



[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

SOLARPARK HENSTEDT-ULZBURG

VERSION 1.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
D-25436 Moorrege
+49 4122 509100
mathias.roeper@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Moorrege, 28.08.2024

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Redaktionelle Änderungen	28.08.2024	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	09.08.2024	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.....	27
7.1	Gebäude.....	27
7.2	Straßen.....	27
8	Literaturverzeichnis	32
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT	33

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	EiSiRa Projektgesellschaft mbH
Projektname	Solarpark Henstedt-Ulzburg
Adresse	Gemeinde Ulzburg/Alveslohe
Stand der Projektierung	☐ Bestand ☐ Im Bau ☒ 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)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein

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

Die geplante PVA besteht aus drei PV-Flächen.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	53.802249, 9.932113
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
PV-Fläche	ca. 19.96 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	Fläche 1 und 2: ca. 162° Fläche 3: ca. 180° (Norden = 0°)
Modulneigung	20°
Höhe Modulunterkante	0,8 m
Höhe Moduloberkante	2,365 m



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

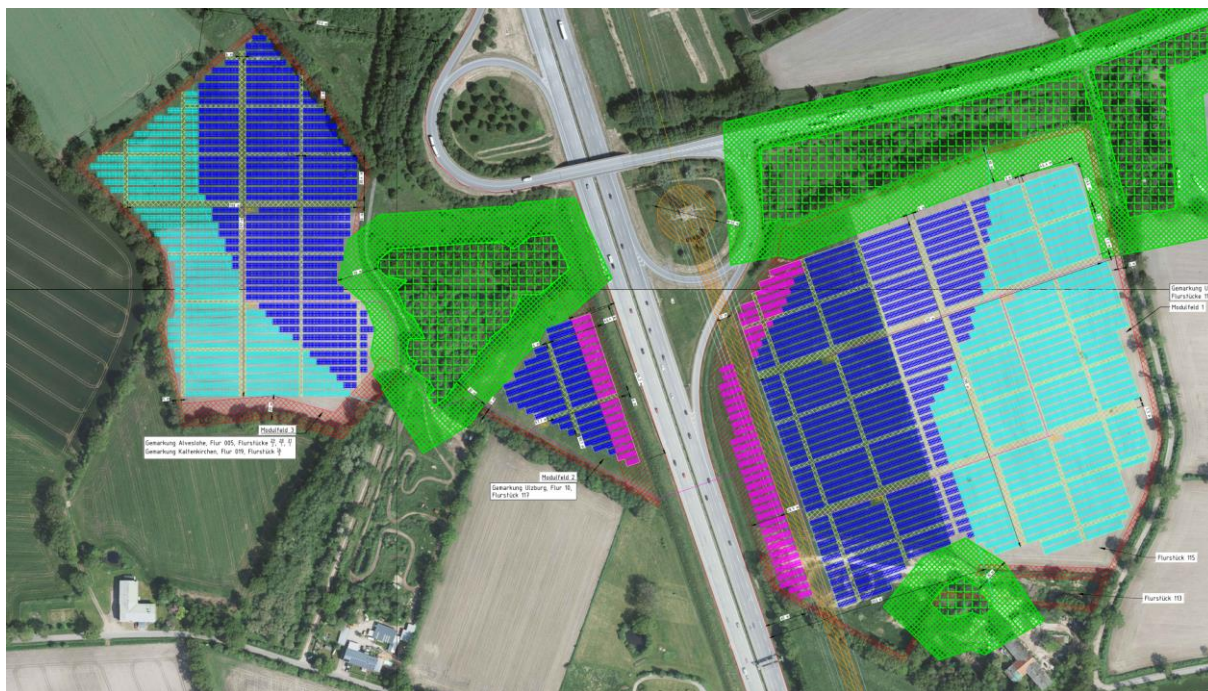


Abbildung 2: Belegungsplan - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten 100-Meter-Umfeld um die PV-Felder existiert nur ein schutzwürdiges Gebäude (Wohngebäude). Die Simulation hat ergeben, dass die LAI-Grenzwerte am Gebäude eingehalten werden. Somit finden im Sinne des LAI-Leitfadens keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen an oder in schutzwürdigen Räumen statt.

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesautobahn A7 samt Auf- und Abfahrten, die Landesstraße L 326, der Waldweg sowie die Straße Im Rösch als relevante Verkehrswege identifiziert.

Auf der A7 können erhebliche Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen ausgeschlossen werden. Geometrisch betrachtet bleibt ein Sichtfeld von $\pm 50^\circ$ durchgehend blendfrei.

Auf den Auf- und Abfahrten der A7 gibt es zwei erwähnenswerte Bereiche:

- Auf der Abfahrt von der A7 in Richtung Norden kann in der Kurve nach Nordosten im nördlichsten Bereich der PV-Fläche 1 eine Blendwirkung auftreten, die knapp innerhalb des zentralen Sichtfelds ($\pm 30^\circ$) liegt. Es bleibt jedoch ein Sichtfeld von mindestens $\pm 26^\circ$ erhalten, und der betroffene Bereich erstreckt sich lediglich über etwa 60 bis 70 m. Daher wird die Situation als noch vertretbar eingestuft.
- Zudem können Fahrzeugführer auf der Auffahrt zur A7 (Fahrtrichtung Süden) westlich der L 326 in Fahrtrichtung Westen/Nordwesten geometrisch betrachtet durch PV-Fläche 3 im zentralen Sichtfeld geblendet werden. Im Ist-Zustand unterbindet jedoch ein dichter und hochgewachsener Vegetationsstreifen westlich der betroffenen Auffahrt die Sicht auf PV-Fläche 3. Üblicherweise wäre hier ein weiterer Sichtschutz zu empfehlen, da lediglich ein Vegetationsstreifen die Sicht unterbindet. Aufgrund des Höhenunterschieds zwischen Straße und PV-Fläche (die PV-Fläche liegt ca. 7 m tiefer) wäre ein Sichtschutz auf dem Projektgelände jedoch nicht realisierbar. Der schützende Vegetationsstreifen sieht augenscheinlich nach längerfristigem und tendenziell bleibendem Bewuchs aus. Es ist jedoch zu empfehlen, in Erfahrung zu bringen, ob ein Erhalt des Vegetationsstreifens erwartet werden kann.

Auf der L 326 und dem Waldweg treten keine relevanten Blendwirkungen auf.

Auf der Straße Im Rösch können geometrisch betrachtet relevante Blendwirkungen auftreten, die jedoch insbesondere durch Vegetationsbereiche unterbunden werden. Dennoch wird im Südosten von PV-Fläche 1 ein Sichtschutz auf dem Projektgelände empfohlen (Eingrünung), um im Falle einer Entfernung kleinerer Vegetationsstreifen einen Ersatz zu gewährleisten.

4 Grundlagen

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein PV-Modul setzt sich aus zahlreichen Solarzellen zusammen, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Um Stabilität zu gewährleisten und vor Witterungseinflüssen zu schützen, sind die Solarzellen normalerweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas) angebracht. Das Modulglas ist maßgeblich für mögliche Blendwirkungen verantwortlich. Da die erzeugte elektrische Energie in direktem Verhältnis zur Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen steht, bemühen sich Modulhersteller, Reflexionen am Modulglas zu reduzieren – je weniger Reflexionen, desto höher der Ertrag. Daher verfügt das Modulglas typischerweise über eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sogenannte Antireflexschicht. Beide Elemente gewährleisten, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und Reflexionsverluste minimiert werden [2].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 3) lediglich einen kleinen Teil des Sonnenlichts (etwa 5 %). Studien zeigen jedoch, dass trotz Texturierung und Antireflexbeschichtung der Anteil des reflektierten Sonnenlichts mit ansteigendem Einfallswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 4).

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

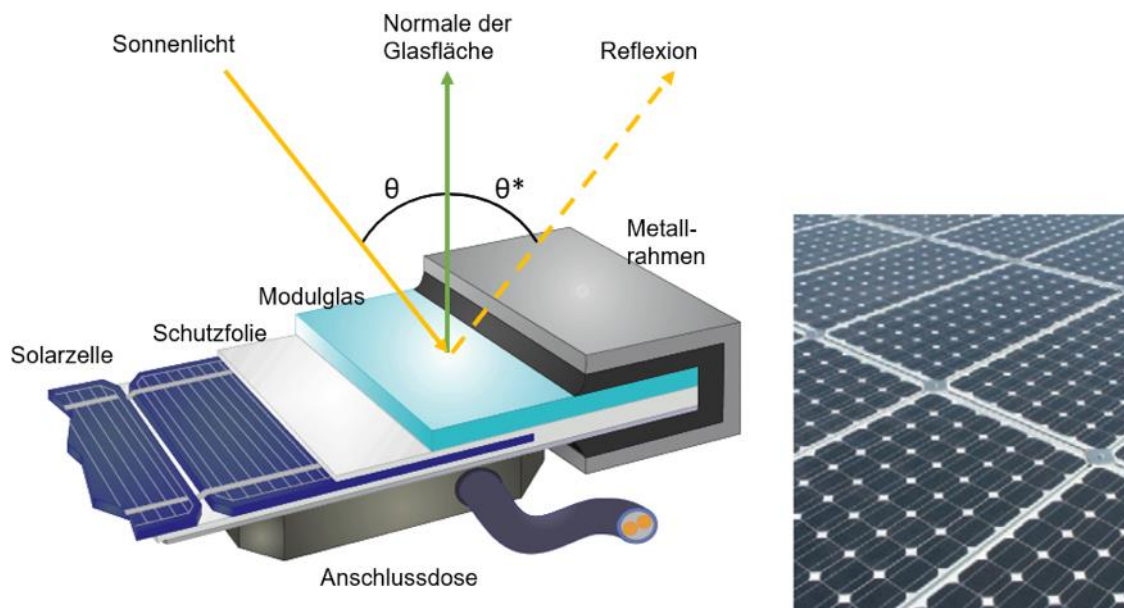


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
- Quelle: [3] (modifiziert)

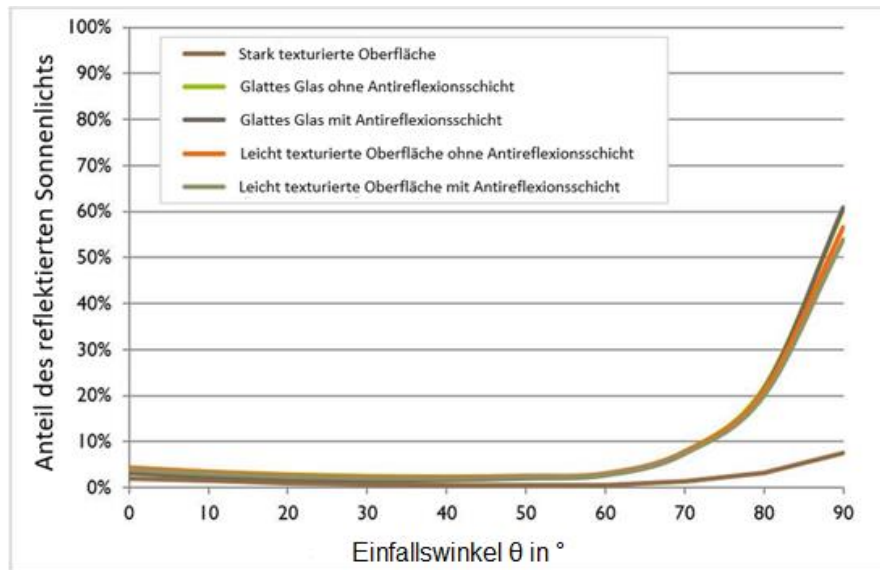


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen - Quelle: [4], modifiziert

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



Abbildung 5: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) - Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

4.2 Berechnung von Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Hierzu werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [1]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann für jeden Zeitpunkt im Jahr auf Basis mathematischer Funktionen ermittelt werden [5]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlungsgesetze lässt sich nachvollziehen, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Die Berücksichtigung von modulglasspezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch präzisere Betrachtung [4].

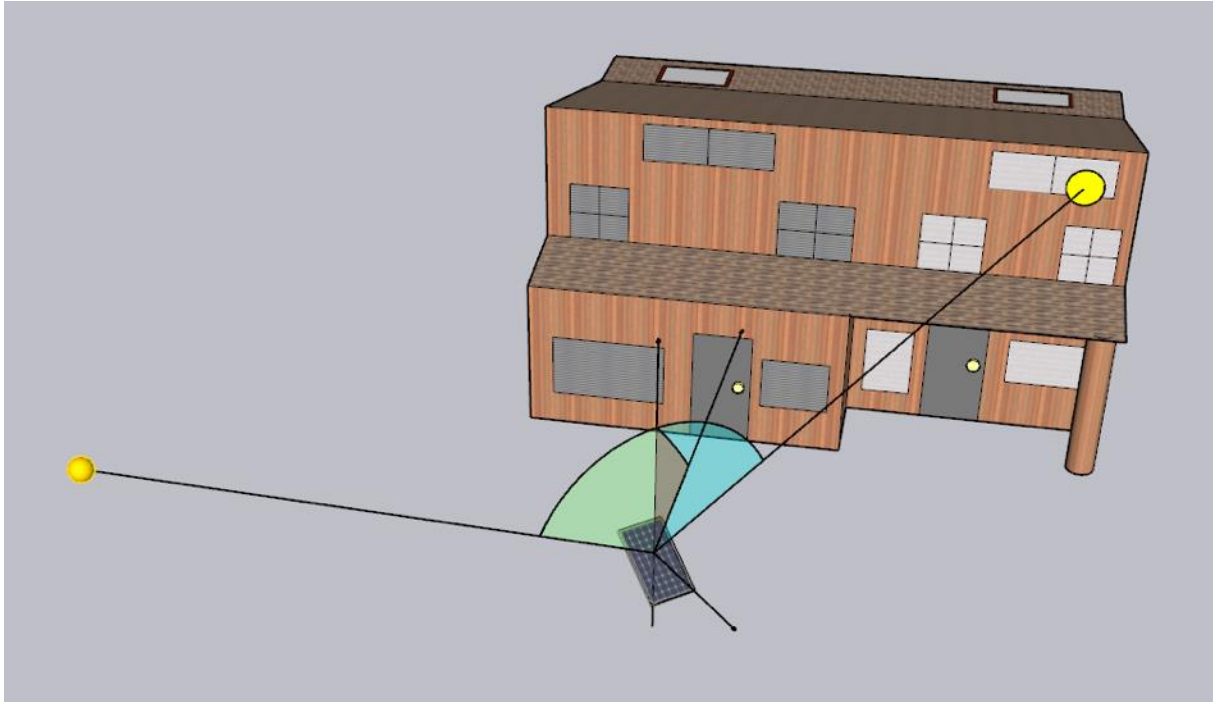


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

Für die Berechnungen der Reflexionen/Blendwirkungen wurde die Software ForgeSolar verwendet. Dabei wurden die Reflexionen/Blendwirkungen der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories. Im Rahmen der Simulation werden die Höhendaten der PV-Fläche sowie der Immissionsorte berücksichtigt. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels. Demnach wird ein abstrakter Worst-Case betrachtet.

Obwohl ForgeSolar zu den etabliertesten und professionellsten Programmen gehört, um PVA-bedingte Blendwirkungen zu berechnen, kann die Realität nur vereinfacht dargestellt werden. Somit werden die Generatorfelder als Ebenen zusammengefasst, abweichende Modulausrichtungen im Feld (z. B. Modultische, die aufgrund der Topografie eine Neigung entlang der Tischachse besitzen und somit die effektive Ausrichtung der Module beeinflussen) teilweise verloren gehen. Die Limitationen der Software werden nach Möglichkeit durch zusätzliche Berechnungen kompensiert und die Ergebnisse stets validiert. Dennoch können Abweichungen von der späteren Realität nicht ausgeschlossen werden.

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

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

Die Auswertung der Blendwirkungen auf umliegende Gebäude (inkl. Terrassen und Balkone) basiert auf dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [1].

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

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

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

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

Laut dem LAI-Leitfaden soll zur Ermittlung der Blendzeiten ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell verwendet werden, bei dem die Solarmodule als ideal verspiegelte Flächen dargestellt werden. Da eine Spiegelfläche das Sonnenlicht gerichtet reflektiert, findet keine oder nur eine sehr geringe Streuung des Sonnenlichts statt. Je geringer die Streuung, desto kürzer sind die Blendzeiten. In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um dennoch eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden im vorliegenden Gutachten die Blendwirkungen, die lediglich mit dem vereinfachten Modell ermittelt würden, als „Kernblendung“ und die übrigen als „gestreute Reflexion“ bezeichnet und stets differenzierbar dargestellt (sofern relevante Blendwirkungen auftreten).

Zudem sind laut dem Leitfaden Reflexionen, die am Immissionsort mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendungen zu betrachten. Dies berücksichtigt den Umstand, dass bei tiefstehender Sonne PVA-bedingte Blendwirkungen von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert werden.

Laut dem LAI-Leitfadens liegt eine erhebliche Belästigung durch PVA-bedingte Blendwirkungen vor, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden (1.800 Minuten) pro Jahr *Kernblendungen* erfährt.

Es hat sich bewährt, in der Simulation nicht jedes einzelne Gebäude in der Umgebung der PVA auszuwerten, sondern lediglich die nächstgelegenen in verschiedenen Himmelsrichtungen. Im Rahmen der Simulation wird darauf geachtet, die potenziell am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Räume zu analysieren (Worst-Case-Betrachtung).

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt. 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 ein schutzwürdiges Wohngebäude vorhanden ist.



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 wurde ein OP an den schutzwürdigen Räumen definiert (OP H1).

Der OP wurden so positioniert, dass er das Worst-Case-Szenario repräsentiert, also an dem Ort, an dem die stärksten Blendwirkungen erwartet werden.

Der OP H1 ist 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.

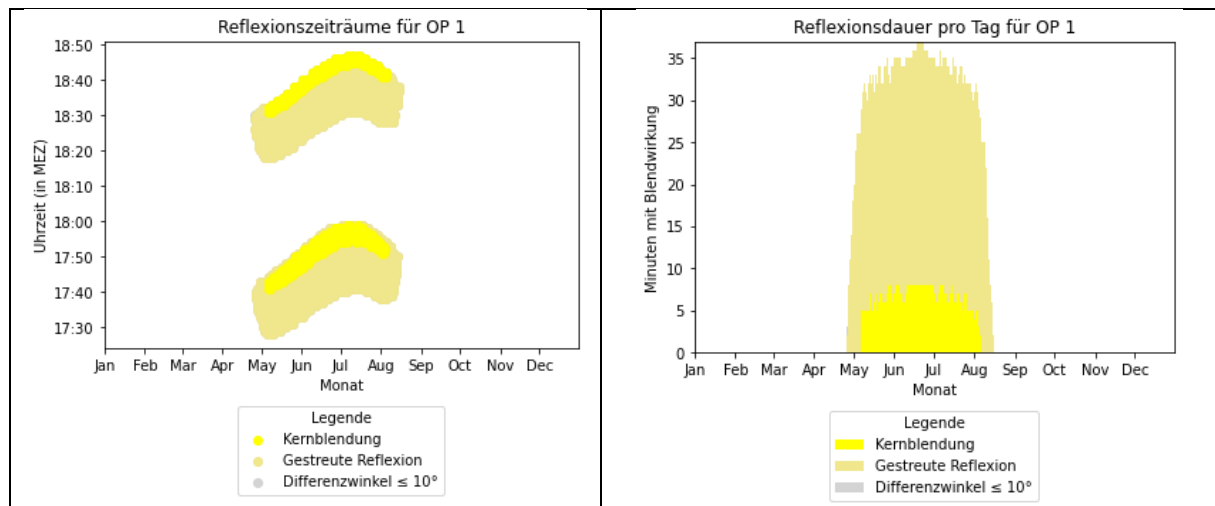


Abbildung 9: Position von OP H1 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.4 Ergebnisse

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	603	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.

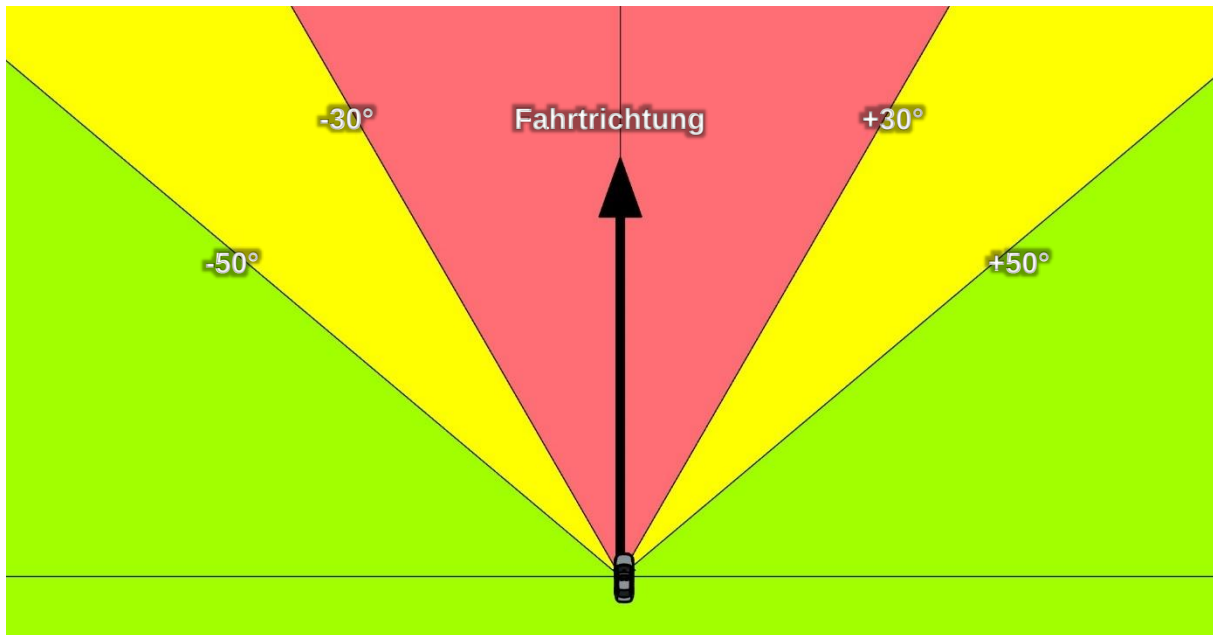


Abbildung 10: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers
– Quelle: Eigene Abbildung

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

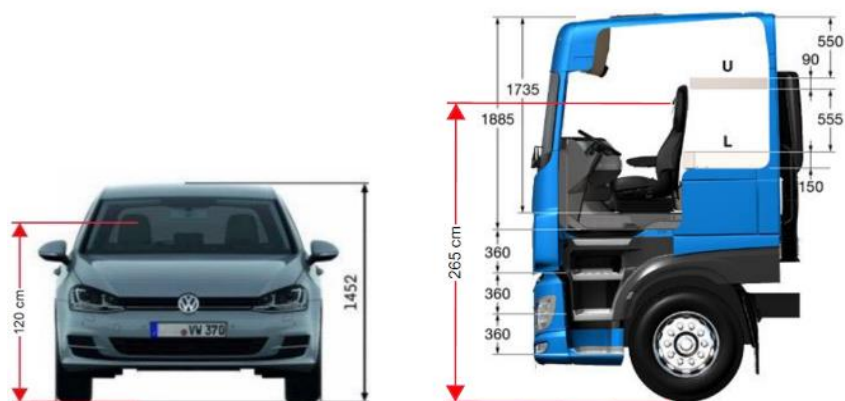


Abbildung 11: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
– Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

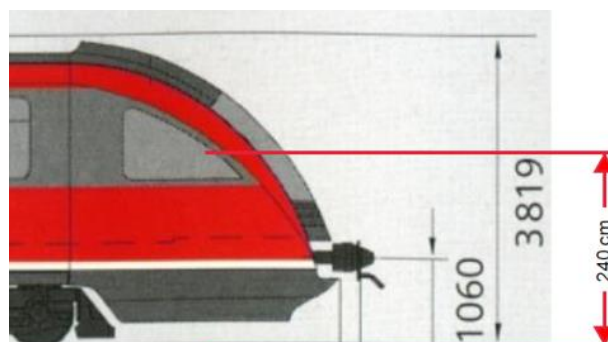


Abbildung 12: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

6.2 Relevante Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesautobahn A 7 samt Auf- und Abfahrten, die Landesstraße L 326, der Waldweg sowie die Straße Im Rösch als relevante Verkehrswege 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.

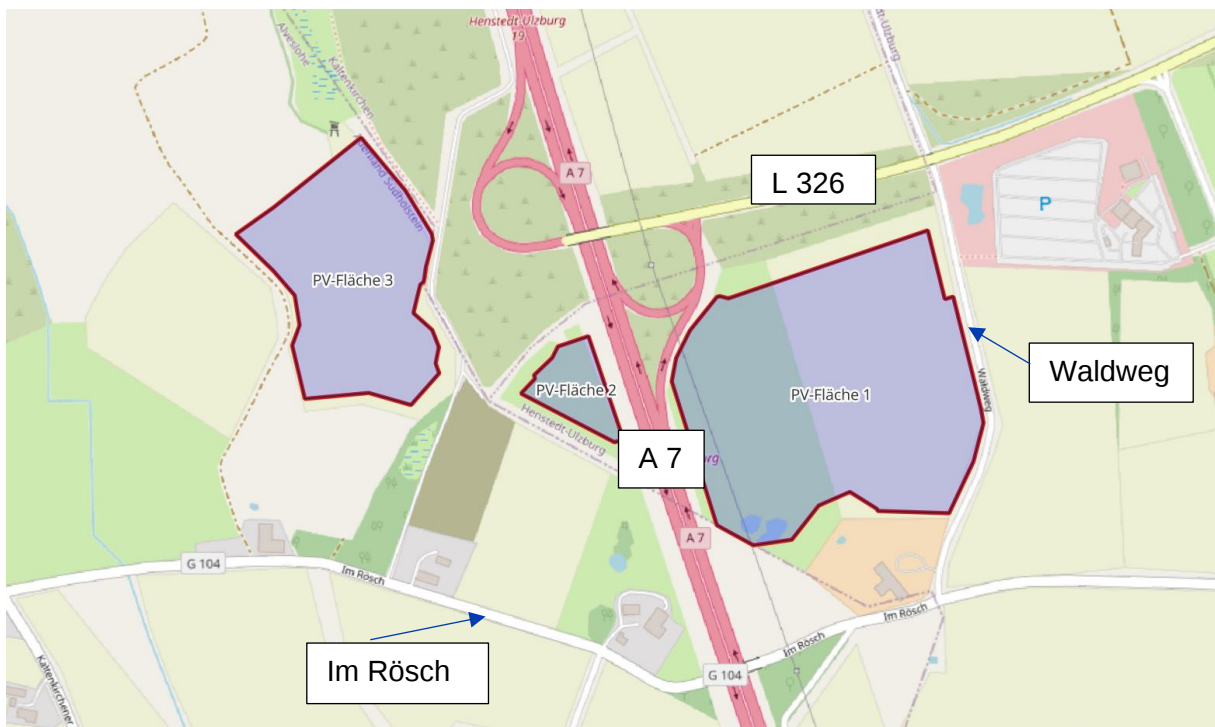


Abbildung 13: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

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

Insgesamt wurden 40 OP zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt:

- OP S1 bis S7 für den Straßenverkehr auf der A 7 Richtung Norden.
- OP S8 bis S13 für den Straßenverkehr auf der A 7 Richtung Süden.
- OP S14 bis S22 für die Auf- und Abfahrten der A 7 in beiden Fahrtrichtungen.
- OP S23 und S26 für die Landesstraße L 326 in beiden Fahrtrichtungen.
- OP S27 bis S35 für die Straße Im Rösch in beiden Fahrtrichtungen.
- OP S36 bis S40 für den Waldweg in beiden Fahrtrichtungen

Die OP Sx sind in einer Höhe von 2,65 m über dem Straßenniveau angebracht, entsprechend der angenommenen 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

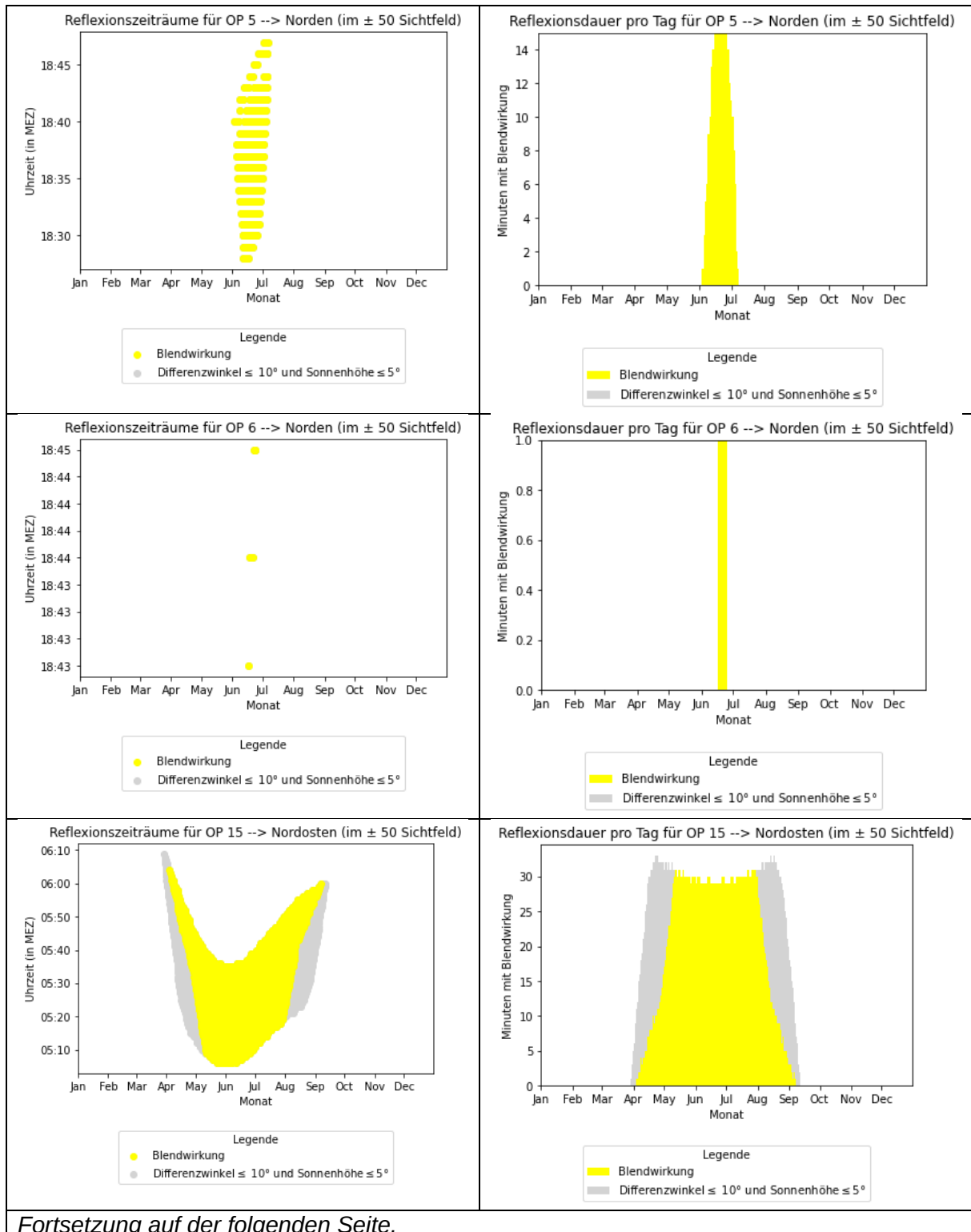
Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte auf den Verkehrswegen

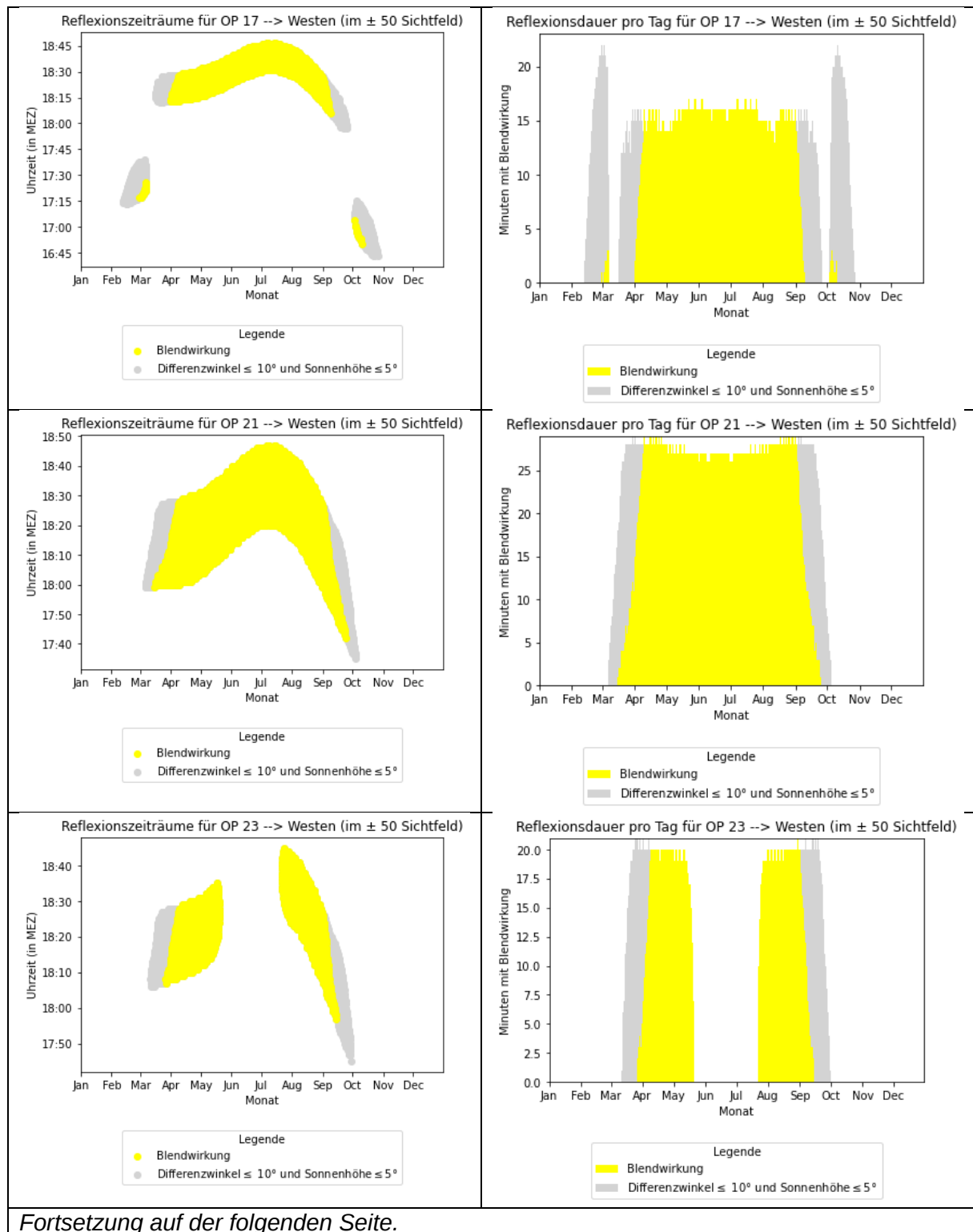
Verkehrsweg	OP	Fahrt- richtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungs- grenze vollständig von der Sonne überlagert?	Anmerkung
A 7	S1	Norden	-	-	Keine Reflexionen
	S2	Norden	-	-	
	S3	Norden	ca. 75°	-	-
	S4	Norden	ca. 75°	-	-
	S5	Norden	ca. 50°	nein	Kein freies Sichtfeld auf PV- Flächen 2 und 3, die ins das Sichtfeld reflektieren könnten.
	S6	Norden	ca. 50°	nein	
	S7	Norden	-	-	Keine Reflexionen
	S8	Süden	-	-	
	S9	Süden	-	-	
	S10	Süden	-	-	
	S11	Süden	>90°	-	-
	S12	Süden	>90°	-	-
	S13	Süden	>90°	-	-
A 7 Auf- und Abfahrten	S14	Norden	ca. 57°	-	-
	S15	Nordosten	ca. 26°	nein	-
	S16	Norden	ca. 57°	-	-
		Süden	>90°	-	-
	S17	Westen	ca. 10°	nein	Kein freies Sichtfeld auf PV- Fläche 3, die hier in das zentrale Sichtfeld reflektieren könnte.
		Süden	-	-	
	S18	Süden	-	-	Keine Reflexionen
	S19	Südwesten	ca. 56°	-	-
	S20	Norden	ca. 78°	-	-
		Süden	>90°	-	-
	S21	Westen	ca. 16°	nein	-
		Osten	>90°	-	-
	S22	Osten	>90°	-	-
L 326	S23	Osten	>90°	-	Kein freies Sichtfeld auf PV- Fläche 3, die hier in das zentrale Sichtfeld reflektieren könnte.
		Westen	ca. 5°	nein	
	S24	Osten	>90°	-	
		Westen	ca. 8°	nein	
	S25	Nordosten	>90°	-	
		Südwesten	ca. 12°	nein	
	S26	Nordosten	-	-	Keine Reflexionen
		Südwesten	-	-	
Im Rösch	S27	Osten	ca. 13°	nein	-
		Westen	>90°	-	-
	S28	Osten	ca. 33°	nein	-
		Westen	>90°	-	-
	S29	Osten	ca. 33°	nein	-
		Westen	>90°	-	-
	S30	Osten	ca. 48°	ja	-
		Westen	>90°	-	-
	S31	Osten	-	-	Keine Reflexionen
		Westen	-	-	
	S32	Osten	>90°	-	-
		Westen	ca. 52°	-	-
	S33	Osten	>90°	-	-
		Westen	ca. 21°	nein	-
	S34	Osten	>90°	-	-
		Westen	ca. 5°	nein	-
	S35	Osten	>90°	-	-
		Westen	ca. 5°	nein	-

Fortsetzung auf der folgenden Seite.

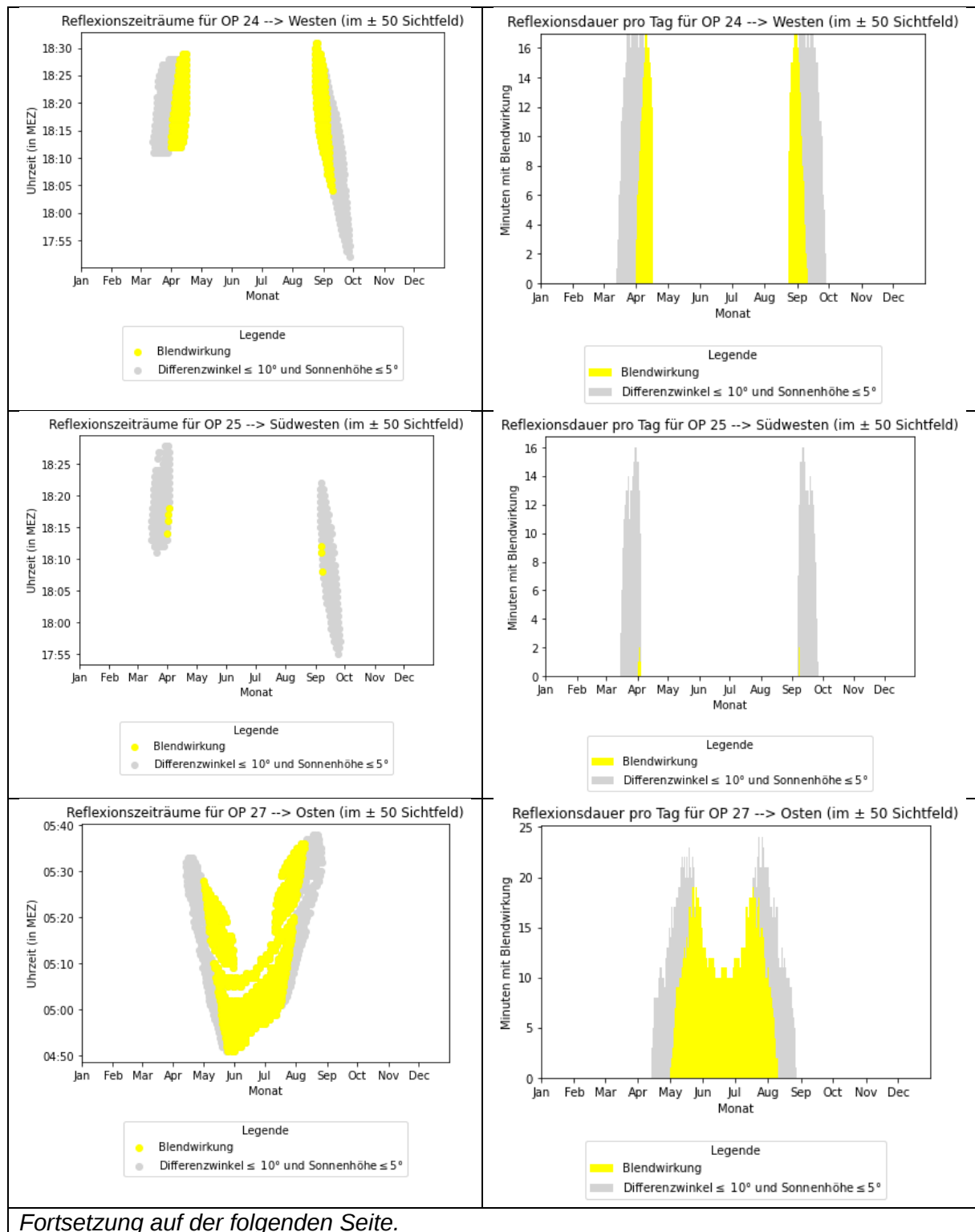
Waldweg	S36	Norden	>90°	-	-
		Süden	>90°	-	-
	S37	Norden	ca. 80°	-	-
		Süden	ca. 42°	nein	-
	S38	Norden	ca. 54°	-	-
		Süden	ca. 74°	-	-
	S39	Norden	Ca. 64°	-	-
		Süden	>90°	-	-
	S40	Norden	ca. 72°	-	-
		Süden	>90°	-	-
LEGENDE					
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Erheblichkeitsgrenze					
Relevante Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze (aber außerhalb der Erheblichkeitsgrenze)					
Relevante Blendwirkungen außerhalb der Beeinträchtigungsgrenze / keine (relevanten) Reflexionen					

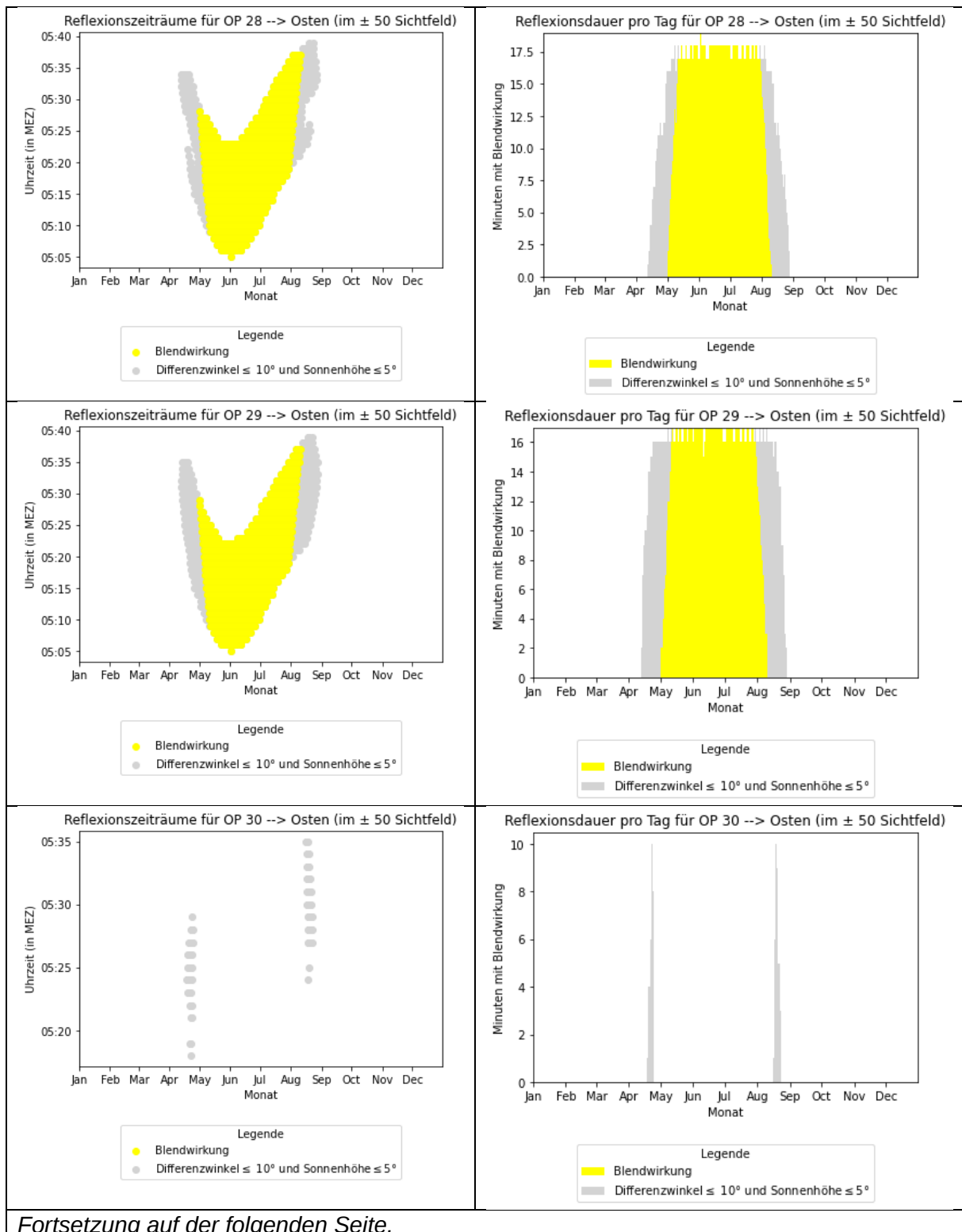
Ergebnisdiagramme 2: Reflexionen zu den OP auf den Verkehrswegen, sofern diese innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze wahrgenommen werden können

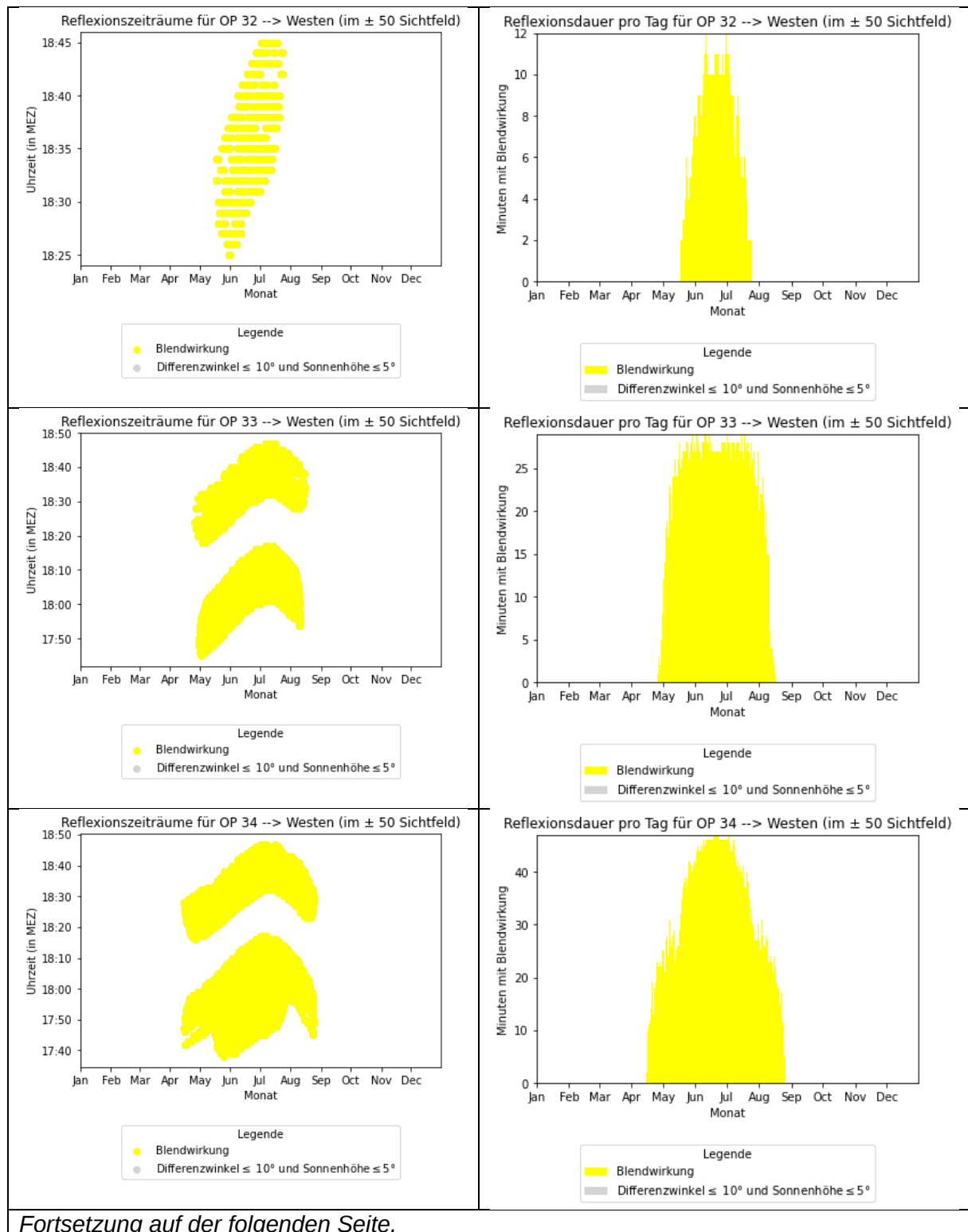


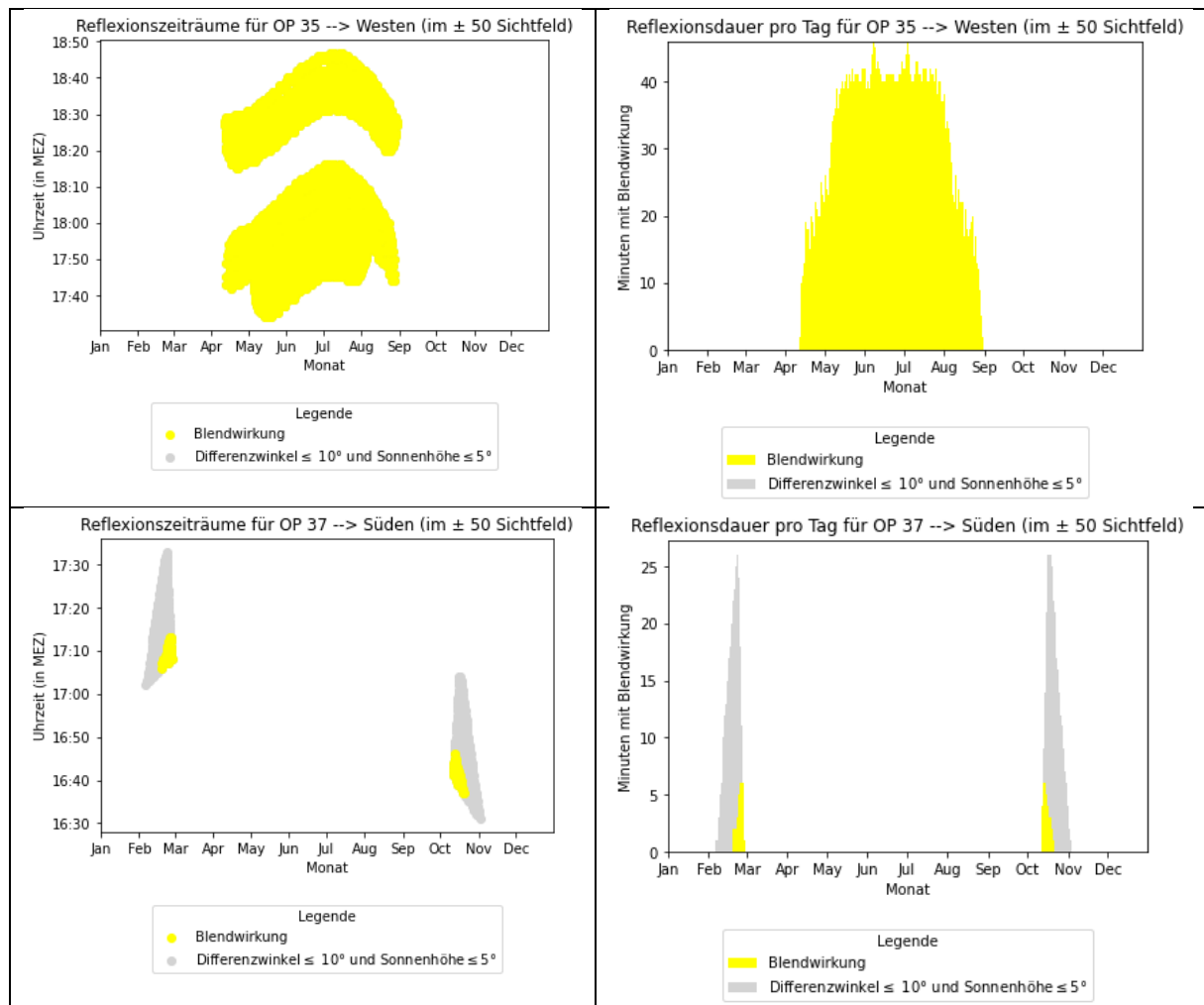


Fortsetzung auf der folgenden Seite.









7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld (100 m Radius) der Photovoltaikanlage befindet sich ein Wohngebäude. Die Simulation hat jedoch ergeben, dass die LAI-Grenzwerte dort eingehalten werden. Somit sind im Sinne des LAI-Leitfadens keine erheblichen Blendwirkungen an oder in schutzwürdigen Räumen zu erwarten.

7.2 Straßen

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden als relevante Verkehrswege die Bundesautobahn A 7 samt Auf- und Abfahrten, die Landesstraße L 326, der Waldweg sowie die Straße Im Rösch identifiziert.

7.2.1 Bundesautobahn A 7

Auf der A7 können Reflexionen nur von PV-Fläche 1 auf die Fahrbahn treffen, da die Topografie (bzw. ein Erdhügel neben PV-Fläche 2) oder dichte Waldbestände (neben PV-Fläche 3) den Blick der Fahrzeugführer auf die PV-Flächen 2 und 3 unterbinden. PV-Fläche 1 kann bei bestimmten Sonnenständen Reflexionen auf die Autobahn verursachen, die jedoch nicht in das zentrale und erweiterte Sichtfeld der Fahrzeugführer gelangen. Erhebliche Blendwirkungen können somit ausgeschlossen werden, da ein Sichtfeld von $\pm 50^\circ$ stets blendfrei bleibt.

7.2.2 Auf- und Abfahrt der A 7

Auf den Auf- und Abfahrten können auf verschiedenen Abschnitten geometrisch betrachtet Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld der Fahrzeugführer (definiert als ein Sichtfeld von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung) auftreten.

Auf dem Abschnitt bei OP S15 in Richtung Nordosten können störende Reflexionen von PV-Fläche 1 auftreten. Dabei treten Blendwirkungen geringfügig innerhalb des zentralen Sichtfelds auf, das auf $\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung definiert ist. In diesem Abschnitt bleibt ein Sichtfeld von etwa $\pm 26^\circ$ blendfrei. Zudem ist lediglich ein Abschnitt von etwa 60 bis 70 m betroffen. Da es sich dabei zusätzlich nur um eine Ausfahrt handelt, wird die Situation als noch vertretbar eingestuft. Sollte der Anspruch bestehen, alle Blendwirkungen im zentralen Sichtfeld vollständig zu unterbinden, kann dies durch einen Sichtschutz im Nordwesten von PV-Fläche 1 über eine Länge von etwa 100 m erreicht werden. Der Sichtschutz sollte etwa 3 m hoch sein, um der Augenhöhe von LKW-Fahrern gerecht zu werden. Wird der Sichtschutz durch einen Anlagenzaun mit Sichtschutzelementen realisiert, können die unteren 80 cm des Zauns zur Reduzierung der Windlast offen bleiben.

Bei OP S17 können in Fahrtrichtung Westen/Nordwesten theoretisch (bzw. geometrisch betrachtet) Reflexionen von PV-Fläche 3 im zentralen Sichtfeld blenden. Zwischen dem betroffenen Bereich und PV-Fläche 3 existieren jedoch augenscheinlich ältere und hochgewachsene Bäume sowie ein Erdwall, welcher die Sicht auf die PV-Fläche 3 verdeckt. Die Situation kann daher als unbedenklich eingestuft werden.

Bei OP S21 können Fahrzeugführer in Fahrtrichtung Westen/Nordwesten theoretisch stark im zentralen Sichtfeld geblendet werden, da sich der Straßenabschnitt hier auf einer erhöhten Position befindet (in Relation zu PV-Fläche 3, die hier stark blenden könnte). Es ist jedoch dichte Vegetation entlang der Auffahrt vorhanden, die die Sicht auf PV-Fläche 3 unterbindet. Üblicherweise wäre hier ein weiterer Sichtschutz entlang von PV-Fläche 3 zu empfehlen, da der schützende Vegetationsstreifen recht schmal ausfällt. Da sich die Auf- bzw. Abfahrt hier jedoch deutlich über dem Geländeniveau von PV-Fläche 3 befindet (tendenziell 7 m höher), wäre ein Sichtschutz auf dem Projektgelände nicht realisierbar. Nur Anpassungen am Layout, wie z. B. eine Drehung der Modultische in der nördlichen Hälfte von PV-Fläche 3 nach

Südwesten, sodass diese abgewandt von der Auf- bzw. Abfahrt stünden, könnten hier einen Blendschutz bieten, falls die Vegetation entfernt würde. Aufnahmen zeigen jedoch, dass das Straßenbegleitgrün hier bereits relativ dicht steht und hochgewachsen ist, was eine Entfernung in Zukunft nicht wahrscheinlich erscheinen lässt. Es ist jedoch zu empfehlen, hier Rücksprache mit dem Fernstraßen-Bundesamt zu halten, inwiefern ein Weiterbestand der Vegetation als wahrscheinlich eingestuft werden kann.

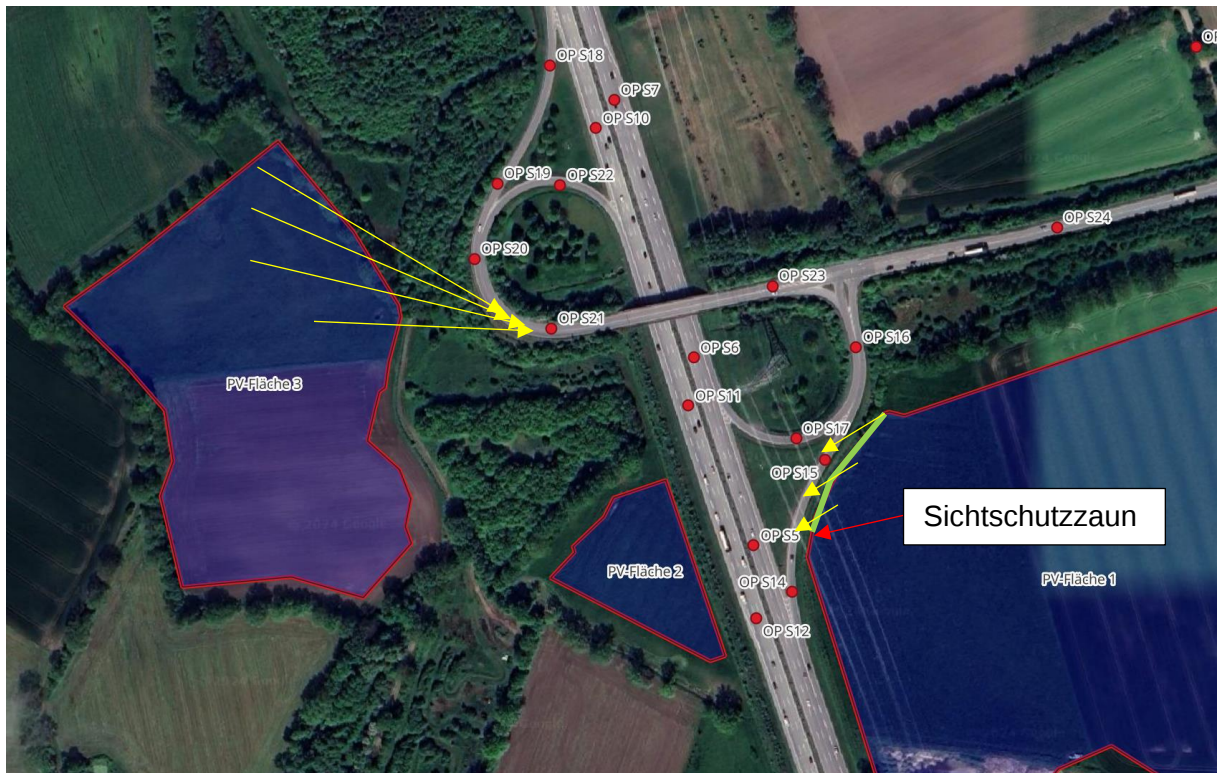


Abbildung 15: Möglicher Sichtschutzzaun entlang von PV-Fläche 1 (inkl. Skizze störender Reflexionen bei OP S15 und S21) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

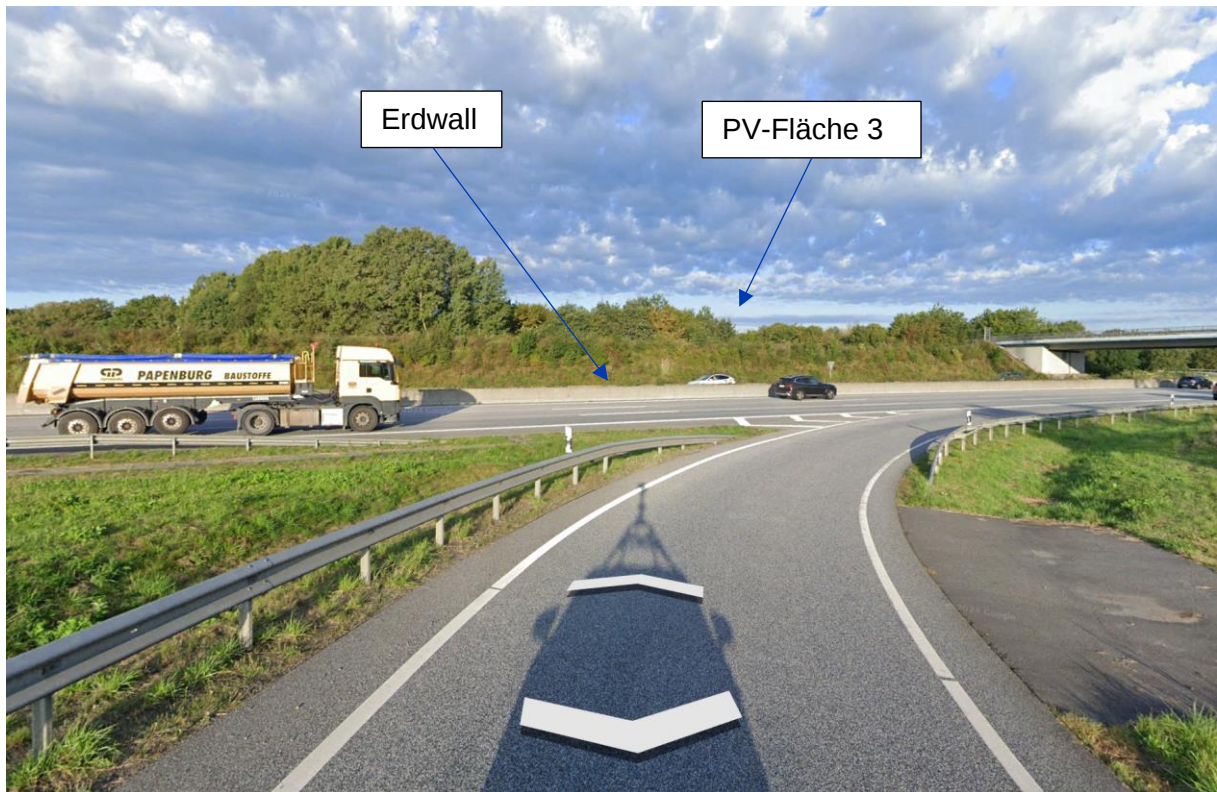


Abbildung 16: Aufnahme von OP S17 Richtung Westen - Quelle: Google Earth Pro

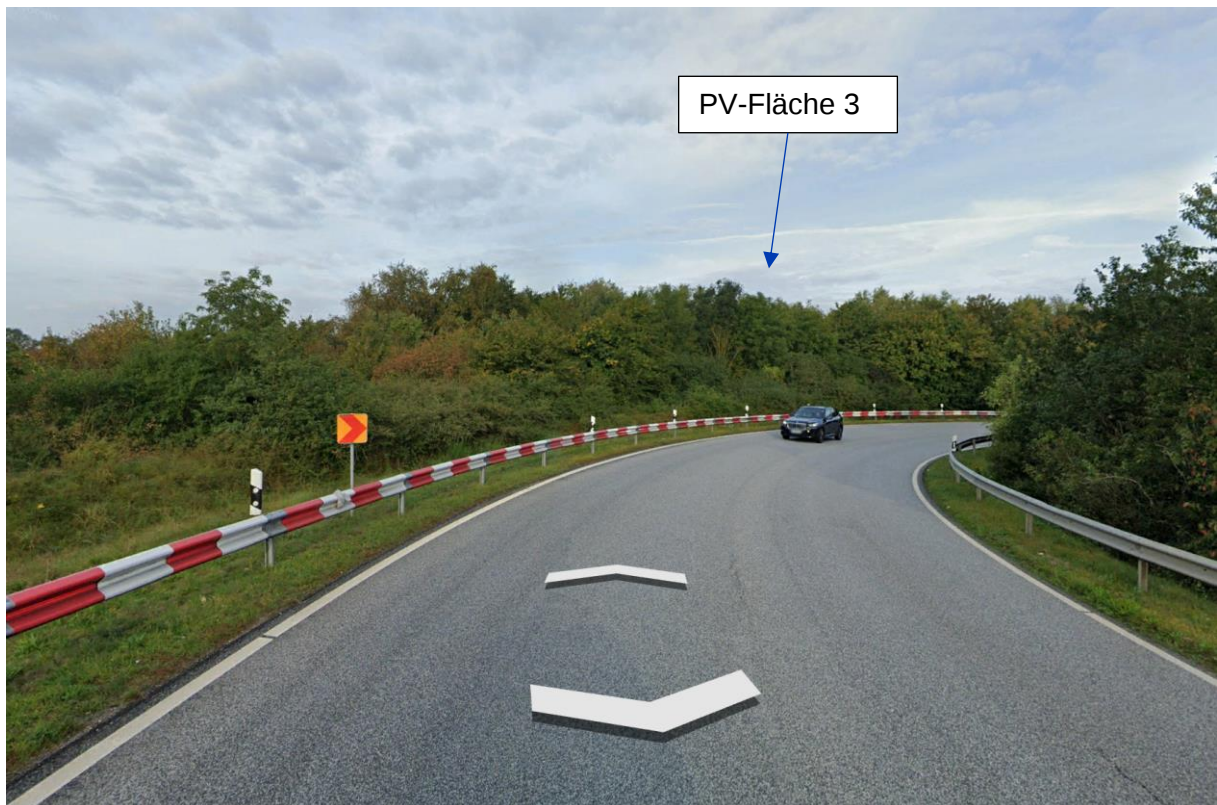


Abbildung 17: Aufnahme von OP S 21 Richtung Westen – Quelle: Google Earth Pro

7.2.3 Landesstraße L 326

Auf der L 326 können Reflexionen nur von PV-Fläche 3 auf die Fahrbahn treffen (geometrisch betrachtet). Bei der Simulation wurden jedoch die Vegetation und mögliche Hindernisse, wie in diesem Fall die L 326 selbst, nicht berücksichtigt. Tatsächlich befindet sich die relevante

PV-Fläche deutlich tiefer westlich der L 326 bzw. der anschließenden Autobahnauf- und abfahrt. Die Straße selbst und ein dahinter liegender Vegetationsbereich unterbrechen das Sichtfeld auf die PV-Anlage.

7.2.4 Im Rösch

Die Straße Im Rösch wird im Folgenden in einen westlichen und einen östlichen Abschnitt unterteilt. Die Grenze bildet die Brücke über die A7.

Auf dem westlichen Abschnitt der Straße (geprüfter Bereich, siehe Positionen der OP) können Reflexionen nur von den PV-Flächen 1 und 2 auf die Fahrbahn treffen (geometrisch betrachtet). PV-Fläche 2 liegt so weit nördlich, dass dadurch kritische Blendwirkungen bereits ausgeschlossen werden können (die PV-Fläche liegt nicht im zentralen Sichtfeld). Zwischen dem Bereich, wo PV-Fläche 1 im zentralen Sichtfeld, geometrisch betrachtet, blenden könnte (OP S27), und PV-Fläche 1 befinden sich diverse Hindernisse wie Vegetationsbereiche, Gebäude etc., sodass eine Sicht auf die PV-Fläche 1 vollständig unterbunden wird. Somit können im westlichen Bereich von Im Rösch aufgrund der Hindernisse zwischen der Straße und den PV-Flächen Blendwirkungen ausgeschlossen werden (zumindest im Ist-Zustand der Umgebung).

Auf dem östlichen Abschnitt der Straße können Reflexionen nur von PV-Fläche 1 auf die Fahrbahn treffen, was geometrisch betrachtet zu störenden Blendwirkungen in Fahrtrichtung Westen führen kann. Es befinden sich im Ist-Zustand jedoch diverse Vegetationszüge zwischen der Straße und PV-Fläche 1. Die Vegetationsbereiche stellen jedoch teilweise nur schmaleres Straßenbegleitgrün dar. Um langfristig störende Blendwirkungen ausschließen zu können, empfiehlt es sich, im Südosten der PV-Fläche 1 ggf. einen Vegetationsstreifen auf dem Projektgelände anzulegen. Im Fall, dass die schmaleren Vegetationsstreifen auf Stock gesetzt werden, bestünde dann ein zusätzlicher Sichtschutz auf dem Projektgelände. Die Eingrünung sollte mittelfristig die Höhe der Moduloberkante erreichen, um einen adäquaten Schutz zu bieten.

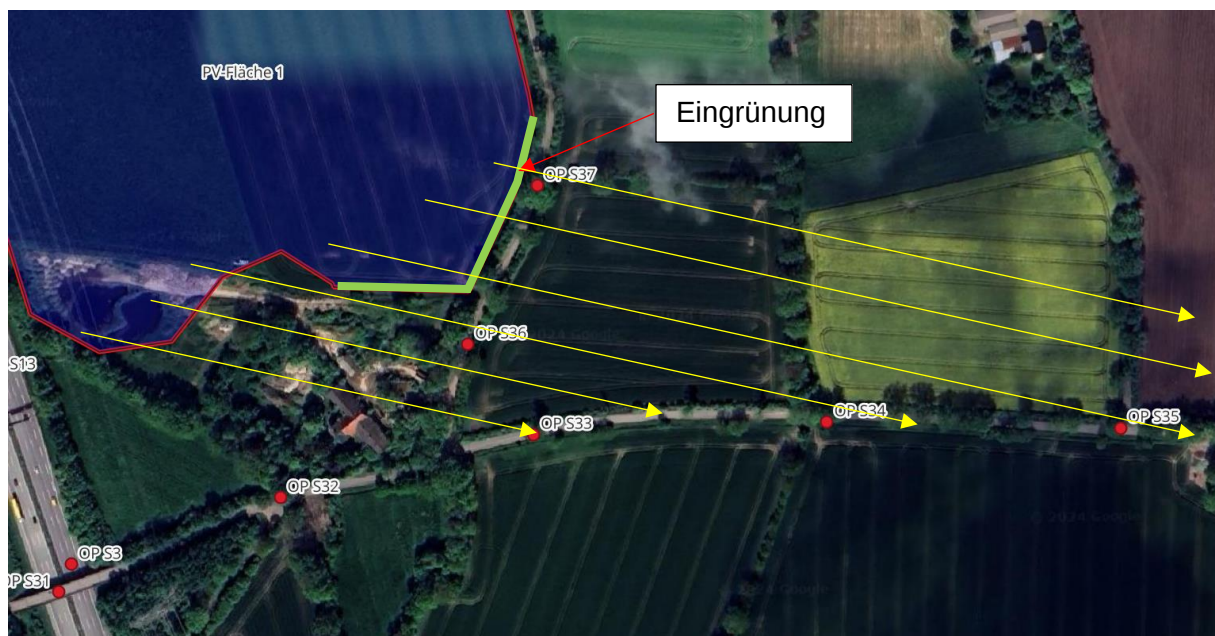


Abbildung 18: Empfohlene Eingrünung entlang von PV-Fläche 1 (inkl. Skizze störender Reflexionen auf „Im Rösch“) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

7.2.5 Waldweg

Auf dem Waldweg sind keine erheblichen Blendwirkungen zu erwarten, da das zentrale Sichtfeld ($\pm 30^\circ$) der Fahrzeugführer stets blendfrei bleibt. Daher werden keine Maßnahmen als notwendig erachtet.

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