

[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 TAUFKIRCHEN

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
www.sonnwin.de

Moorrege, 15.11.2024

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	15.11.2024	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	24
7.1	Gebäude.....	24
7.2	Straßen.....	24
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	Greenovative GmbH
Projektname	Solarpark Taufkirchen Koch
Adresse PVA	82024 Taufkirchen
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

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)	Bayrische Vermessungsverwaltung – www.geodaten.bayern.de

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)	48.0308095,11.6318232
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
PV-Fläche	ca. 19 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	ca. 182° (Norden = 0°)
Modulneigung	18°
Modulunterkante	ca. 0,8 m
Moduloberkante	ca. 3 m



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

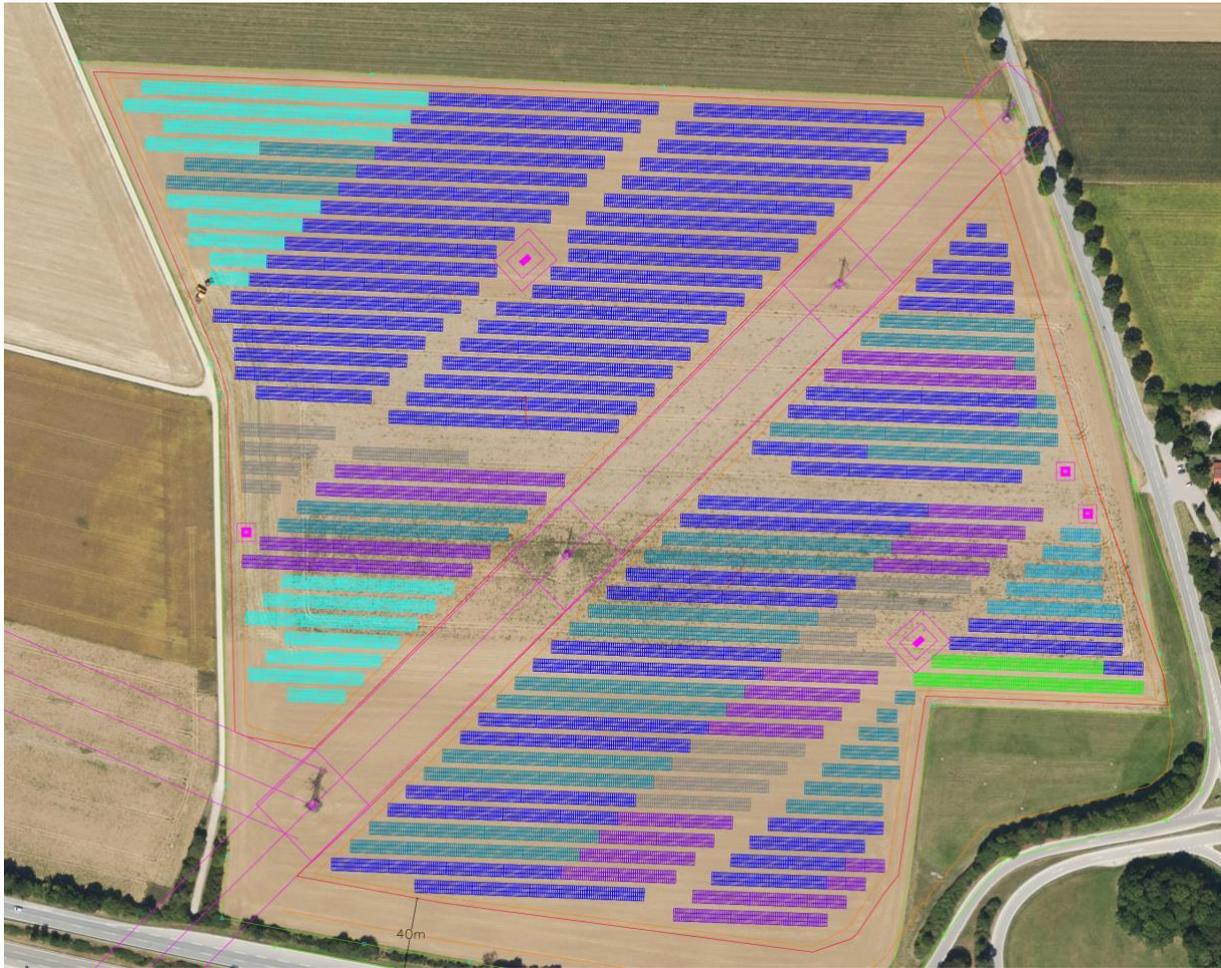


Abbildung 2: Belegungsplan - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten Umfeld (100 m Radius) der Photovoltaikanlage befinden sich mehrere Wohngebäude. Bei keinem dieser Wohngebäude werden die LAI-Grenzwerte überschritten. In der Berechnung wurde die örtliche Vegetation nicht berücksichtigt. Tatsächlich schränken jedoch hochgewachsene Bäume zwischen den Gebäuden und der Photovoltaikanlage die Sicht zusätzlich ein. Es ergeben sich keine erheblichen Blendwirkungen auf schutzwürdige Räume.

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesautobahn A 995 mit ihren Auf- und Abfahrten, die Staatsstraße St 2573 sowie die Kreisstraße M 2 als relevante Verkehrswege identifiziert und geprüft.

Auf der Staatsstraße St 2573 sowie auf der Kreisstraße M 2 werden keine erheblichen Blendwirkungen erwartet, da das zentrale Sichtfeld ($\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) für Fahrzeugführer stets blendfrei bleibt.

Auf der Bundesautobahn A 955 und deren Auf- und Abfahrten können erhebliche Blendwirkungen hingegen nicht pauschal ausgeschlossen werden. Mögliche Sichtschutzmaßnahmen werden in der Diskussion (siehe Kapitel 7.2) erläutert.

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.

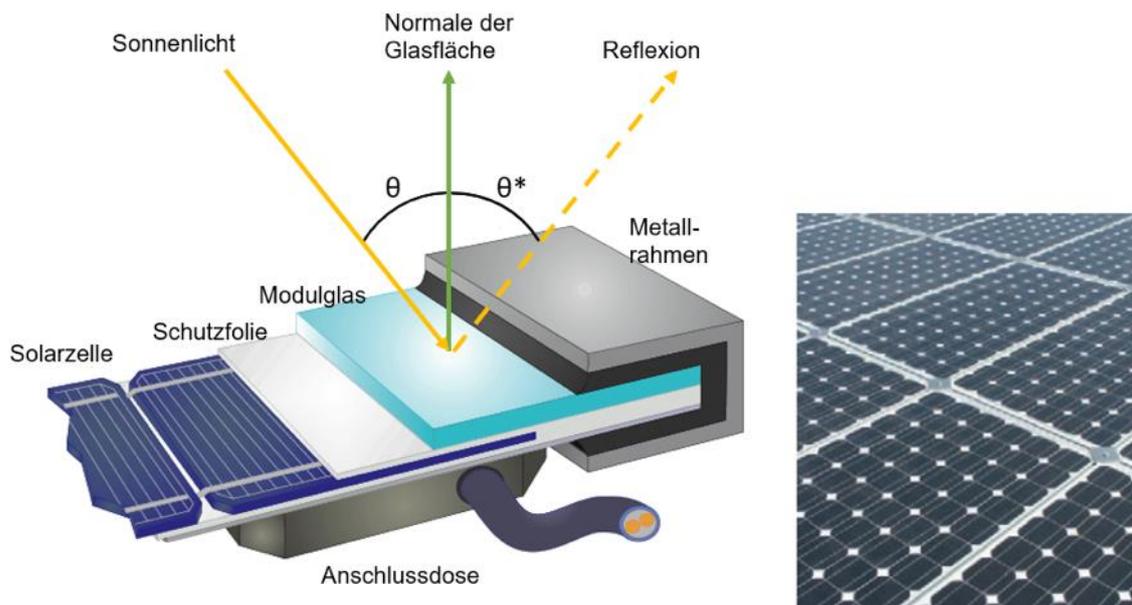


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
- Quelle: [3] (modifiziert)

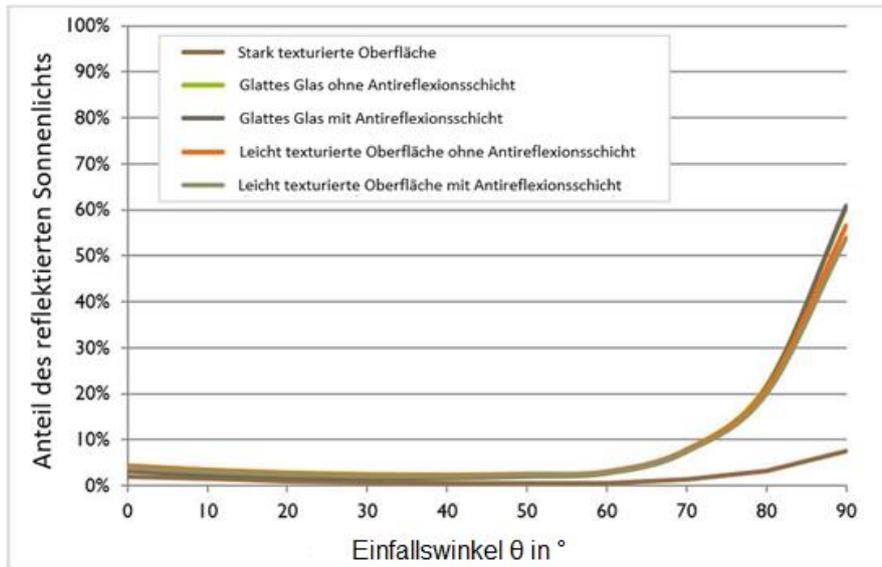


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

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 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].

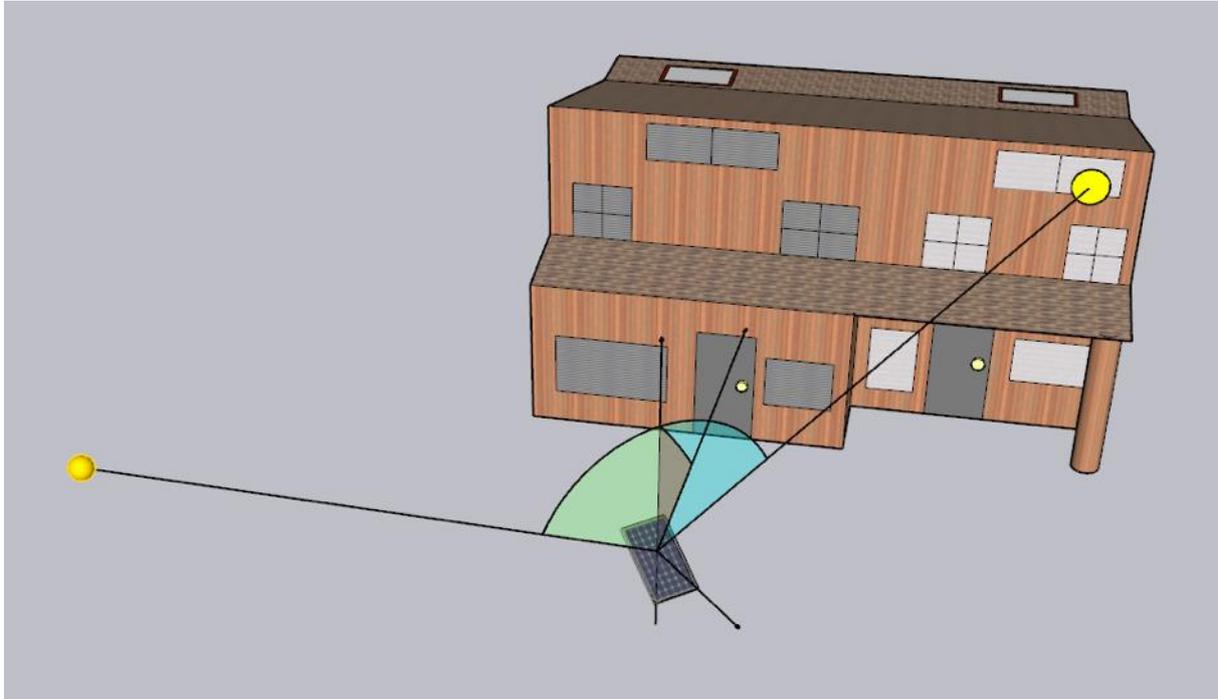


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

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

Es lässt sich feststellen, dass im 100-Meter-Umkreis schutzwürdige Wohngebäude vorhanden sind.



Abbildung 7: Übersicht der 100-Meter-Zone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



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

5.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen in bzw. an den schutzwürdigen Räumen wurden im Rahmen der Simulation sogenannte „Observationspunkte“ (OP) festgelegt. Diese Punkte fungieren als Detektorpunkte für einfallende Reflexionen. Insgesamt wurden zwei OP an den schutzwürdigen Räumen definiert (OP H1 bis H2).

Die OP wurden, wo möglich, so positioniert, dass sie insgesamt das Worst-Case-Szenario repräsentieren, also an Orten, an denen die stärksten Blendwirkungen erwartet werden.

Die OP H1 und H2 sind auf einer Höhe von 4,6 m angelegt, was ungefähr der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss entspricht. Generell sind höher gelegene Immissionsorte stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt als niedriger gelegene.



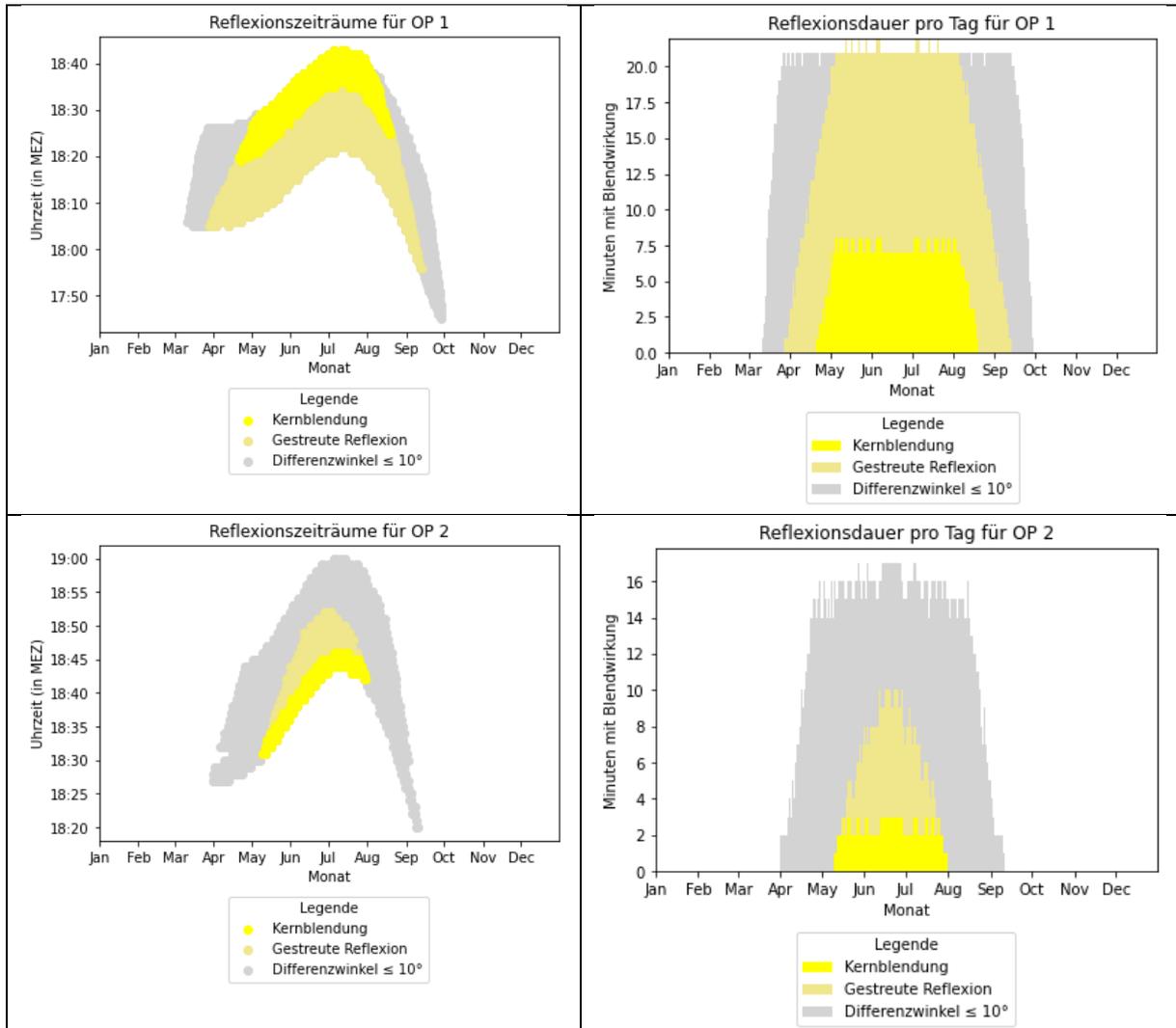
Abbildung 9: Positionen von OP H1 bis H2 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

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	8	800	ja
H2	3	191	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.

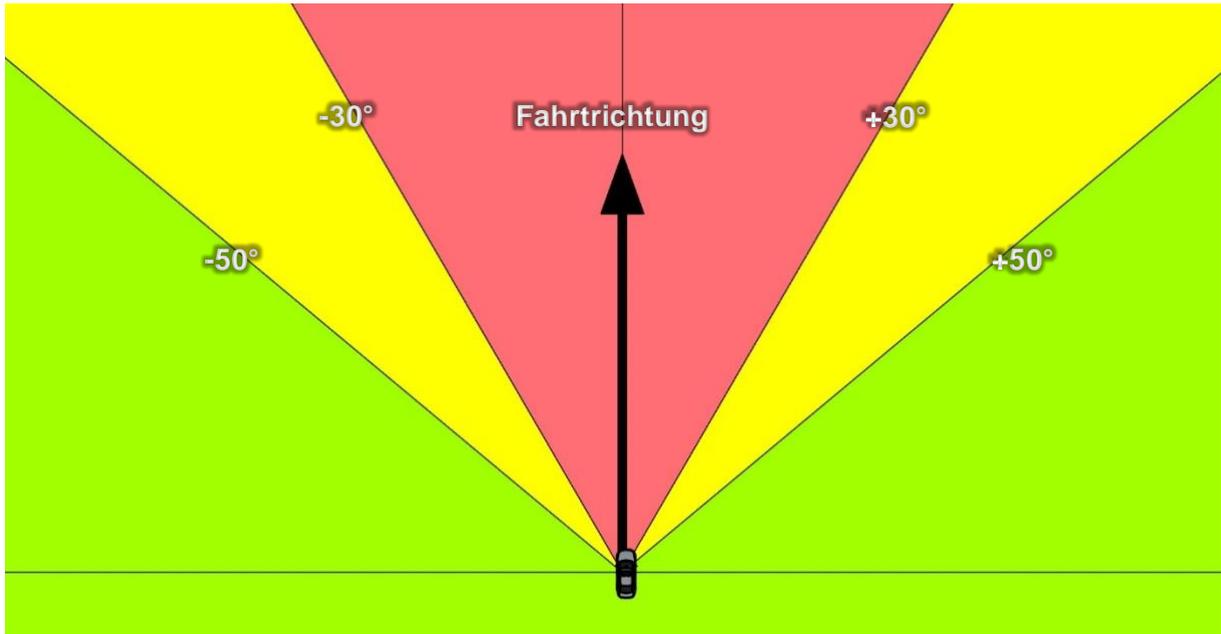


Abbildung 10: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers
– Quelle: Eigene Abbildung

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

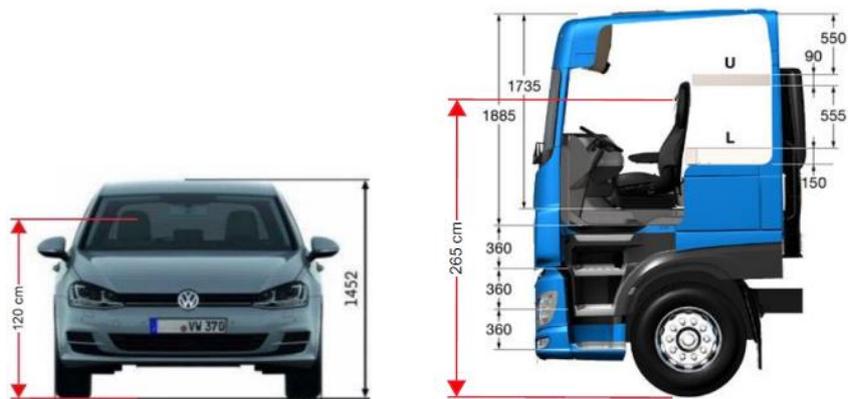


Abbildung 11: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
– Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

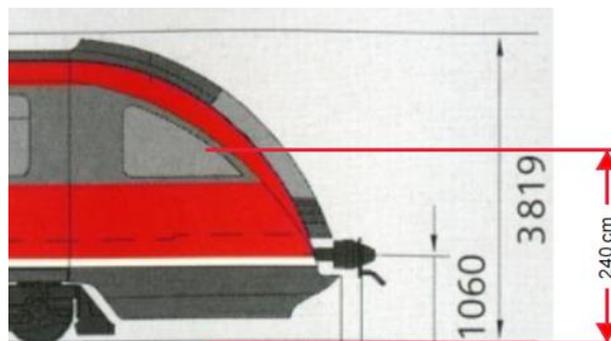


Abbildung 12: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

6.2 Relevante Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden als relevante Verkehrswege die Bundesautobahn A 995 samt Auf- und Abfahrten, die Staatsstraße St 2573 sowie die Kreisstraße M 2 identifiziert.

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

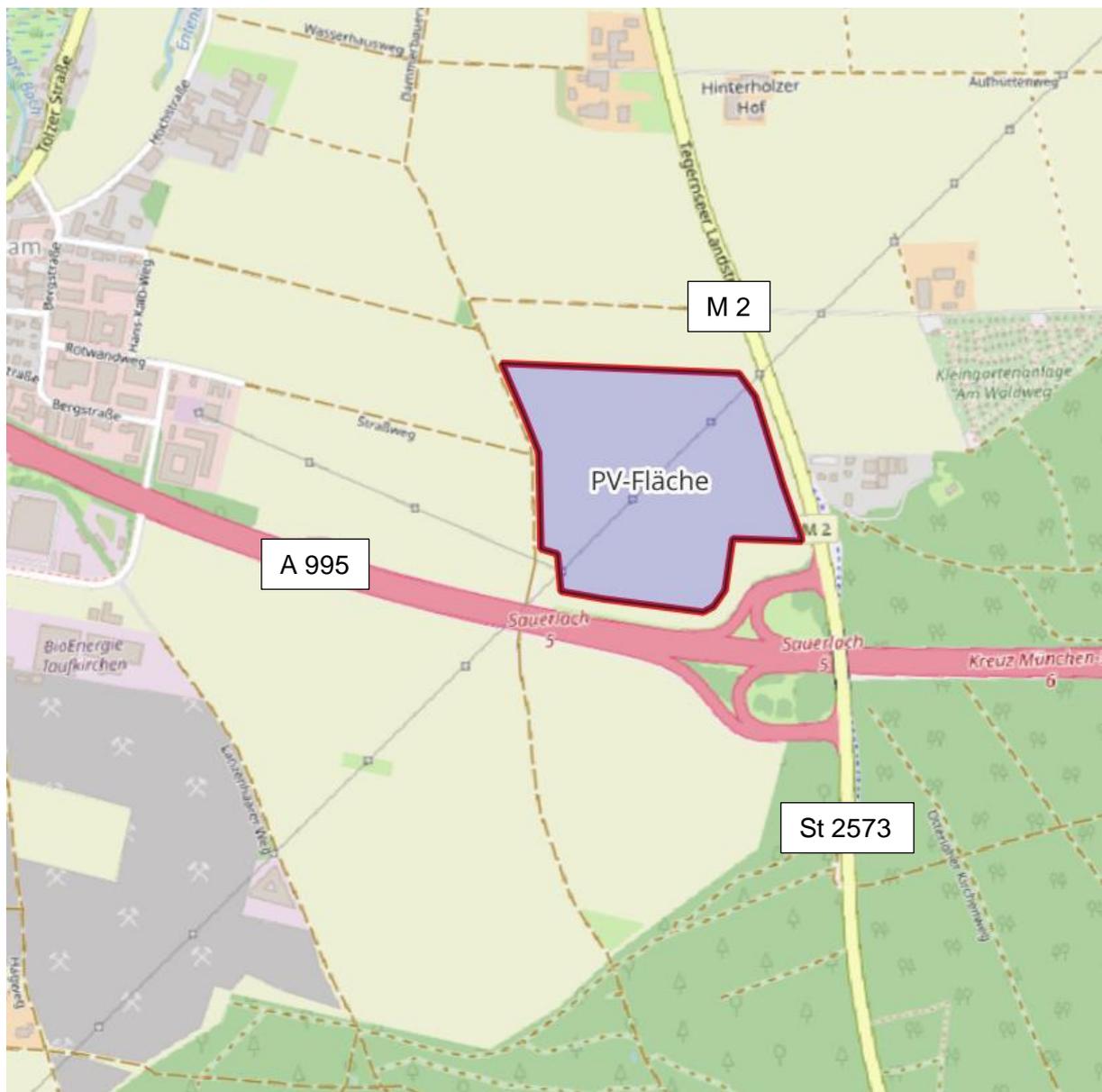


Abbildung 13: Positionen der als relevant eingestuft Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

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

Insgesamt wurden 36 OP zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt:

- OP S1 bis S6 für den Straßenverkehr auf der A 995 Richtung Westen.
- OP S7 bis S12 für den Straßenverkehr auf der A 995 Richtung Osten.
- OP S13 bis S29 für die Auf- und Abfahrten der A 995 in entsprechenden Fahrrichtungen.
- OP S30 bis S36 für den Straßenverkehr auf der St 2573 und der M2 in beiden Fahrrichtungen.

Die OP sind in einer Höhe von 2,65 m über dem Straßenniveau angebracht, entsprechend der Augenhöhe eines LKW-Fahrers.

Abbildung 14 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



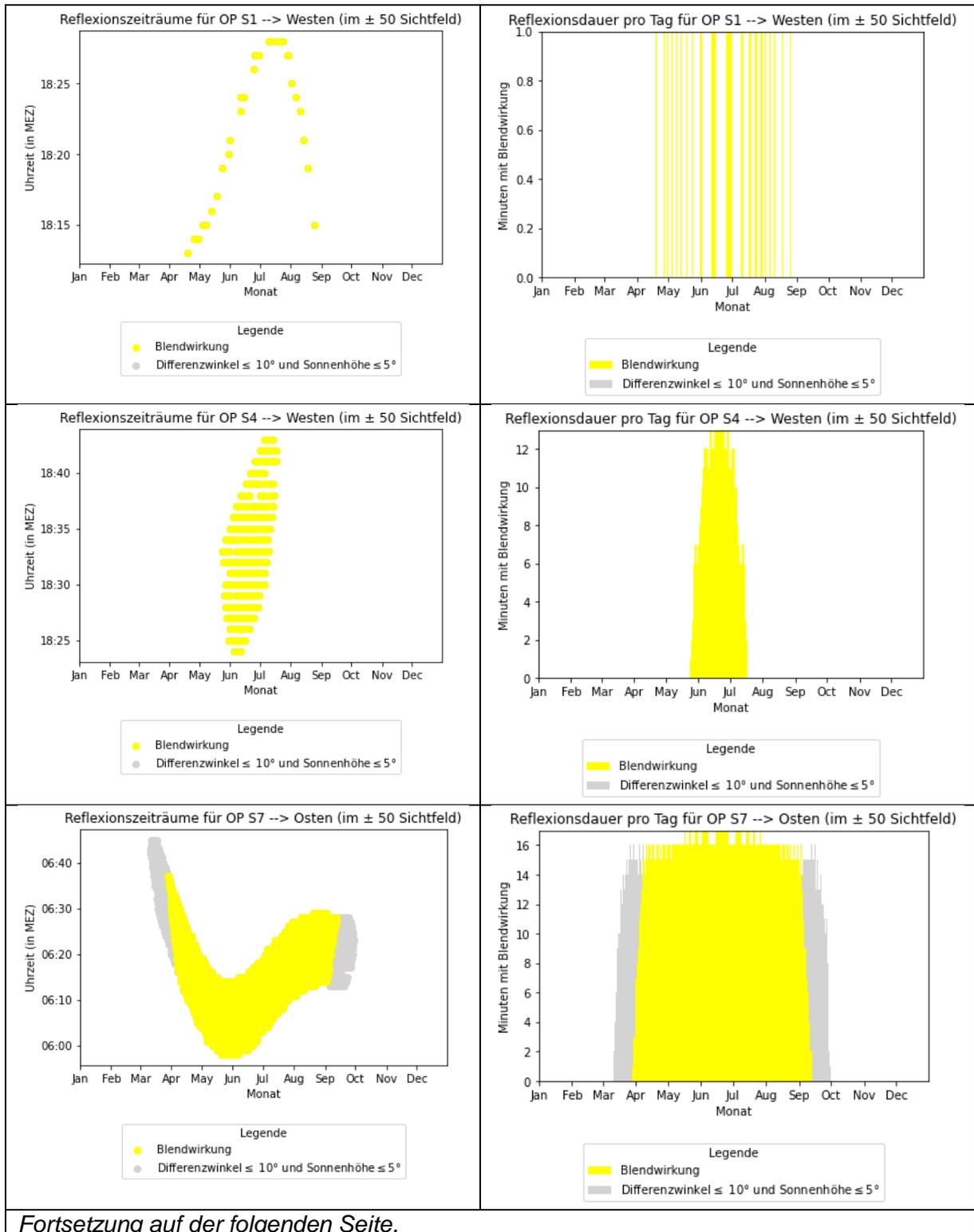
Abbildung 14: Positionen der OP auf den Verkehrswegen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

6.4 Ergebnisse

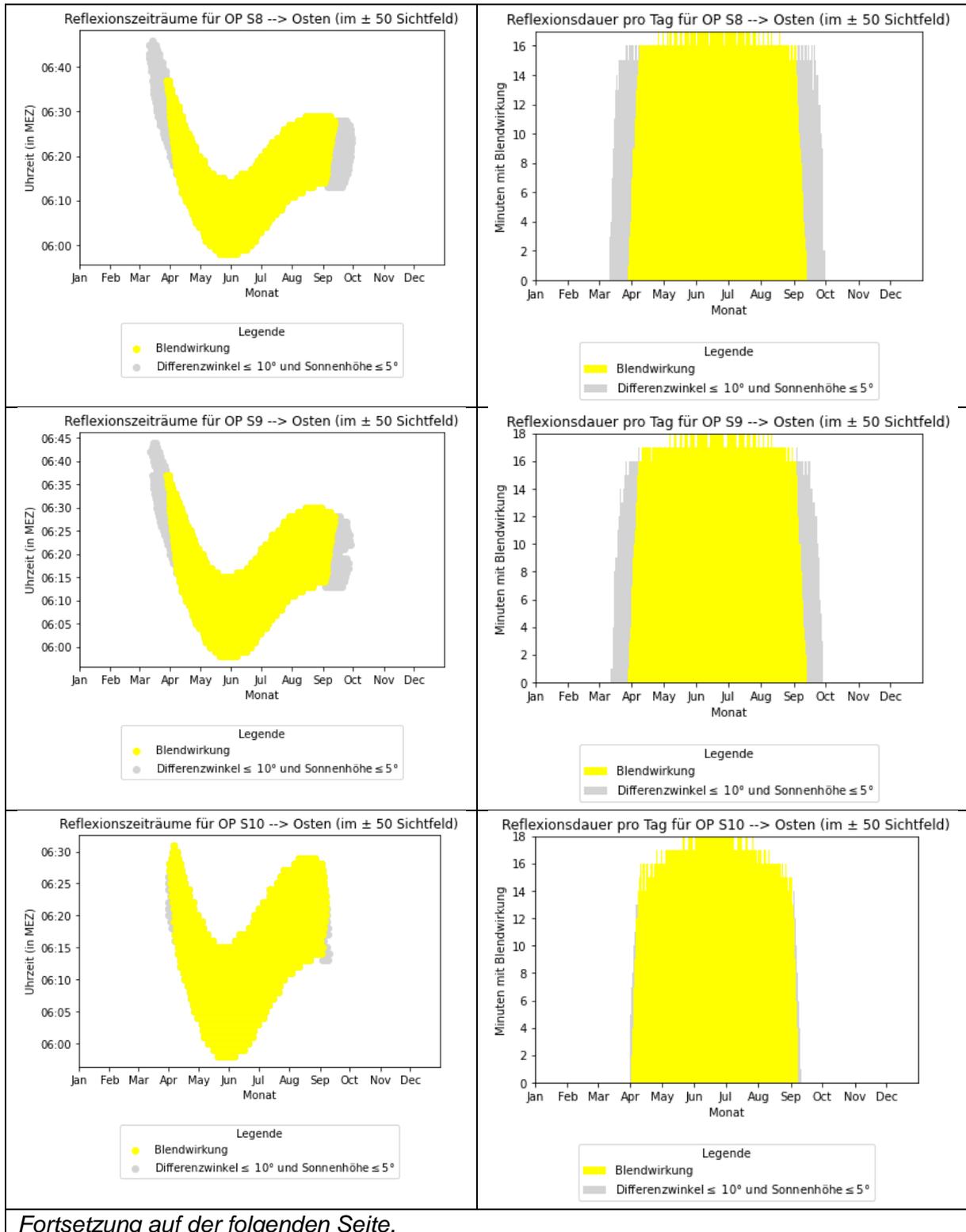
Tabelle 6: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte auf den Verkehrswegen

Verkehrsweg	OP	Fahrt-richtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze vollständig von der Sonne überlagert?	Anmerkung	
A 995	S1	Westen	8°	nein	-	
	S2		-	-	Keine Reflexionen	
	S3		-	-		
	S4		10°	nein		-
	S5		> 90°	-	-	
	S6		> 90°	-	-	
	S7	Osten	16°	nein	-	
	S8		12°	nein	-	
	S9		10°	nein	-	
	S10		15°	nein	-	
	S11		-	-	Keine Reflexionen	
	S12		-	-		
Auf-Abfahrten A995	S13	Südwesten	52°	-	-	
	S14		7°	nein	-	
	S15		56°	-	-	
	S16		22°	nein	-	
	S17		5°	nein	-	
	S18	Nordwesten	31°	-	-	
	S19	Norden	74°	-	-	
	S20	Nordosten	> 90°	-	-	
	S21		> 90°	-	-	
	S22	Südosten	30°	-	-	
	S23		-	-	Keine Reflexionen	
	S24		-	-		
	S25	Westen	-	-		
	S26	Nordwesten	-	-		
S27	Norden	-	-	-		
S28	Nordosten	> 90°	-	-		
S29		> 90°	-	-		
St 2573 / M 2	S30	Norden	-	-	Keine Reflexionen	
		Süden	-	-		
	S31	Norden	-	-		-
		Süden	-	-		-
	S32	Norden	60°	-	-	
		Süden	> 90°	-	-	
	S33	Norden	56°	-	-	
		Süden	> 90°	-	-	
	S34	Norden	52°	-	-	
		Süden	> 90°	-	-	
	S35	Norden	48°	-	-	
		Süden	> 90°	-	-	
S36	Norden	66°	-	-		
	Süden	> 90°	-	-		
LEGENDE						
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze						
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze (aber außerhalb der Erheblichkeitsgrenze)						
Relevante Blendwirkungen außerhalb der Beeinträchtigungsgrenze / keine (relevanten) Reflexionen						

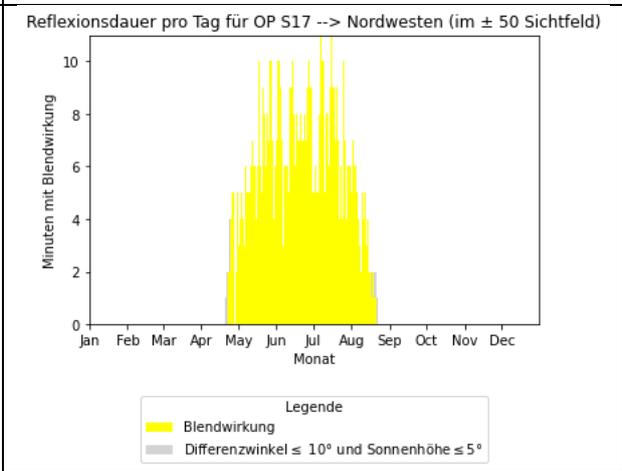
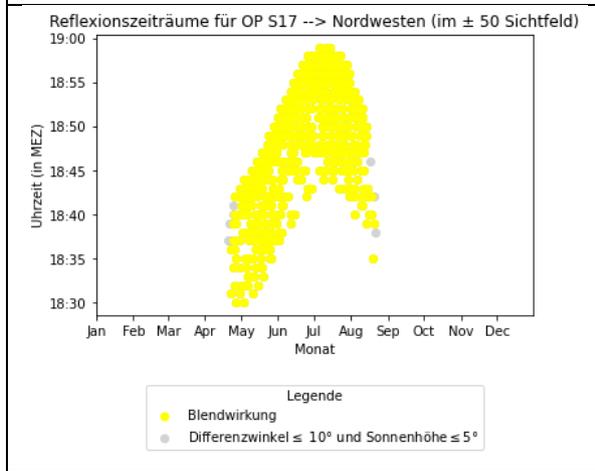
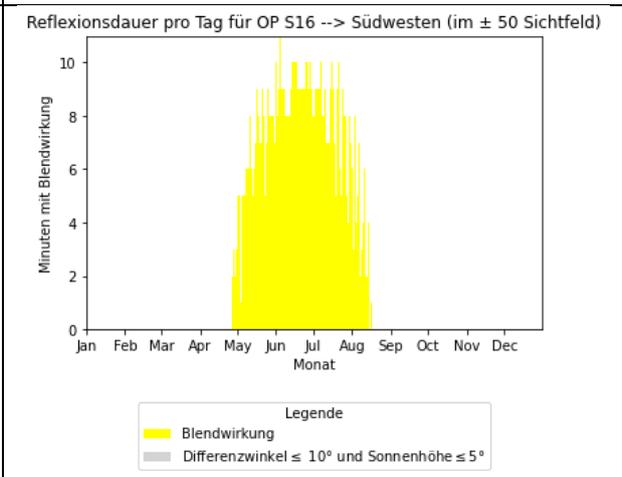
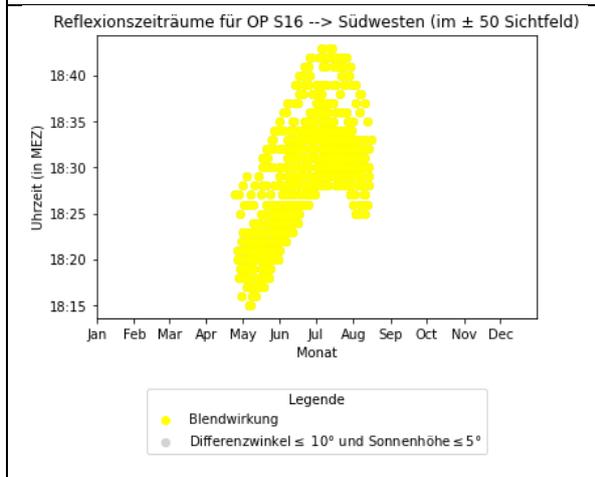
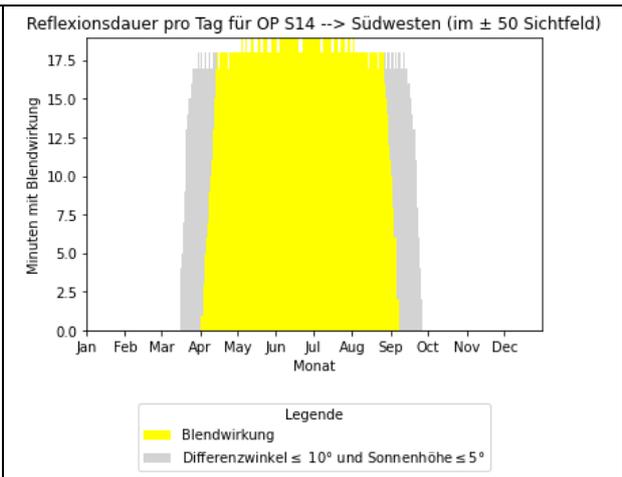
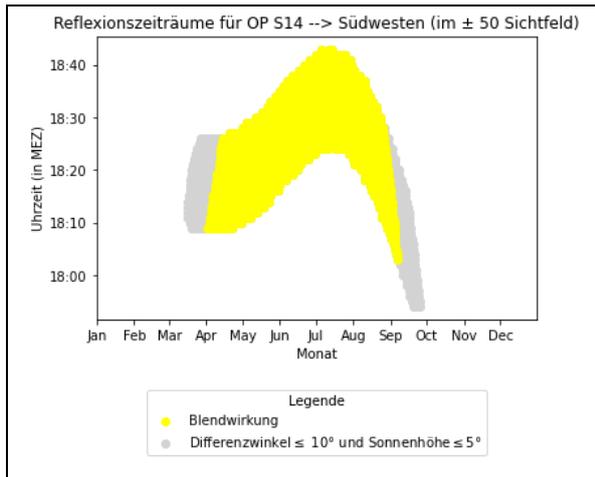
Ergebnisdiagramme 2: Reflexionen zu den OP auf den Verkehrswegen, sofern diese innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze wahrgenommen werden können



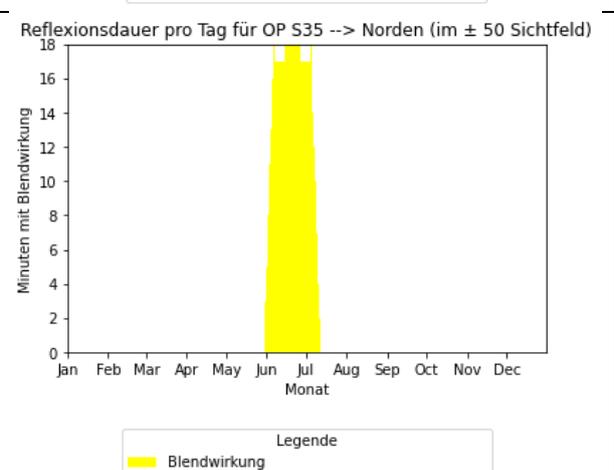
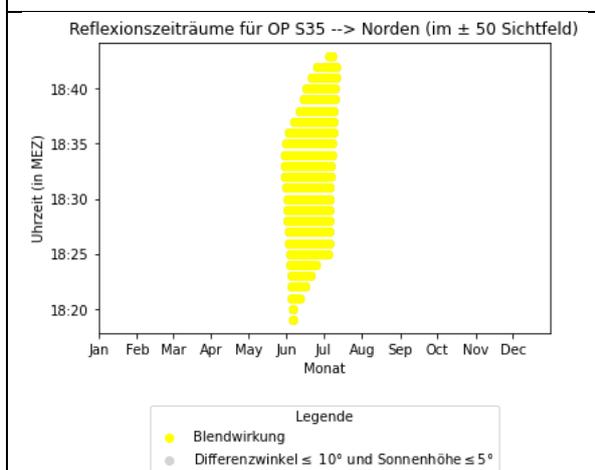
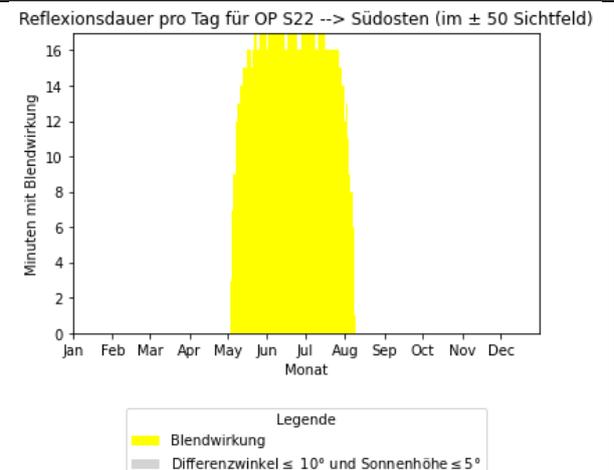
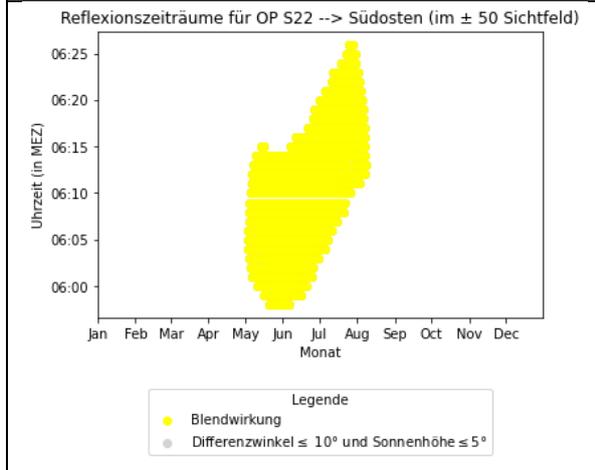
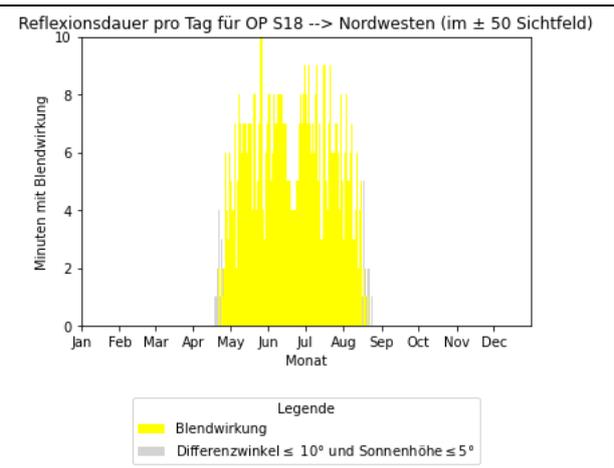
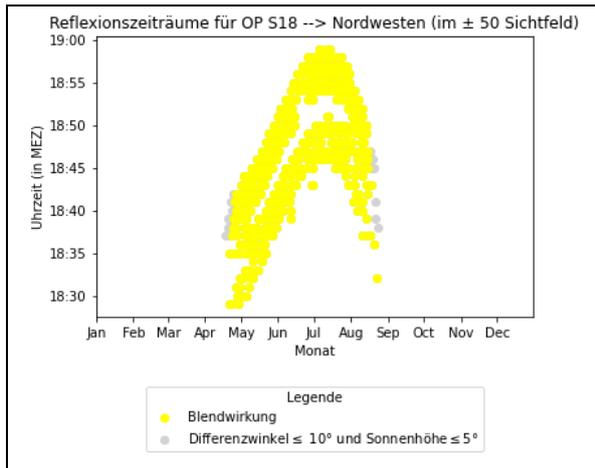
Fortsetzung auf der folgenden Seite.



Fortsetzung auf der folgenden Seite.



Fortsetzung auf der folgenden Seite.



7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld (100 m Radius) der Photovoltaikanlage befinden sich mehrere Wohngebäude. Bei keinem der Wohngebäude werden die LAI-Grenzwerte überschritten. In der Berechnung wurde die örtliche Vegetation nicht berücksichtigt. Tatsächlich schränken jedoch hochgewachsene Bäume zwischen den Gebäuden und der Photovoltaikanlage die Sicht zusätzlich ein. Somit ergeben sich keine erheblichen Blendwirkungen auf schutzwürdige Räume.

7.2 Straßen

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesautobahn A 995 mit ihren Auf- und Abfahrten, die Staatsstraße St 2573 sowie die Kreisstraße M 2 als relevante Verkehrswege identifiziert und entsprechend geprüft.

7.2.1 Bundesautobahn A 995

Auf der Bundesautobahn A 995 können Fahrzeugführer Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld ($\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) wahrnehmen. Erhebliche Blendwirkungen können daher nicht pauschal ausgeschlossen werden. In der Simulation wurde die Vegetation nicht berücksichtigt. Tatsächlich wird die Sicht auf die Photovoltaikanlage größtenteils durch das Straßenbegleitgrün unterbrochen. Dieses bietet jedoch aufgrund seiner ungleichmäßigen Dichte keinen durchgehenden Sichtschutz.

Um erhebliche Beeinträchtigungen zu vermeiden, sollten Sichtschutzmaßnahmen entlang der südlichen und westlichen Grenze der PV-Fläche umgesetzt werden. Diese Maßnahmen können beispielsweise durch eine dichte, blickfeste Eingrünung (unter Verwendung vorgezogener Pflanzen mit entsprechenden Höhen) oder einen erhöhten Sichtschutzzaun mit Sichtschutzblenden realisiert werden. Der Sichtschutz sollte je nach Abschnitt eine Mindesthöhe von 3 m bzw. 3,5 m aufweisen, um erhebliche Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld zu verhindern. Die betroffenen Abschnitte sind in der folgenden Abbildung (im nächsten Unterkapitel) grün bzw. gelb hervorgehoben.

Falls die Maßnahmen in Form einer Eingrünung umgesetzt werden, sollte entweder auf Pflanzen mit einem geeigneten Laubrhythmus (April bis Mitte September, siehe Ergebnisdiagramme 2) oder auf immergrüne Gewächse zurückgegriffen werden.

7.2.2 Auf- und Abfahrten A 995

Bei den Auf- und Abfahrten der A 995 können Fahrzeugführer abschnittsweise Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld wahrnehmen. Erhebliche Blendwirkungen können daher nicht pauschal ausgeschlossen werden. Betroffen ist die Auf- und Abfahrt der Fahrbahn Richtung Westen. In der Simulation wurde die örtliche Vegetation nicht berücksichtigt. Tatsächlich schränken vorhandene Vegetationsstreifen die Sicht auf die Photovoltaikanlage ein. Falls der Erhalt der Vegetation nicht garantiert werden kann, sollten Sichtschutzmaßnahmen entlang des östlichen Bereichs der PV-Fläche eingeplant werden.

Diese Maßnahmen können beispielsweise durch eine dichte, blickfeste Eingrünung oder einen erhöhten Sichtschutzzaun mit Sichtschutzblenden umgesetzt werden. Die erforderlichen Mindesthöhen für den Sichtschutz sind in der folgenden Abbildung angegeben und im betroffenen Bereich rot markiert. Sobald die jeweilige Mindesthöhe erreicht wird, sind keine erheblichen Blendwirkungen mehr zu erwarten.

Falls die Maßnahmen in Form einer Eingrünung erfolgen, sollte auf einen geeigneten Laubrhythmus (April bis Mitte September, siehe Ergebnisdiagramme 2) geachtet werden. Alternativ können immergrüne Pflanzen verwendet werden.

Kann der Erhalt der Bestandsvegetation gewährleistet werden – idealerweise mit einer Nachverdichtung – ist ein zusätzlicher Sichtschutz für den roten Abschnitt nicht erforderlich. Eine Nachverdichtung wird insbesondere empfohlen, wenn die bestehende Vegetation ab April noch keine ausreichende Blickdichte bietet. Sollte die Bestandsvegetation als Bestandteil des Blendschutzkonzepts aufgenommen werden, sollte die Blickdichte vor Ort nochmals gesondert überprüft und bewertet werden. Hinsichtlich des Erhalts der Vegetation sollte Rücksprache mit der verantwortlichen Partei gehalten werden, beispielsweise mit der Autobahn GmbH des Bundes (sofern zutreffend).

Als präventive Maßnahme könnte auch eine dichte und hochwachsende Feldhecke entlang des roten Abschnitts angelegt werden. Diese könnte über die Jahre die empfohlene Mindesthöhe von 4 m erreichen. Voraussetzung hierfür ist, dass die bestehende Vegetation während der Wachstumszeit der Hecke erhalten bleibt und die erforderliche Abschirmung bietet.

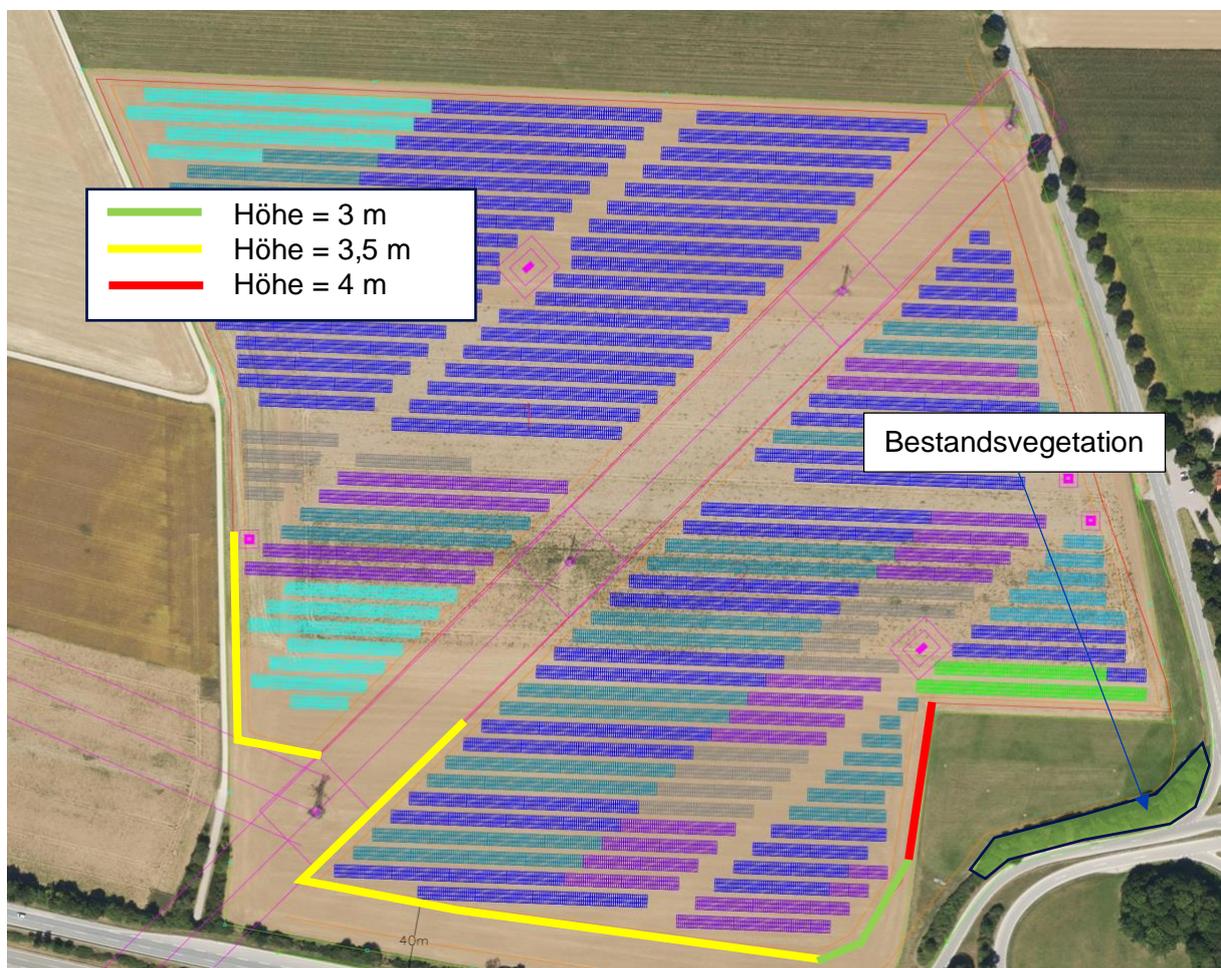


Abbildung 15: Position und Mindesthöhen des Sichtschutzes - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

7.2.3 Staatsstraße St 2573

Auf der Staatsstraße St 2573 werden keine erheblichen Blendwirkungen erwartet, da das zentrale Sichtfeld von Fahrzeugführern stets blendfrei bleibt.

7.2.4 Kreisstraße M 2

Auf der Kreisstraße M 2 werden keine erheblichen Blendwirkungen erwartet, da das zentrale Sichtfeld von Fahrzeugführern stets blendfrei bleibt.

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