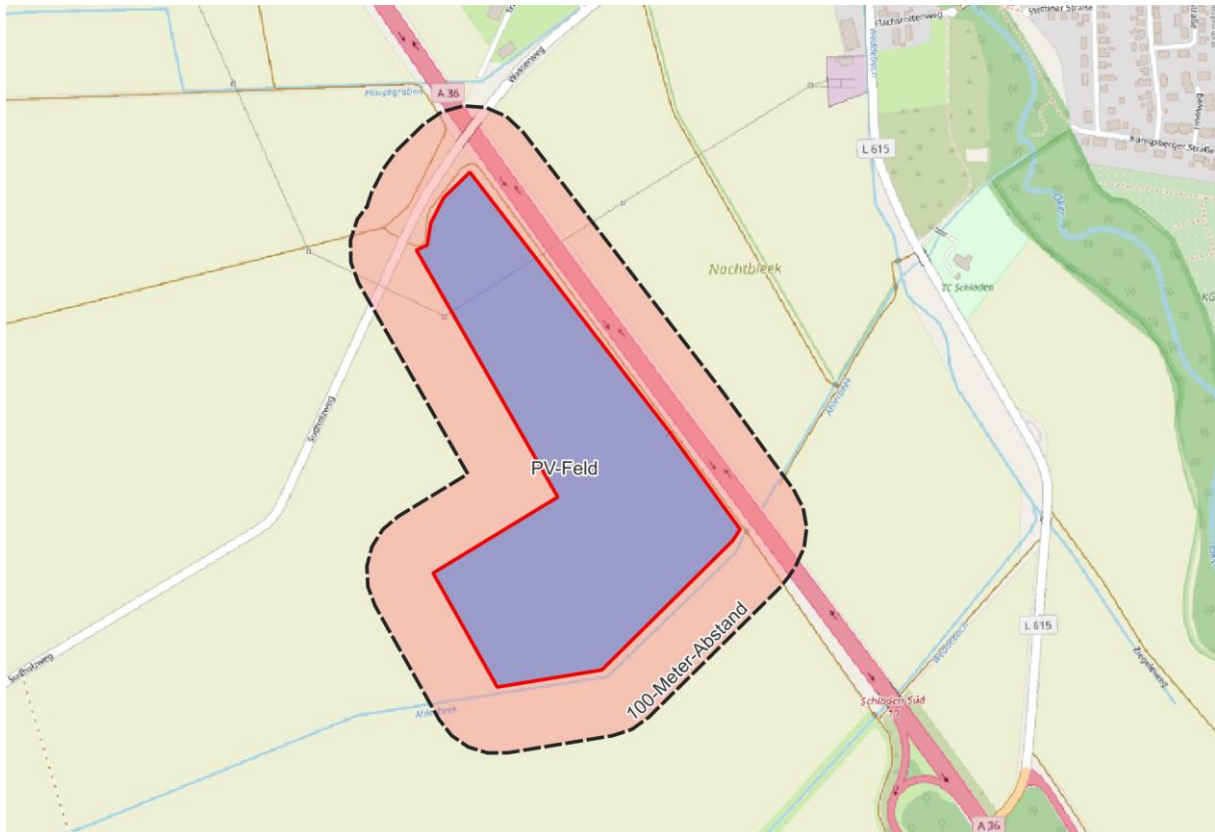


Abbildung 6: Übersicht der 100-Meter-Abstandszone – Quelle Karte: OpenStreetMap

6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr sind in keiner Norm, Leitlinie oder sonstigen Regelwerken definiert bzw. standardisiert und werden auch im LAI-Leitfaden nicht thematisiert. Die Bewertung der Blendwirkungen auf die umgebenden Verkehrswege erfolgte daher auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und etablierter Verfahren, die im Folgenden dargestellt werden.

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder (welche sich dann durch ihre Relevanz bzgl. Blendwirkungen unterscheiden) zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob Reflexionen in diesen Sichtfeldern auftreten. Es wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6].

Es wird zwischen folgenden Sichtfeldern bzw. Sichtfeldgrenzen unterschieden (siehe Abbildung 8 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.

Die Augenhöhe von LKW-Fahrern wird in der Simulation auf 2,65 m über dem Boden definiert.

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 [2]) 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.

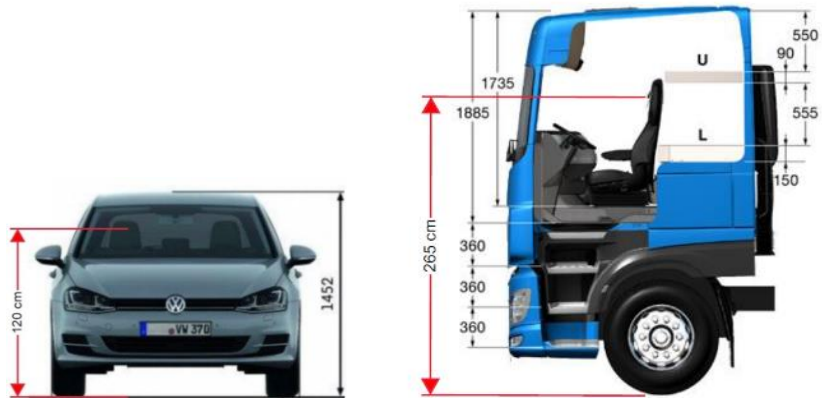


Abbildung 7: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

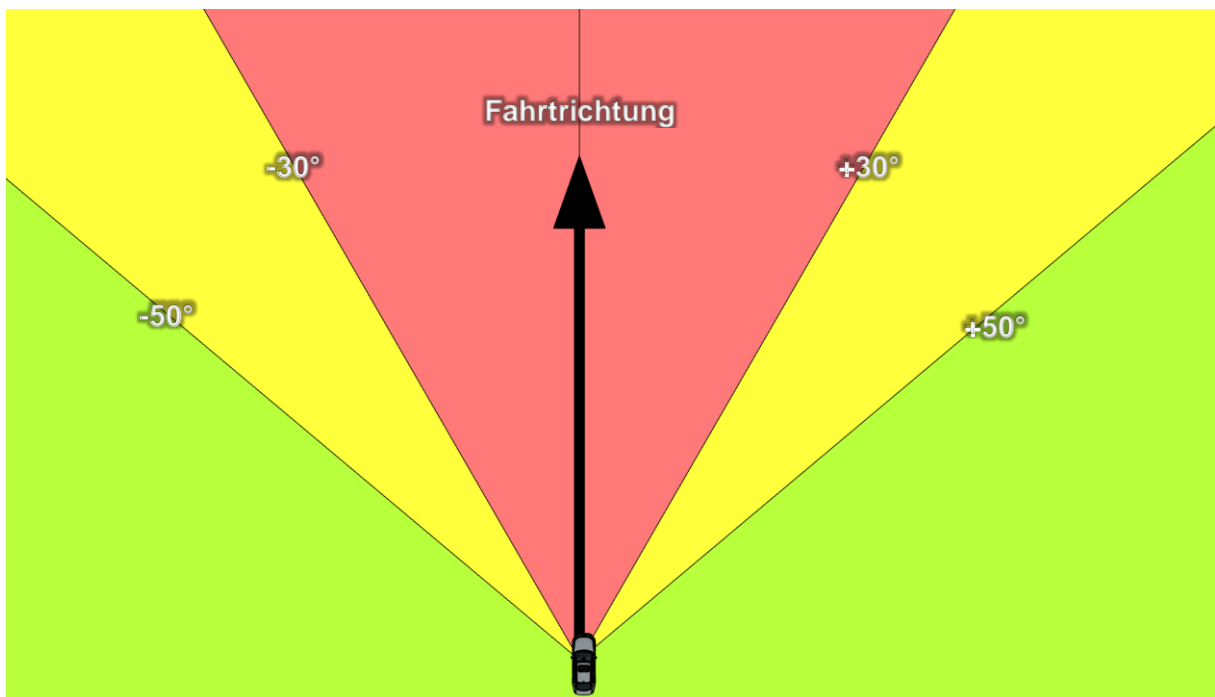


Abbildung 8: Definierte Sichtfelder einer fahrenden Person:
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

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

- Bundesautobahn A 36
- „Wasserweg“

Die weiteren Straßen in der unmittelbaren Nähe der Photovoltaikfelder sind Wirtschaftswegen. Aufgrund des niedrigen Verkehrsaufkommens auf diesen Wegen wird ihnen keine Bedeutung beigemessen.

Nur die als relevant erachteten Straßen wurden mittels Simulation auf mögliche Blendwirkungen hin untersucht.

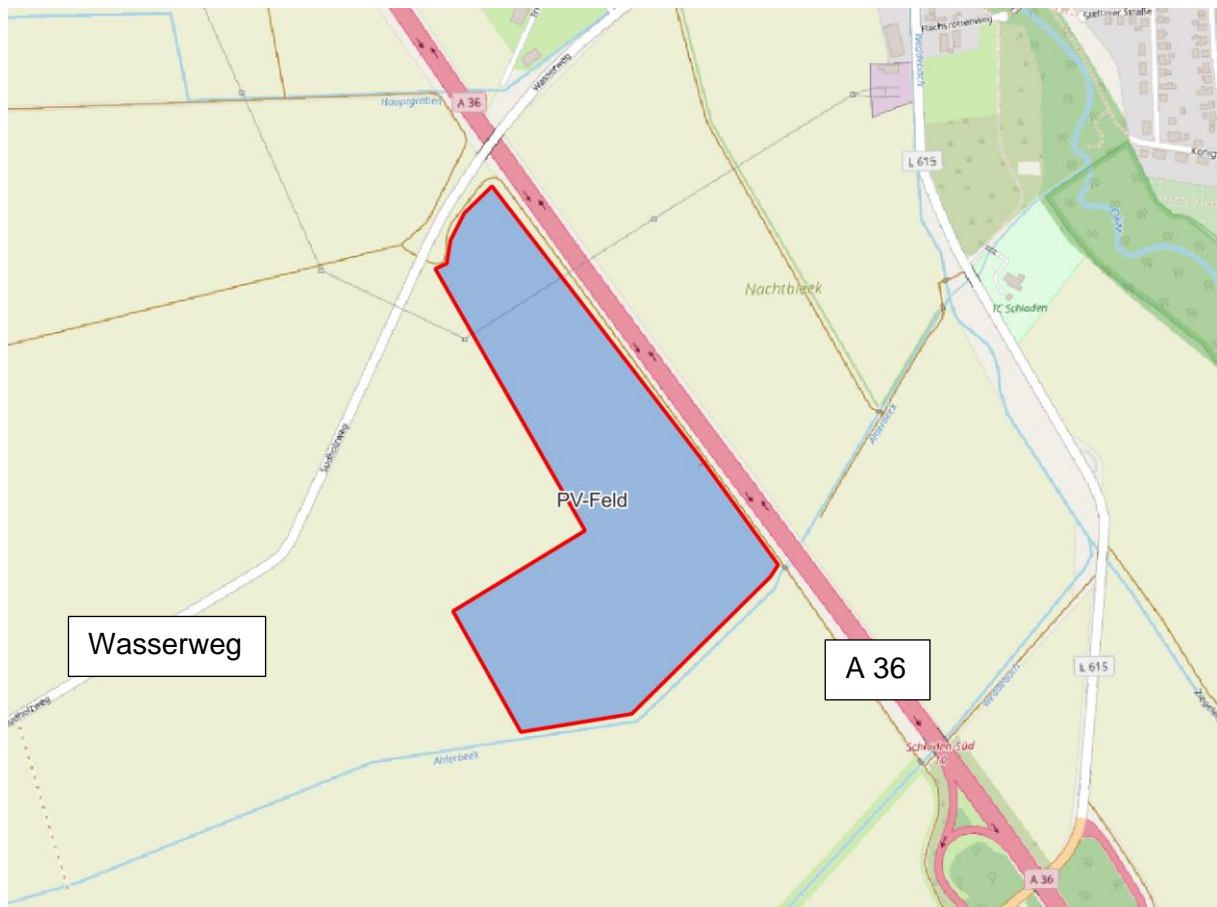


Abbildung 9: Übersicht der als relevant eingestuft Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die Verkehrswege wurden sog. „Observationspunkte“ (OP) definiert. Die OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftretende Reflexionen.

Insgesamt wurden zur Analyse der Blendwirkungen auf die Straßen 16 OP (OP 1 bis 16) definiert.

Die OP wurden in einer Höhe von 2,65 m über dem Boden positioniert, was (ca.) der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht. Generell erfahren Fahrzeugführer, die höher sitzen, mehr Blendwirkungen.

Folgende Tabelle stellt dar, welche OP welchen Immissionsort repräsentieren.

Tabelle 5: Zuordnung von OP und Immissionsort

Observationspunkte	Immissionsort
OP 1 bis 6	Straßenverkehr auf der A 36 in Fahrtrichtung Südosten
OP 7 bis 12	Straßenverkehr auf der A 36 in Fahrtrichtung Nordwesten
OP 13 bis 16	Straßenverkehr auf dem Wasserweg in beiden Fahrtrichtungen

Abbildung 10 zeigt die Positionen der Observationspunkte.

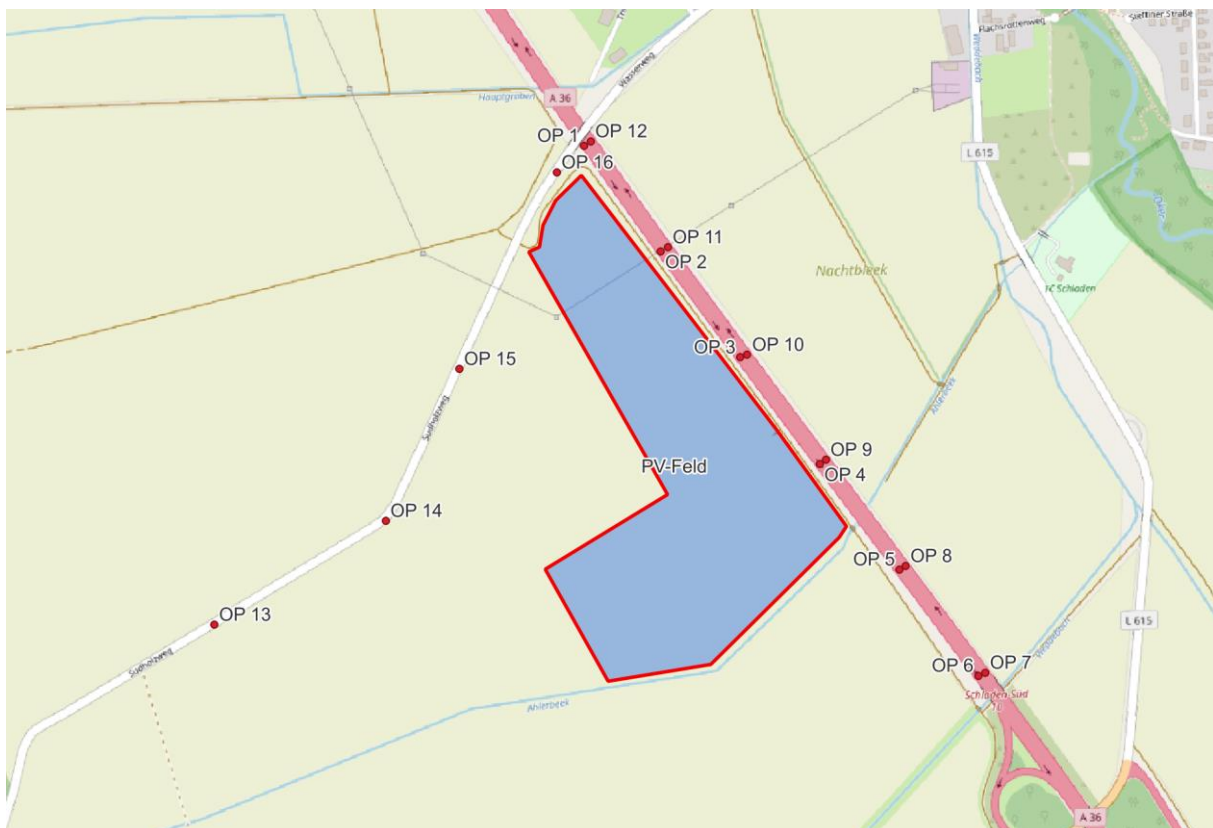


Abbildung 10: Positionen der definierten Observationspunkte zur Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr - Quelle Karte: OpenStreetMap

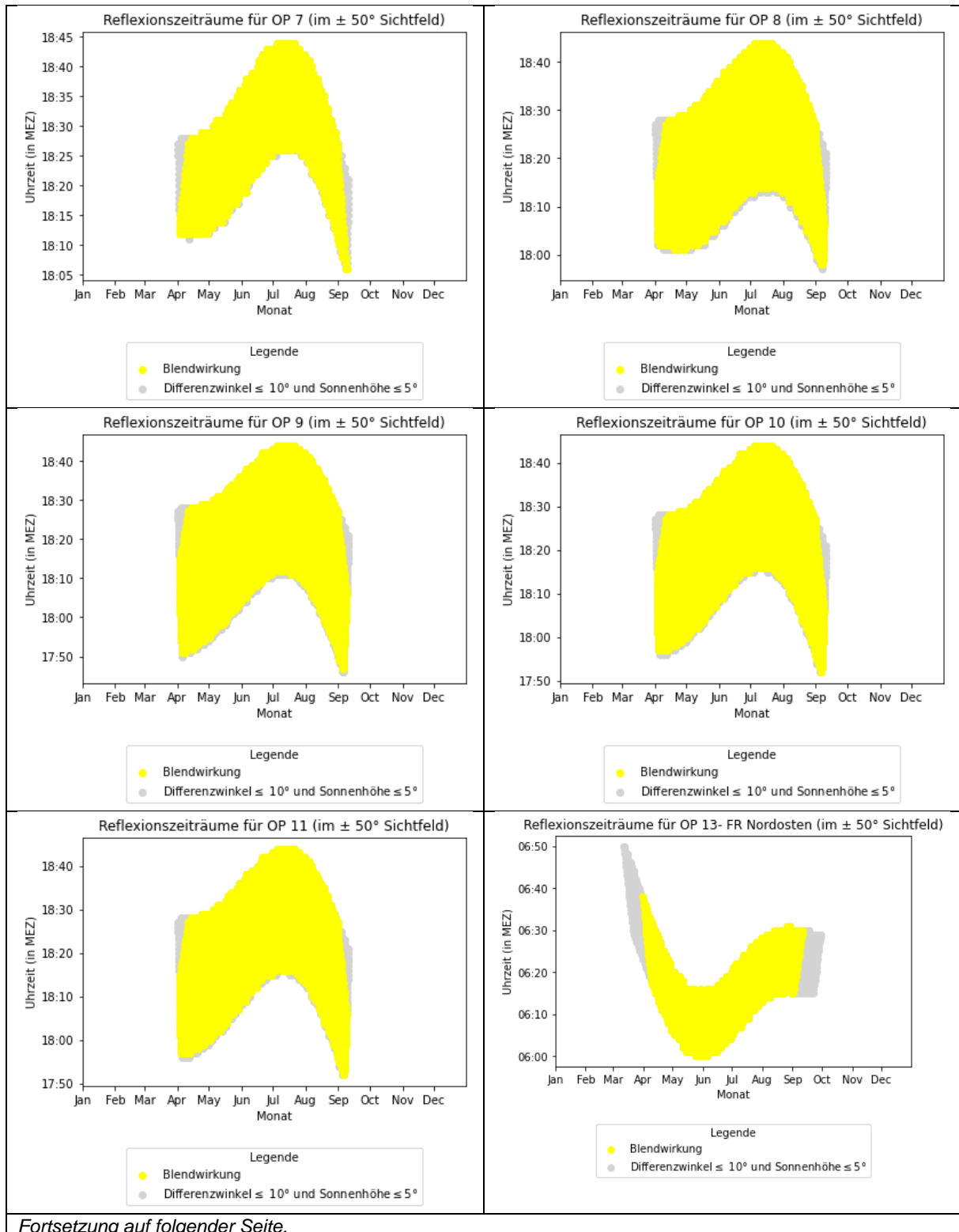
6.4 Ergebnisse

Die nachstehende Tabelle stellt die Blendsituationen an den einzelnen Observationspunkten, welche den Straßenverkehr repräsentieren, dar.

Tabelle 6: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

Observationspunkt	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld) von der Sonne überlagert?
1	Südosten	keine Reflexionen	-
2	Südosten	> 90°	-
3	Südosten	> 90°	-
4	Südosten	> 90°	-
5	Südosten	> 90°	-
6	Südosten	> 90°	-
7	Nordwesten	30°	nein
8	Nordwesten	30°	nein
9	Nordwesten	30°	nein
10	Nordwesten	30°	nein
11	Nordwesten	30°	nein
12	Nordwesten	keine Reflexionen	-
13	Nordosten	6°	nein
	Südwesten	> 90°	-
14	Nordosten	6°	nein
	Südwesten	> 90°	-
15	Nordosten	keine Reflexionen	-
	Südwesten	keine Reflexionen	-
16	Nordosten	keine Reflexionen	-
	Südwesten	keine Reflexionen	-

Im Folgenden werden für die OP, bei denen Reflexionen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze auftreten, Diagramme aufgeführt, die die Blendzeiträume darstellen.



Fortsetzung auf folgender Seite.

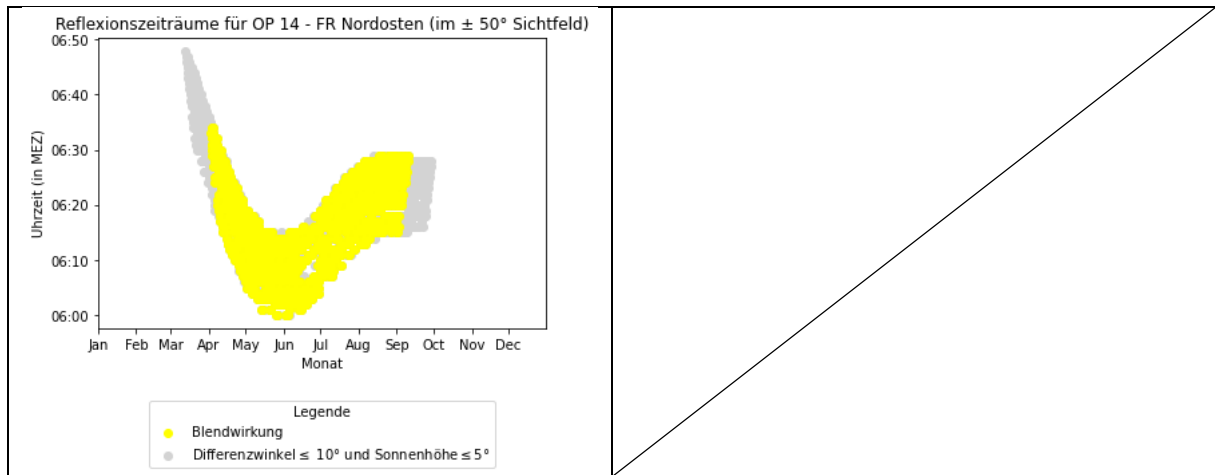


Abbildung 11: Ergebnisdiagramme für die OP, welche den Straßenverkehr repräsentieren

7 Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen

7.1 Gebäuden

Kein Gebäude in der Umgebung der PVA wird relevante Reflexionen erfahren. Belästigungen sind somit auszuschließen.

7.2 Straßen

Auf der Bundesautobahn A 36 werden keine Reflexionen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze ($\pm 30^\circ$ Sichtfeld, bezogen auf die Fahrtrichtung) auftreten, wodurch erhebliche Beeinträchtigungen auf der A 36 grundsätzlich nicht erwartet werden. Allerdings kann es zu Reflexionen außerhalb der Erheblichkeitsgrenze, aber innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze kommen, weshalb geringfügige bis moderate Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden können.

Darüber hinaus sind Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld (auch innerhalb der Erheblichkeitsgrenze) auf dem „Wasserweg“ westlich der PVA in Fahrtrichtung Nordosten zu erwarten.

7.3 Lösungsansatz

Von der Bundesautobahn A 36 aus kann das PV-Feld weitestgehend eingesehen werden, da die Autobahn einige Meter höher als das umliegende Gelände verläuft. Demzufolge müsste ein Sichtschutz (beispielsweise ein Anlagenzaun mit Sichtschutzelementen) mehrere Meter hoch sein und sich über eine Länge von etwa 900 Metern entlang der östlichen und südöstlichen Anlagengrenze erstrecken, um auch LKW-Fahrern die Sicht auf (potenziell) blendende Module zu nehmen.

Daher wird eine alternative Ausrichtung der PV-Module empfohlen, um Beeinträchtigungen auf der Autobahn zu vermeiden.



*Abbildung 12: Sicht von OP 4 auf das Anlagengelände (die Anlagengrenzen sind eingezeichnet), welches westlich der A 36 liegt
- Quelle: Google Street View*

Wenn die Module nach Südwesten ausgerichtet werden (Azimut = 222,5°), verschieben sich mögliche Reflexionen auf die Autobahn so weit in die Abendstunden, dass die Sonne zu diesen Zeiten sehr tief am Horizont steht (der Höhenwinkel der Sonne beträgt $\leq 4^\circ$). Dies hat zwei Effekte, welche die verbleibenden Reflexionen auf die Autobahn irrelevant machen:

1. Die verbleibenden Reflexionen werden kontinuierlich von der direkten Sonnenstrahlung überlagert (die Sonne steht tief am Horizont und die Reflexionen werden aus dem unmittelbaren Umfeld der Sonne emittiert). Folglich entsteht durch die PVA keine zusätzliche Beeinträchtigung.
2. Gemäß dem Ineichen-Clear-Sky-Modell wird auf der Modulebene zu den Zeiten, in denen geometrisch Reflexionen möglich sind, eine maximale Bestrahlungsstärke von etwa 11 W/m² erwartet. Daher werden die verbleibenden Reflexionen eine maximale Intensität von etwa 4 W/m² aufweisen (berechnet mit einem gängigen Reflexionsprofil für PV-Module). Zum Vergleich: Die direkte Sonnenstrahlung hat zur Mittagszeit im Sommer eine Intensität von etwa 1000 W/m². Den verbleibenden Reflexionen wird daher eine Blendwirkung abgesprochen (im Sinne einer relevanten physiologischen Beeinträchtigung). Tatsächlich fallen die verbleibenden Reflexionen sogar in Zeiträume, die nach dem Stand der Technik nicht als Sonnenstunden gezählt werden¹.

Die nachfolgende Grafik illustriert die Intensität der direkten Sonnenstrahlung, die Bestrahlungsstärke der Module und die erwarteten Intensitäten der Reflexionen in Schladen am 21.06., von 20:00 bis 21:00 Uhr (dies ist der Zeitraum, in dem die stärksten Reflexionen zu erwarten sind). Die Zeitangaben sind in mitteleuropäischer Normalzeit (MEZ) dargestellt (für die Sommerzeit muss eine Stunde hinzugefügt werden). Die Grafik verdeutlicht, dass die rückgeworfenen Reflexionen mit maximal 4 W/m² zu vernachlässigen sind (die ersten Reflexionen sind auf der Autobahn frühestens ab 20:00 Uhr zu erwarten).

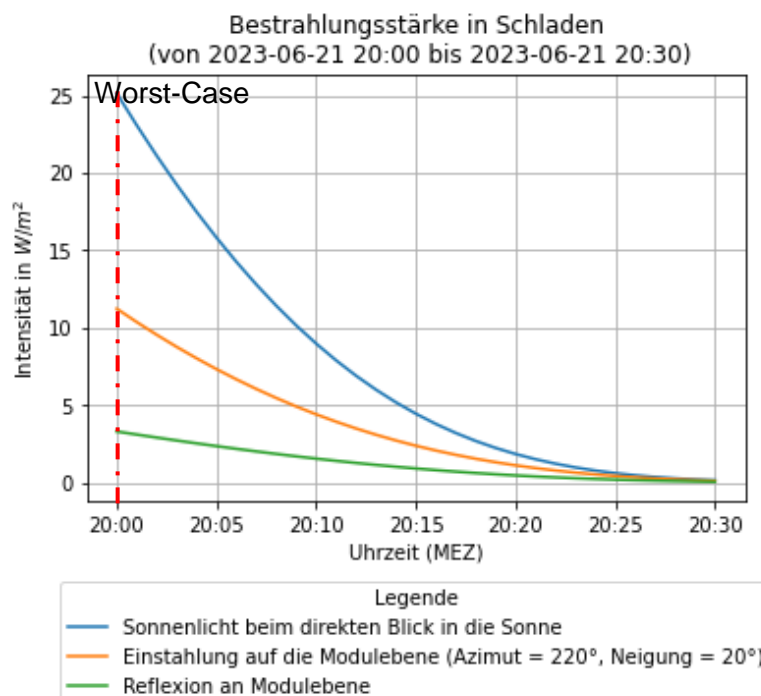


Abbildung 13: Darstellung der Intensitäten (Sonnenlicht, Reflexionen) in Schladen

¹ Ab einer direkten Sonnenstrahlung (DNI) von 120 W/m² werden allgemein die Sonnenstunden gezählt (WMO sunshine threshold).

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen, die auf Basis des optimierten Anlagenlayouts (Ausrichtung nach Südwesten) ermittelt wurden.

Es wird nicht mehr mit Beeinträchtigungen durch von der PVA verursachte Blendwirkungen auf der A 36 gerechnet.

Tabelle 7: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege (auf Basis des optimierten Layouts)

Observationspunkt	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld) von der Sonne überlagert?
1	Südosten	keine Reflexionen	-
2	Südosten	$> 90^\circ$	-
3	Südosten	$> 90^\circ$	-
4	Südosten	$> 90^\circ$	-
5	Südosten	$> 90^\circ$	-
6	Südosten	$> 90^\circ$	-
7	Nordwesten	16°	ja
8	Nordwesten	14°	ja
9	Nordwesten	14°	ja
10	Nordwesten	14°	ja
11	Nordwesten	14°	ja
12	Nordwesten	keine Reflexionen	-
13	Nordosten	21°	nein
	Südwesten	$> 90^\circ$	-
14	Nordosten	51°	-
	Südwesten	$> 90^\circ$	-
15	Nordosten	keine Reflexionen	-
	Südwesten	keine Reflexionen	-
16	Nordosten	54°	-
	Südwesten	84°	-

Lediglich auf dem Wasserweg, von Beobachtungspunkt 13 bis zur Kurve westlich der Anlage, können Blendwirkungen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze (ein Sichtfeld von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung) in Fahrtrichtung Nordosten auftreten. Diese Situation wird jedoch als vertretbar eingeschätzt, da die Module, die in das 30° -Sichtfeld blenden, stets über 400 Meter entfernt sind (wodurch die Blendwirkungen weniger intensiv ausfallen) und die Straße voraussichtlich kein hohes Verkehrsaufkommen aufweist.

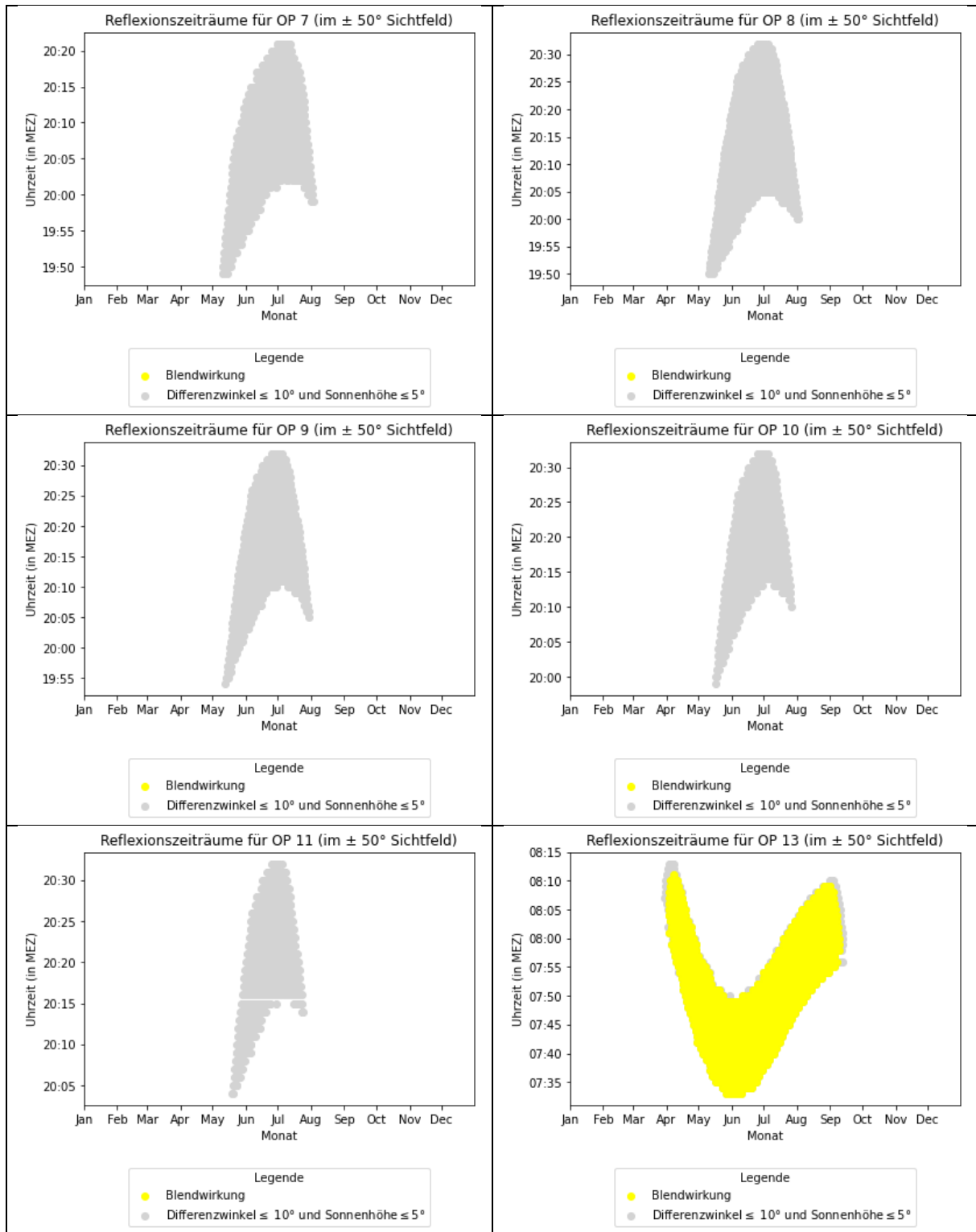


Abbildung 14: Ergebnisdigramme für die OP, welche den Straßenverkehr repräsentieren (optimiertes Layout)

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