

SONNWINN GmbH

Unabhängige Experten für Photovoltaik und Stromspeicher

Blendgutachten

PV-Anlage Attenkirchen

Version 1.0

05.06.2026

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Lukas Schramm



Geprüft:

Sachverständiger für Photovoltaik
Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	05.06.2026	Lukas Schramm

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	16
6.1	Auswertungsmethodik	16
6.2	Relevante Verkehrswege	18
6.3	Observationspunkte	19
6.4	Ergebnisse	21
7	Diskussion der Ergebnisse	26
7.1	Gebäude	26
7.2	Verkehrswege	27
8	Literaturverzeichnis	31
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT	32

1 Einleitung

Die SONNWINN GmbH, unabhängiges Experten-Büro für Photovoltaik und Stromspeicher, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	Sunfarming Projekt GmbH
Projektname	[1244] Attenkirchen
Adresse PVA	85395 Attenkirchen
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
 - Kreisstraße FS 16
 - Kreisstraße FS 23

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)	Bayerische Vermessungsverwaltung – geodaten.bayern.de, cc-by/4.0

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 auf Basis des Eckpunktepapiers des Fernstraßenbundesamtes (siehe Kapitel 6)

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA besteht aus 3 (drei) PV-Flächen. Die PV-Flächen 2 und 3 befinden sich nördlich der Kreisstraße FS16 sowie südlich der Kreisstraße FS23. Die PV-Fläche 1 befindet sich nördlich der Kreisstraße FS23.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	48.519661, 11.716562
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständigung	Fest aufgeständert
PV-Fläche	ca. 43,29 ha (innerhalb Einfriedung)
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd
Modulneigung	15°
Höhe Modulunterkante	2,1 m (es wird angenommen, dass die Tische entsprechend der Modulunterkante an die Topografie angepasst werden, sodass die Moduloberkanten variabel und entsprechend ggf. höher ausfallen)
Höhe Moduloberkante	ca. 3,8 m (bei flachem Terrain)

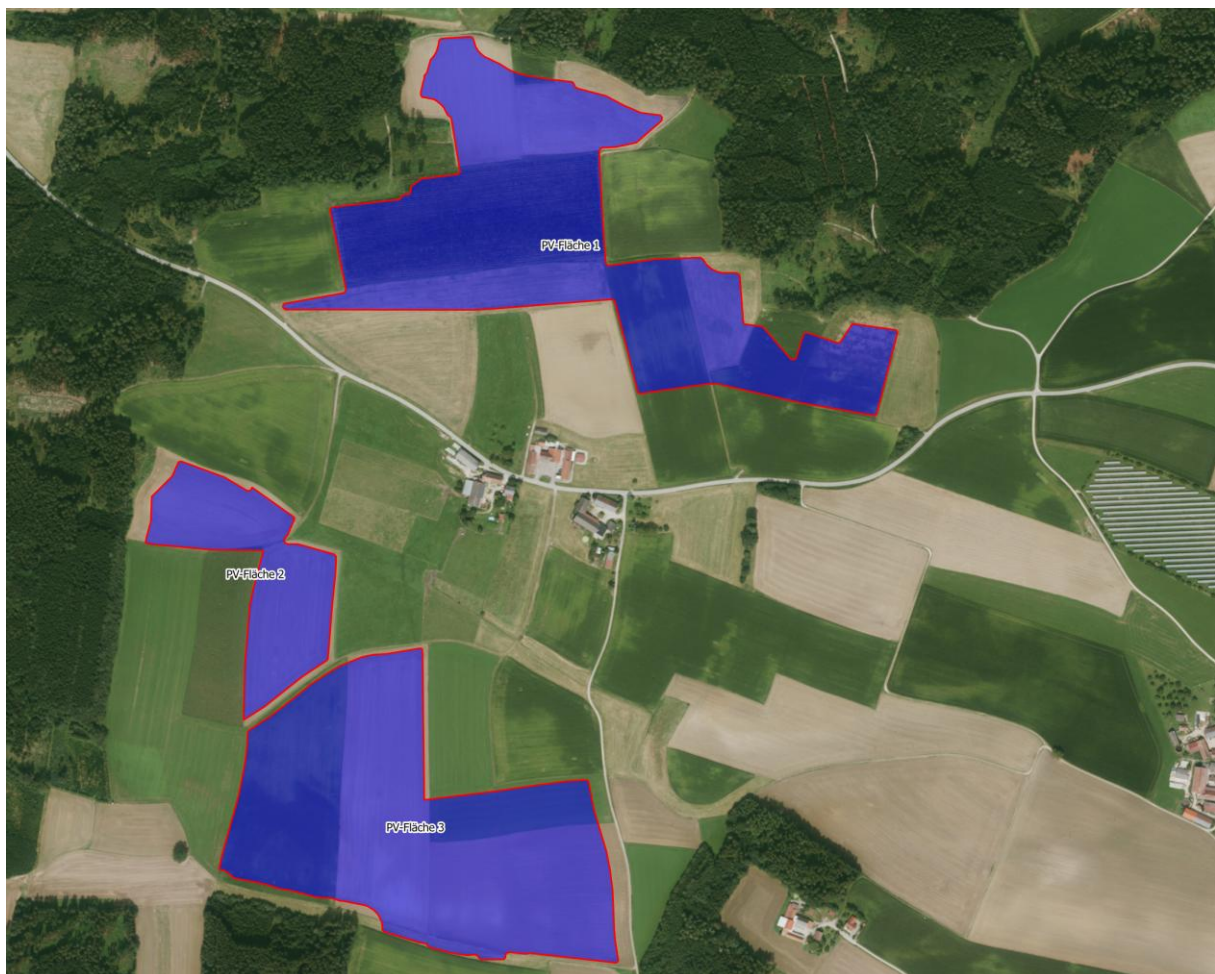
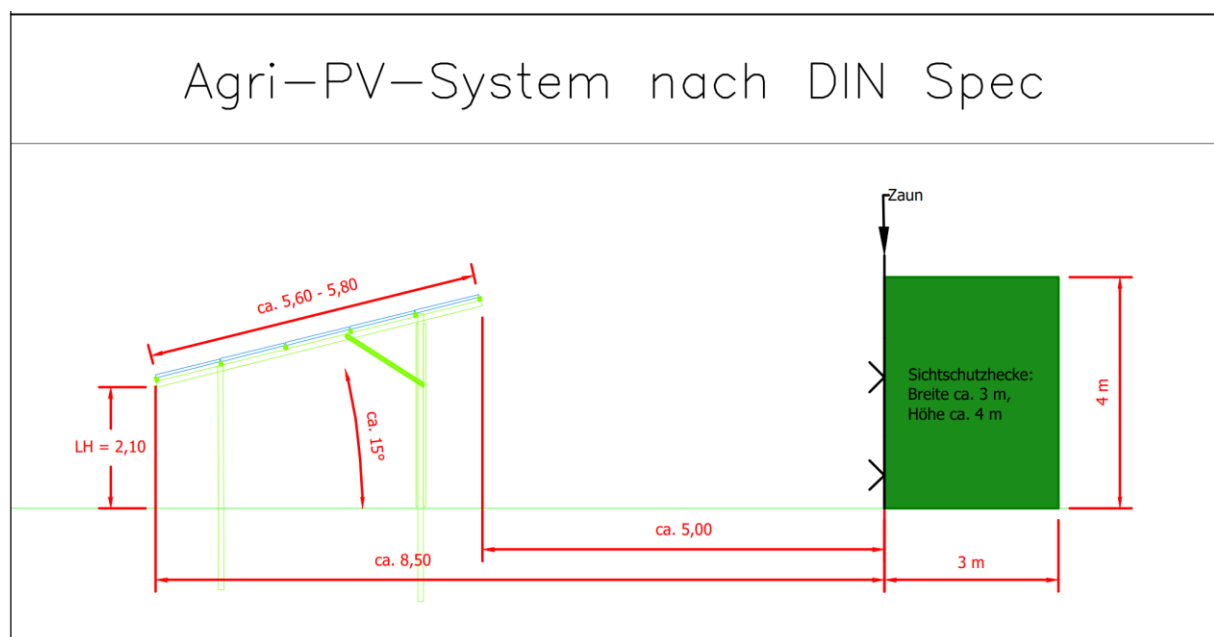
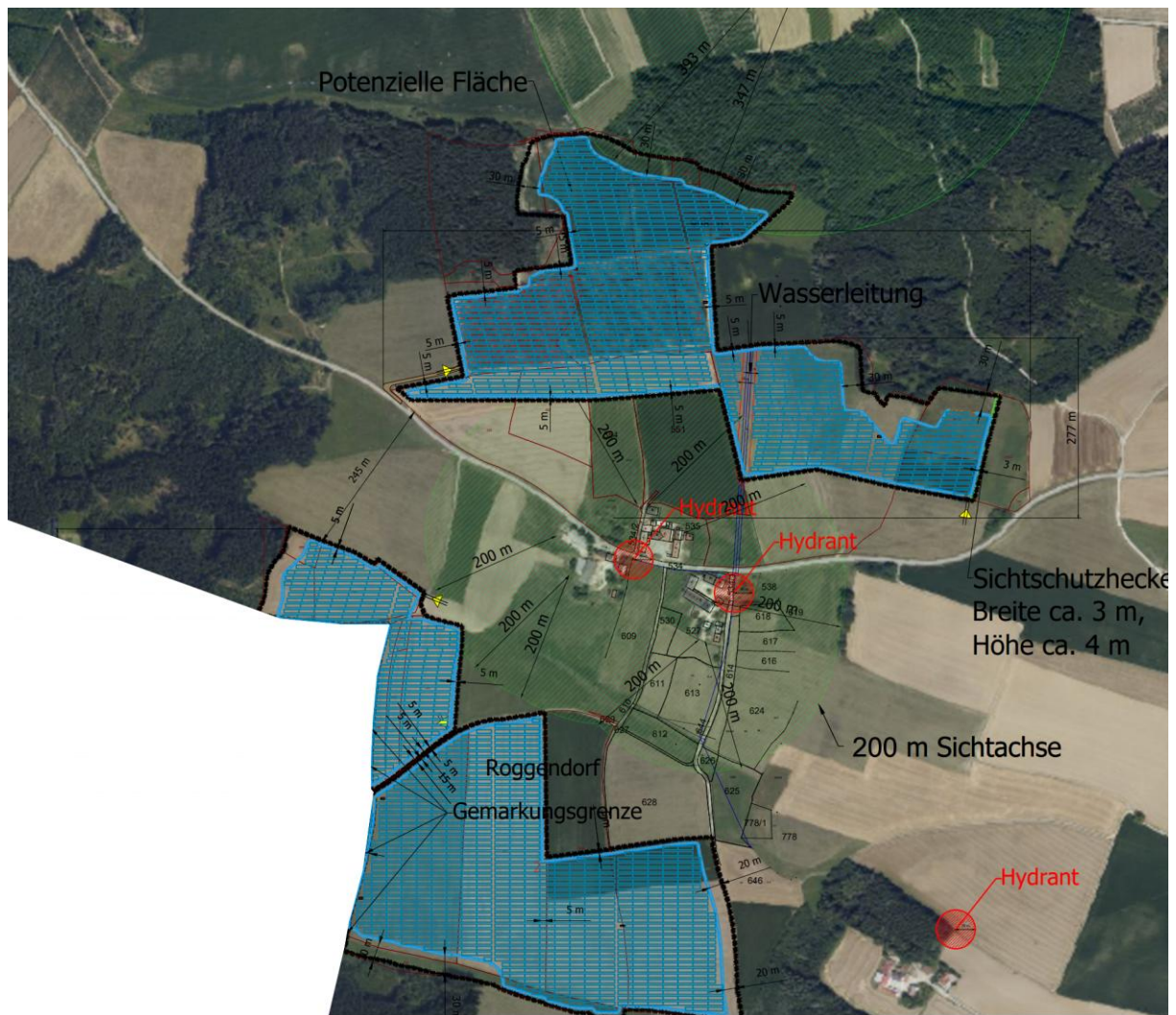


Abbildung 1: Grundriss der PV-Flächen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten Umfeld (100-m-Radius) der Photovoltaikanlage befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Dennoch wurde ein erweiterter Betrachtungsraum zugrunde gelegt, da die PV-Flächen teilweise in Hanglage liegen und zwischen den Gebäuden und den PV-Flächen teilweise erhebliche Höhendifferenzen bestehen. Für alle untersuchten schutzwürdigen Räume werden die LAI-Grenzwerte überschritten. Daher sind erhebliche Blendwirkungen in bzw. an schutzwürdigen Räumen im Sinne des LAI-Leitfadens zu erwarten.

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Kreisstraßen FS 16 und FS 23 als relevante Verkehrswege identifiziert und hinsichtlich möglicher Blendwirkungen untersucht. Auf beiden Kreisstraßen können in den jeweiligen Fahrtrichtungen potenziell störende Blendwirkungen innerhalb des relevanten Sichtfeldes ($\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) auftreten.

Für Fahrzeugführer auf der Kreisstraße FS 16 können in östlicher Fahrtrichtung rein geometrisch betrachtet Blendwirkungen innerhalb des relevanten Sichtfeldes auftreten. Die Sichtlinie zur Photovoltaikanlage wird jedoch durch die Topografie unterbrochen, sodass keine relevanten Blendwirkungen zu erwarten sind.

In der Diskussion werden mögliche Maßnahmen zum Sichtschutz erörtert.

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

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

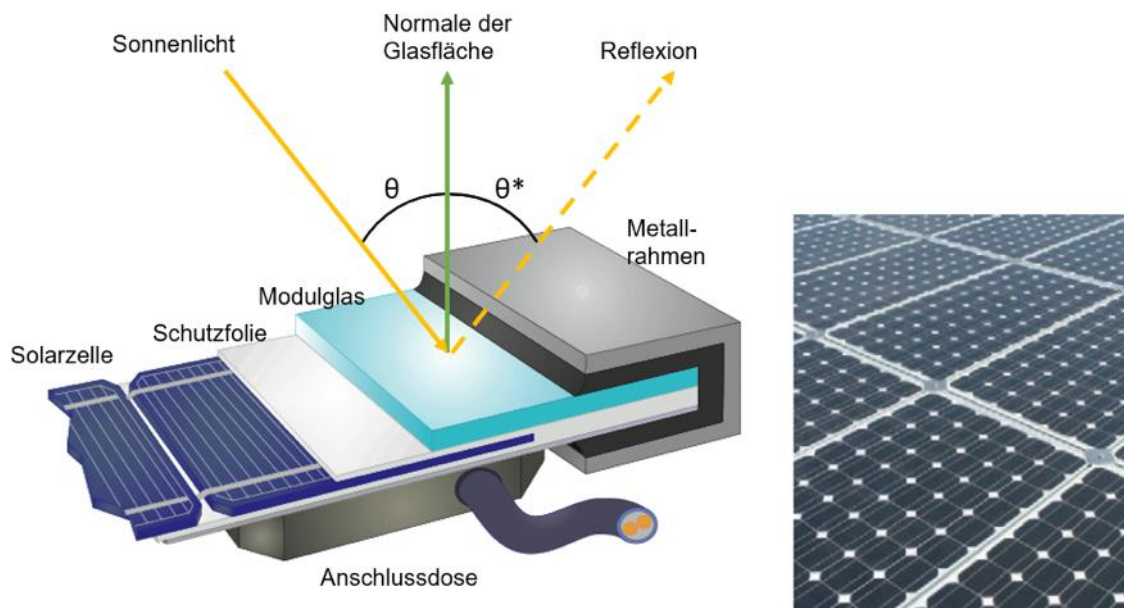


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
- Quelle: [3] (modifiziert)

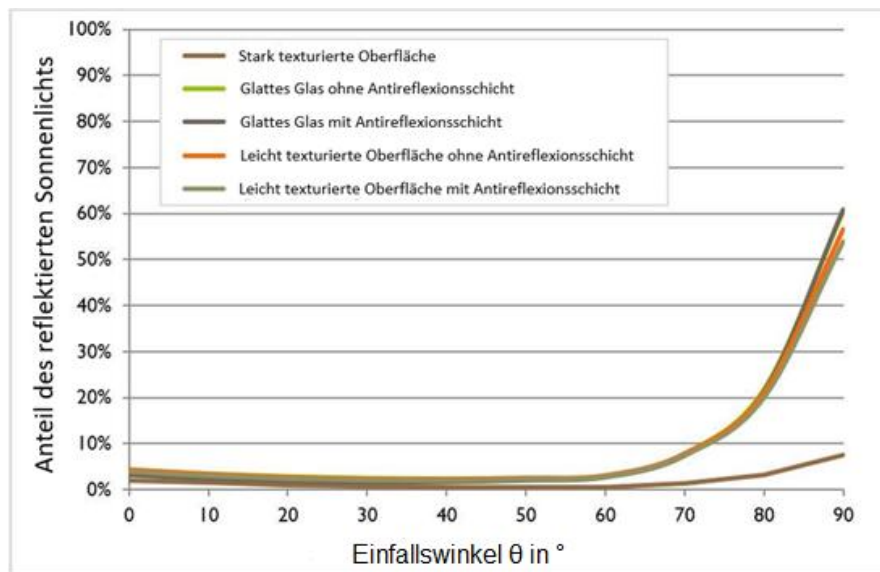


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

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



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

4.2 Berechnung von Reflexionen

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

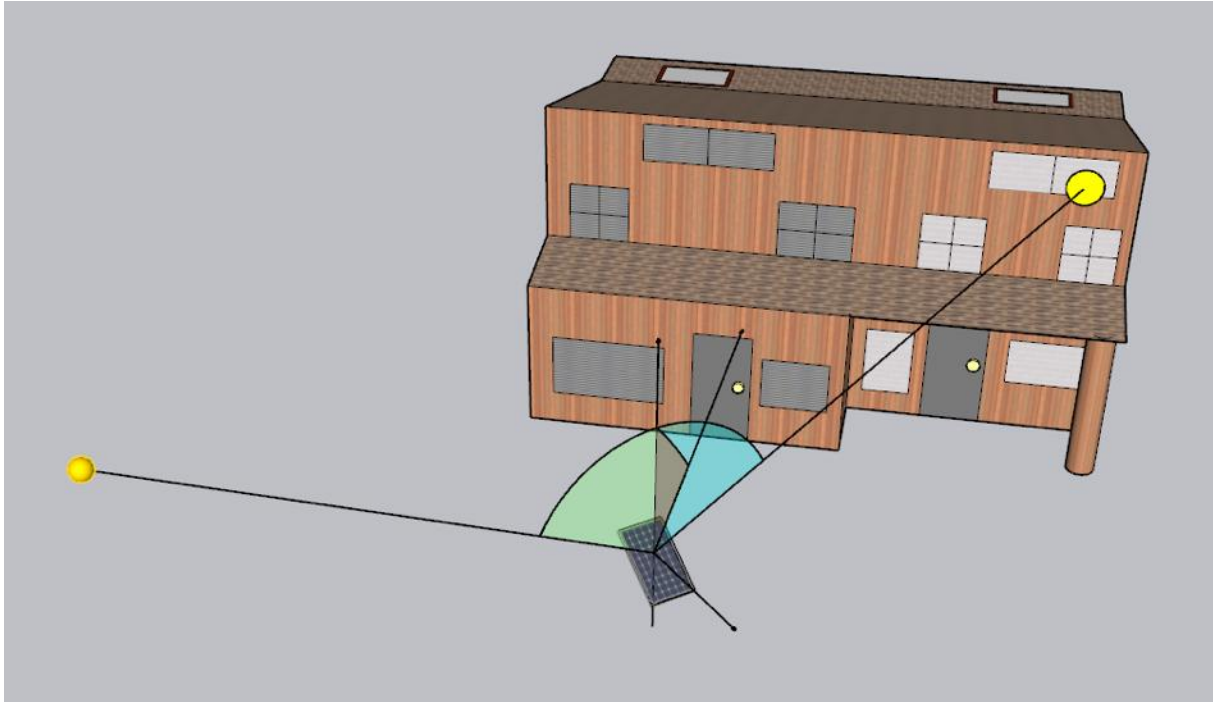


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

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

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

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

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

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

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

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

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

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

Laut dem LAI-Leitfaden soll zur Ermittlung der Blendzeiten ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell verwendet werden, bei dem die Solarmodule als ideal verspiegelte Flächen dargestellt werden. Da eine Spiegelfläche das Sonnenlicht gerichtet reflektiert, findet keine oder nur eine sehr geringe Streuung des Sonnenlichts statt. Je geringer die Streuung, desto kürzer sind die Blendzeiten. In der Simulation wird jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um trotzdem eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden durchführen zu können, werden die Blendwirkungen unterschieden: Blendungen, die ausschließlich mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden, heißen „Kernblendung“ (LAI-relevant). Alle anderen Blendwirkungen werden als „gestreute Reflexion“ bezeichnet. Sofern relevante Blendwirkungen auftreten, werden beide Arten getrennt dargestellt.

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

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

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt. In der Diskussion (Kapitel 7) werden Hindernisse jedoch ggf. berücksichtigt.

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

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

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

Es lässt sich feststellen, dass im 100-Meter-Umkreis keine schutzwürdigen Gebäude vorhanden sind.

Aufgrund der exponierten Lage der PV-Flächen in Hangbereichen wurden ergänzend die nächstgelegenen Gebäude außerhalb des regulären Untersuchungsradius von 100 m als schutzwürdige Gebäude in die Betrachtung einbezogen. Diese liegen südlich der PV-Fläche 1, nordöstlich der PV-Flächen 2 und 3 sowie östlich der PV-Fläche 3.

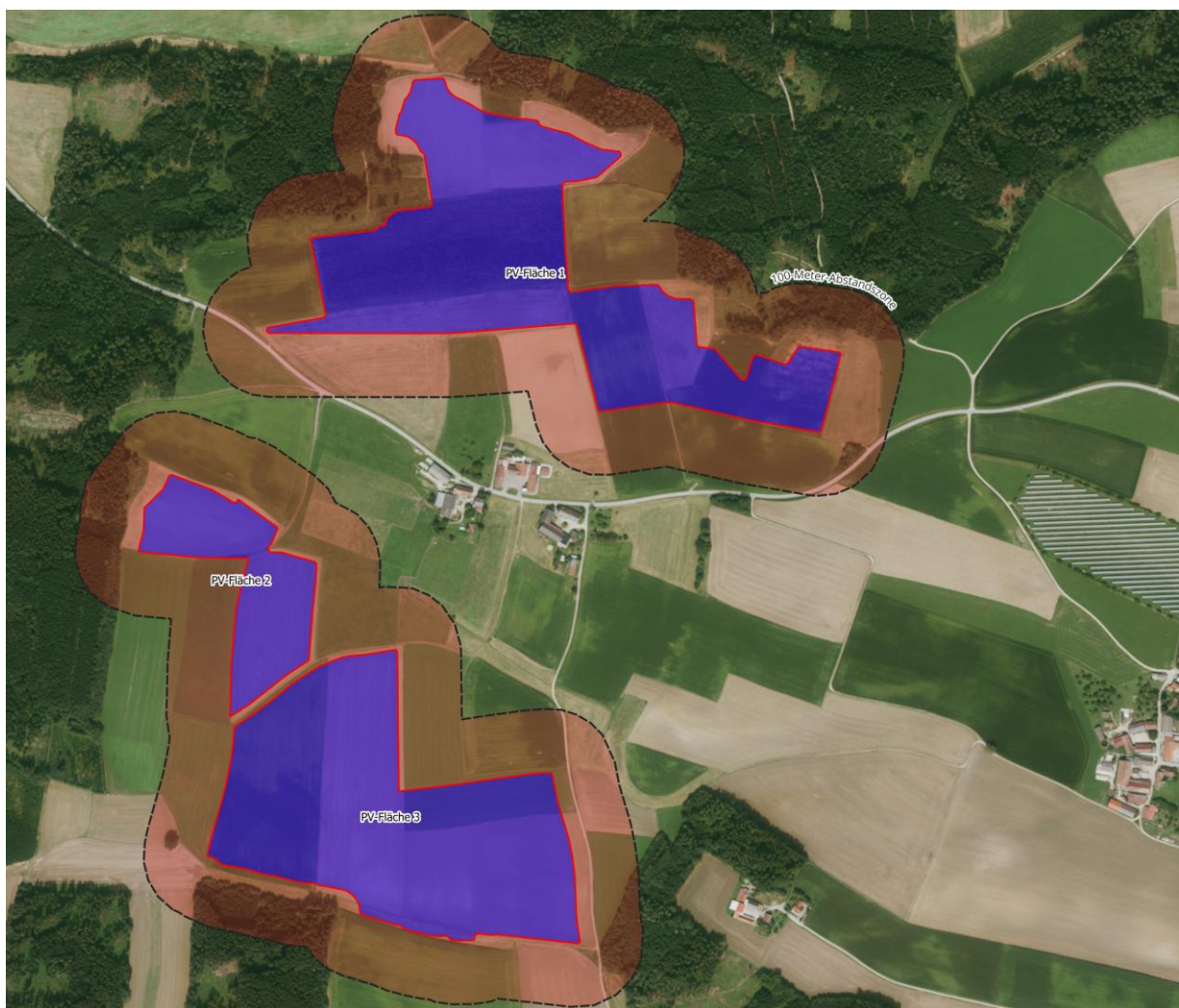


Abbildung 8: Übersicht der 100-Meter-Zone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

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 fünf OP an den schutzwürdigen Räumen definiert (OP H1 bis H5).

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. Generell sind höher gelegene Immissionsorte stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt als niedriger gelegene.

Tabelle 5: Höhen OP H

OP H	Höhe Geländeoberkante in m	Höhe über Geländeoberkante in m
1	508,7	4,6
2	500,2	4,6
3	501,2	7,6
4	503,6	7,6
5	501,4	4,6

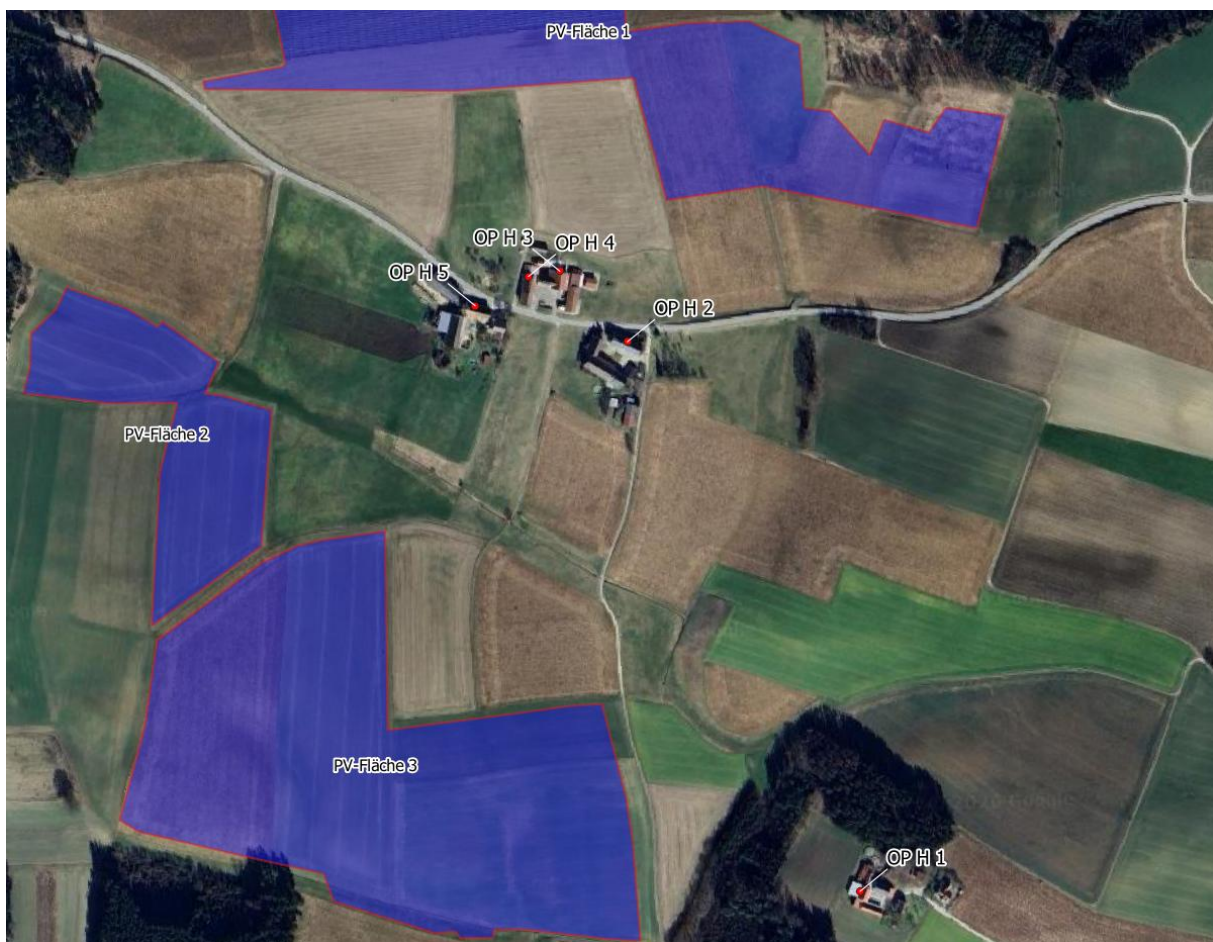


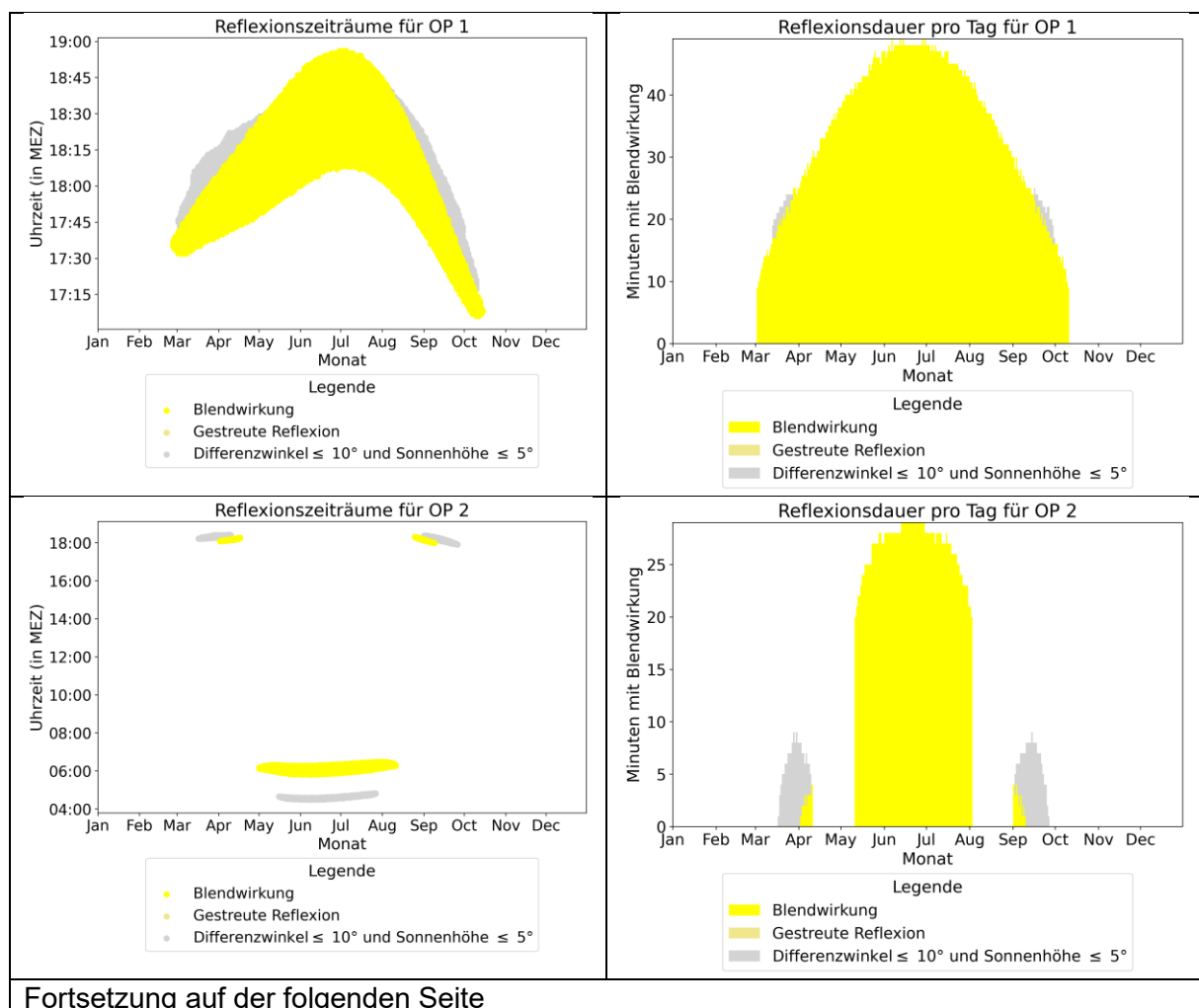
Abbildung 9: Positionen der OP H - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.4 Ergebnisse

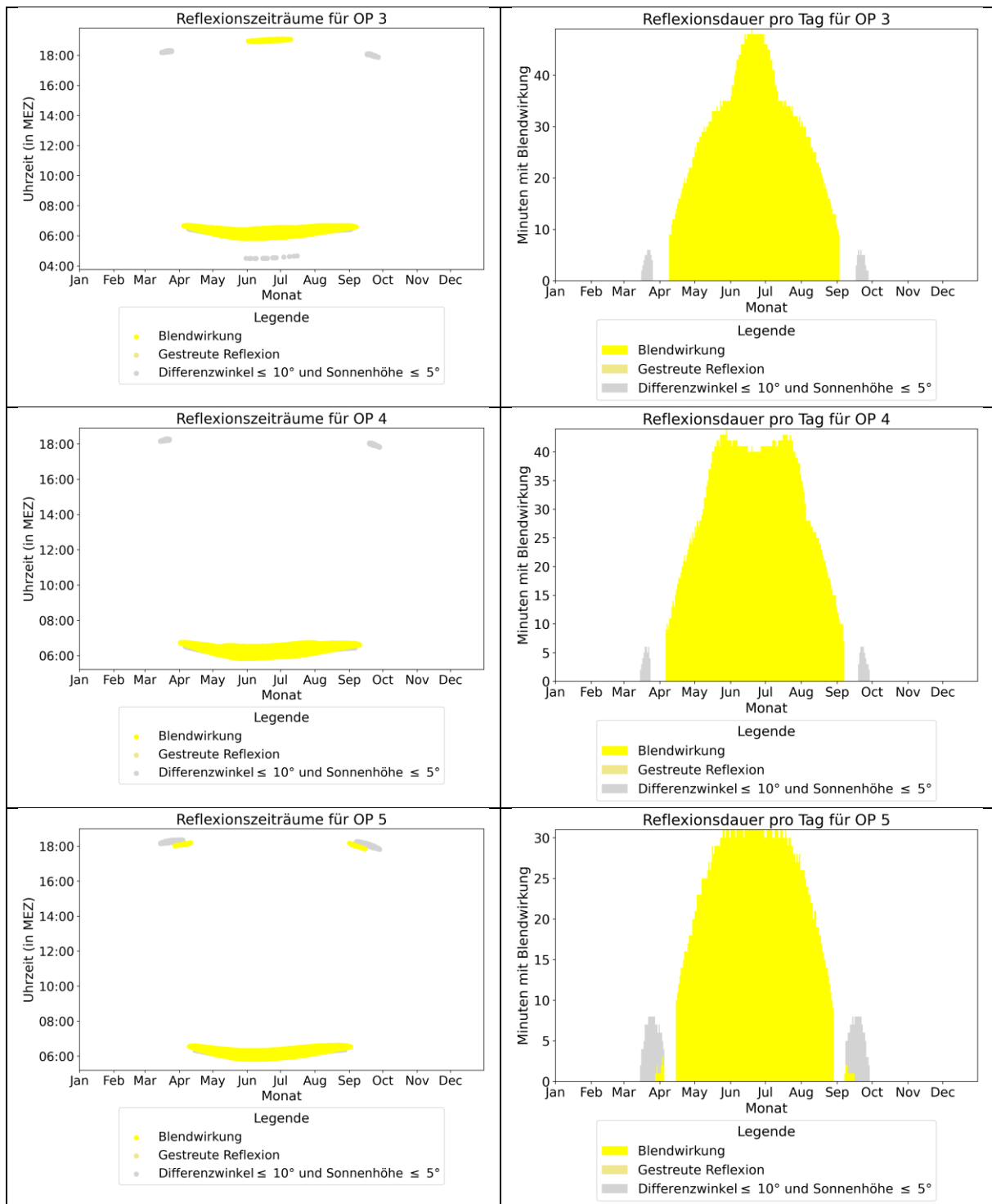
Tabelle 6: Ergebnisse an den OP H

Observationspunkt	Max. Blenddauer (Kernblendung) pro Tag in Minuten	Gesamtblenddauer pro Jahr (Kernblendung) in Minuten	Werden die LAI-Grenzwerte eingehalten (vgl. Kapitel 5.1)?
H1	49	7670	nein
H2	29	2571	nein
H3	49	3568	nein
H4	44	4909	nein
H5	31	3568	nein

Ergebnisdiagramme 1: Blendwirkungen bei den OP H



Fortsetzung auf der folgenden Seite



6 Blendwirkungen auf Verkehrswege

6.1 Auswertungsmethodik

Die im Gutachten angewendete Auswertungsmethodik zur Bewertung der Blendwirkungen auf Verkehrswegen basiert auf dem Eckpunktepapier des Fernstraßen-Bundesamtes (Stand: November 2025) [6].

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf Verkehrswege ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder von Fahrzeugführern (Kraftfahrzeug- und Lokführer) zu definieren, die sich hinsichtlich ihrer verkehrlichen Relevanz unterscheiden. Anschließend wird mittels Simulation geprüft, ob Reflexionen innerhalb dieser Sichtfelder auftreten. Dabei wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers grundsätzlich der Fahrtrichtung entspricht [7].

Relevantes Sichtfeld: In Anlehnung an [8] und [6] wird eine Erheblichkeitsgrenze von $\pm 30^\circ$ bezogen auf die jeweilige Fahrtrichtung definiert. Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes führen in der Regel zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen. Besondere Verkehrssituationen können jedoch eine Erweiterung des relevanten Sichtfeldes erforderlich machen, beispielsweise im Bereich von Beschleunigungsstreifen oder Kreuzungen, sofern dort regelmäßig von der Fahrtrichtung abweichende Blickbewegungen zu erwarten sind.

Zentrales Sichtfeld: Zudem wird ein zentrales Sichtfeld von $\pm 10^\circ$ definiert. Außerhalb dieses zentralen Sichtfeldes sind Blendquellen (reflektierende PV-Flächen) mit einer vertikalen Ausdehnung von maximal $0,3^\circ$ pauschal als unkritisch zu bewerten.

Für die Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr ist es i. d. R. ausreichend, ausschließlich LKW-Fahrer zu betrachten, da diese im Vergleich zu PKW-Fahrern eine höhere Augenposition über dem Straßenniveau einnehmen. Höher gelegene Immissionsorte sind grundsätzlich stärkeren beziehungsweise zentraler (bezogen auf das Sichtfeld) einsetzenden Blendwirkungen ausgesetzt. Mit der Betrachtung von LKW-Fahrern wird somit eine konservative Worst-Case-Annahme zugrunde gelegt.

Im Rahmen des Gutachtens wird für LKW-Fahrer eine Augenhöhe von 2,7 m über dem jeweiligen Straßenniveau angesetzt [6].

PVA-bedingte Blendwirkungen gelten selbst innerhalb des relevanten Sichtfeldes 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 [6]. Sind beide Kriterien erfüllt, wird die Blendwirkung der PVA aus nahezu gleicher Richtung von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert und kann in der Regel nicht mehr durch fahrzeugseitige Blenden oder Sonnenblenden abgeschirmt werden (Annahme). In diesem Fall stellen die PVA-bedingten Reflexionen keine zusätzliche verkehrsrelevante Beeinträchtigung dar.

Zudem werden Reflexionen mit einer Leuchtdichte von unter 30.000 cd/m^2 gemäß [6] pauschal als nicht erheblich eingestuft.

Nicht erhebliche Reflexionen: Wenn eines der folgenden Kriterien zutrifft:

- Die Reflexionen werden innerhalb des relevanten Sichtfelds von der Sonne überlagert (siehe Kriterien oben).
- Reflexionen weisen eine Intensität von unter 30.000 cd/m^2 auf.
- Die Blendquelle liegt außerhalb des zentralen Sichtfelds und weist im Sichtfeld eine vertikale Größe von $\leq 0,3^\circ$ auf.

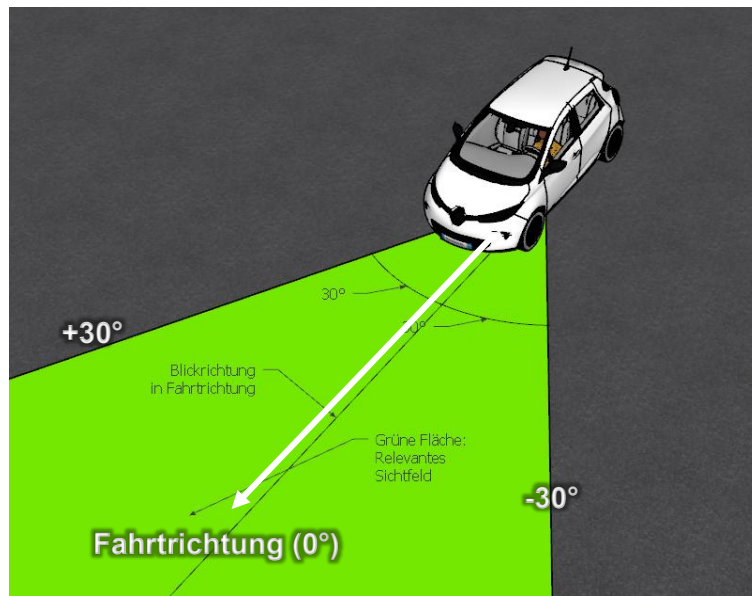


Abbildung 10: Relevantes Sichtfeld eines Fahrzeugführers
– Quelle: Eigene Abbildung

Die folgenden Abbildungen zeigen die geschätzten Augenhöhen der Verkehrsteilnehmer. Diese Angaben sind im Rahmen der Simulation relevant.

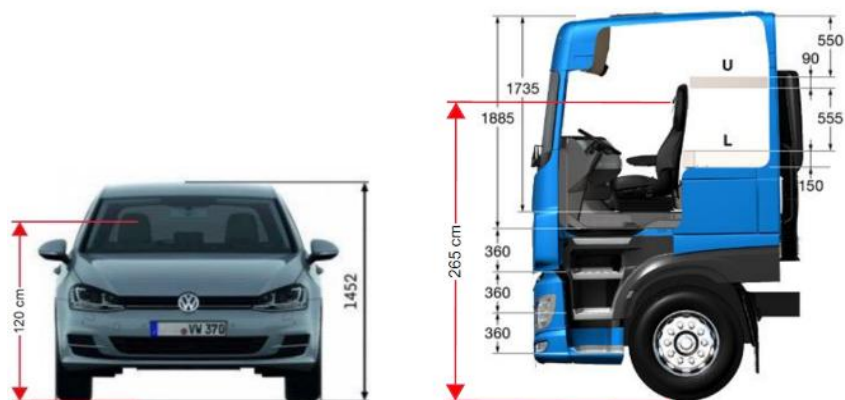


Abbildung 11: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
– Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

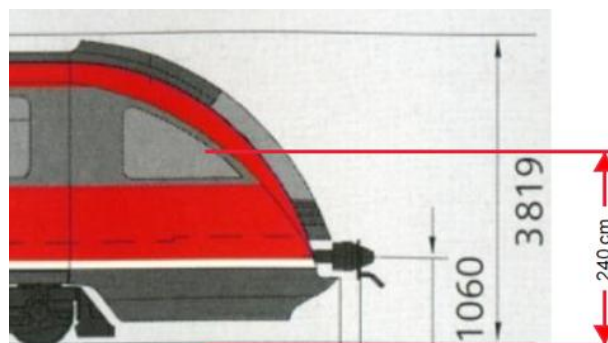


Abbildung 12: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

6.3 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 21 OP zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt:

- OP S1 bis S10 für den Straßenverkehr auf der FS 16 in beiden Fahrtrichtungen
- OP S11 bis S21 für den Straßenverkehr auf der FS 23 in beiden Fahrtrichtungen.

Die OP S1 bis S21 sind in einer Höhe von 2,7 m über dem Straßenniveau angebracht, entsprechend der angenommenen Augenhöhe eines LKW-Fahrers.

Tabelle 7: Höhen OP S

OP S	Höhe Geländeoberkante in m	Höhe über Geländeoberkante in m
1	476,6	2,7
2	486,4	
3	487	
4	483,5	
5	481,9	
6	484,6	
7	495,7	
8	507,6	
9	510	
10	513,3	
11	508,8	
12	509,2	
13	511	
14	520,1	
15	507,4	
16	496,4	
17	500,8	
18	508,7	
19	514,3	
20	491,3	
21	477,9	



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

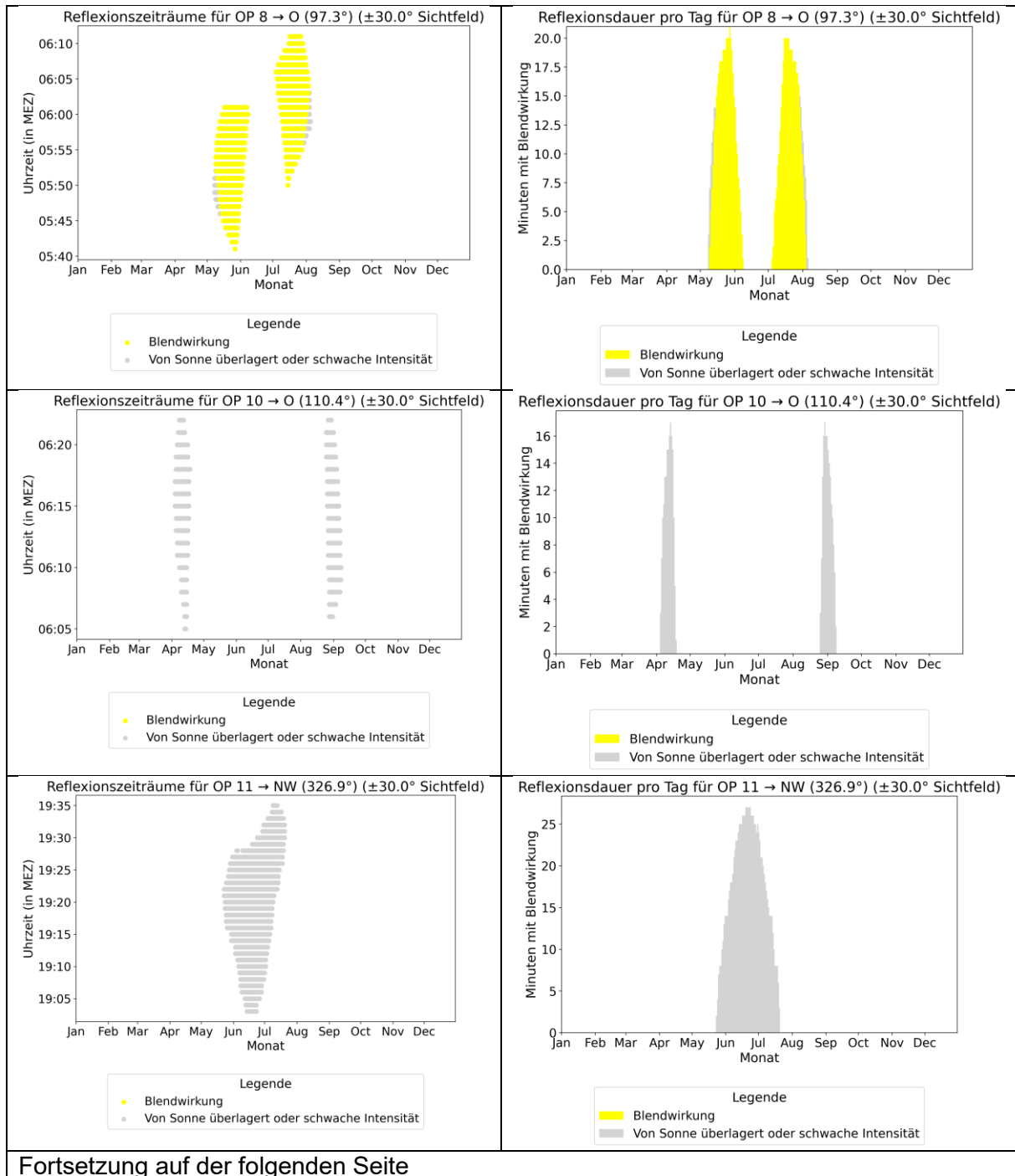
6.4 Ergebnisse

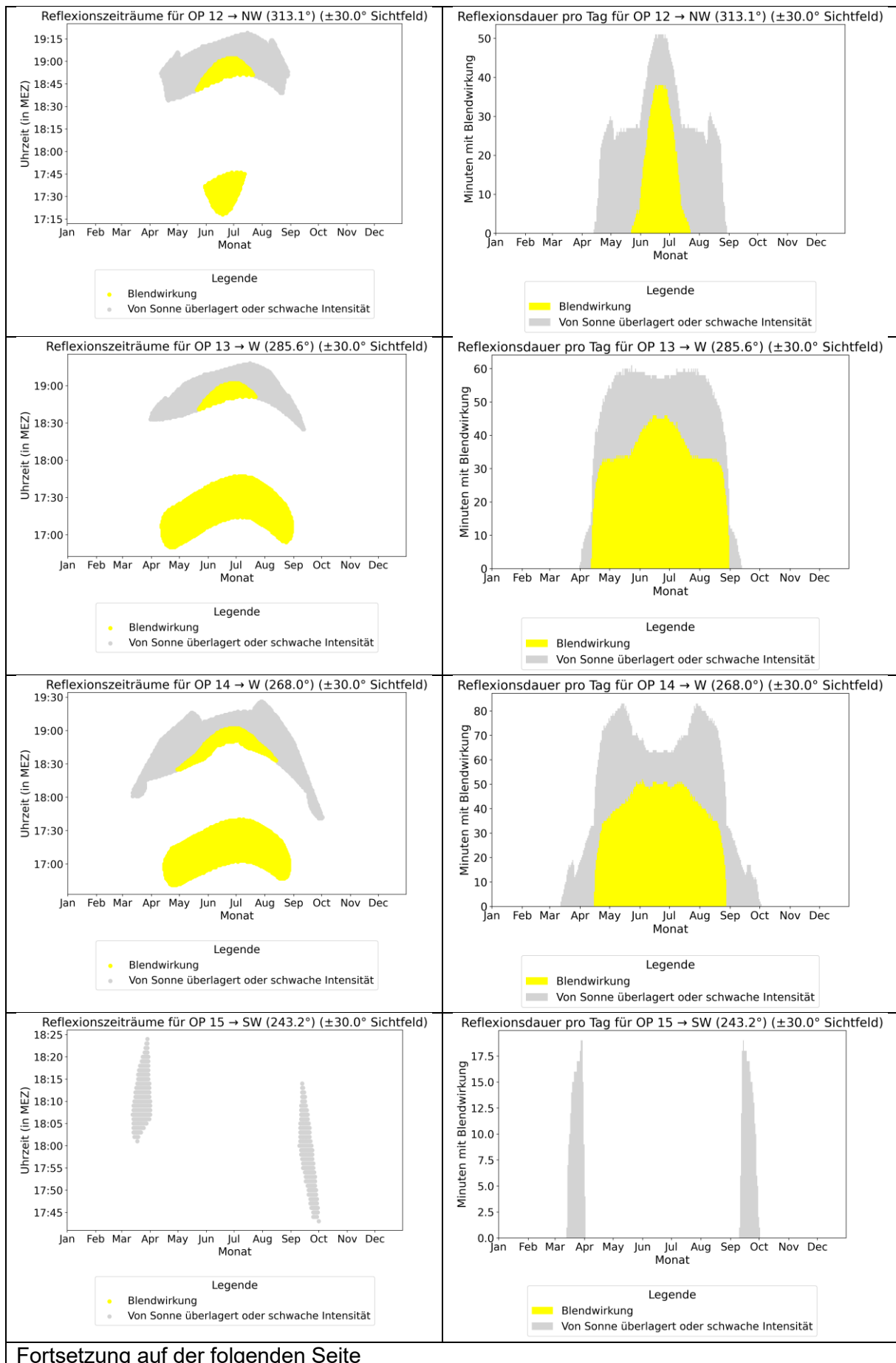
Vegetation und sonstige oberirdische Hindernisse wurden in diesem Schritt noch nicht berücksichtigt. Sofern relevant und anwendbar, werden entsprechende Gegebenheiten in Kapitel 7 einbezogen.

Tabelle 8: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte auf den Verkehrswegen

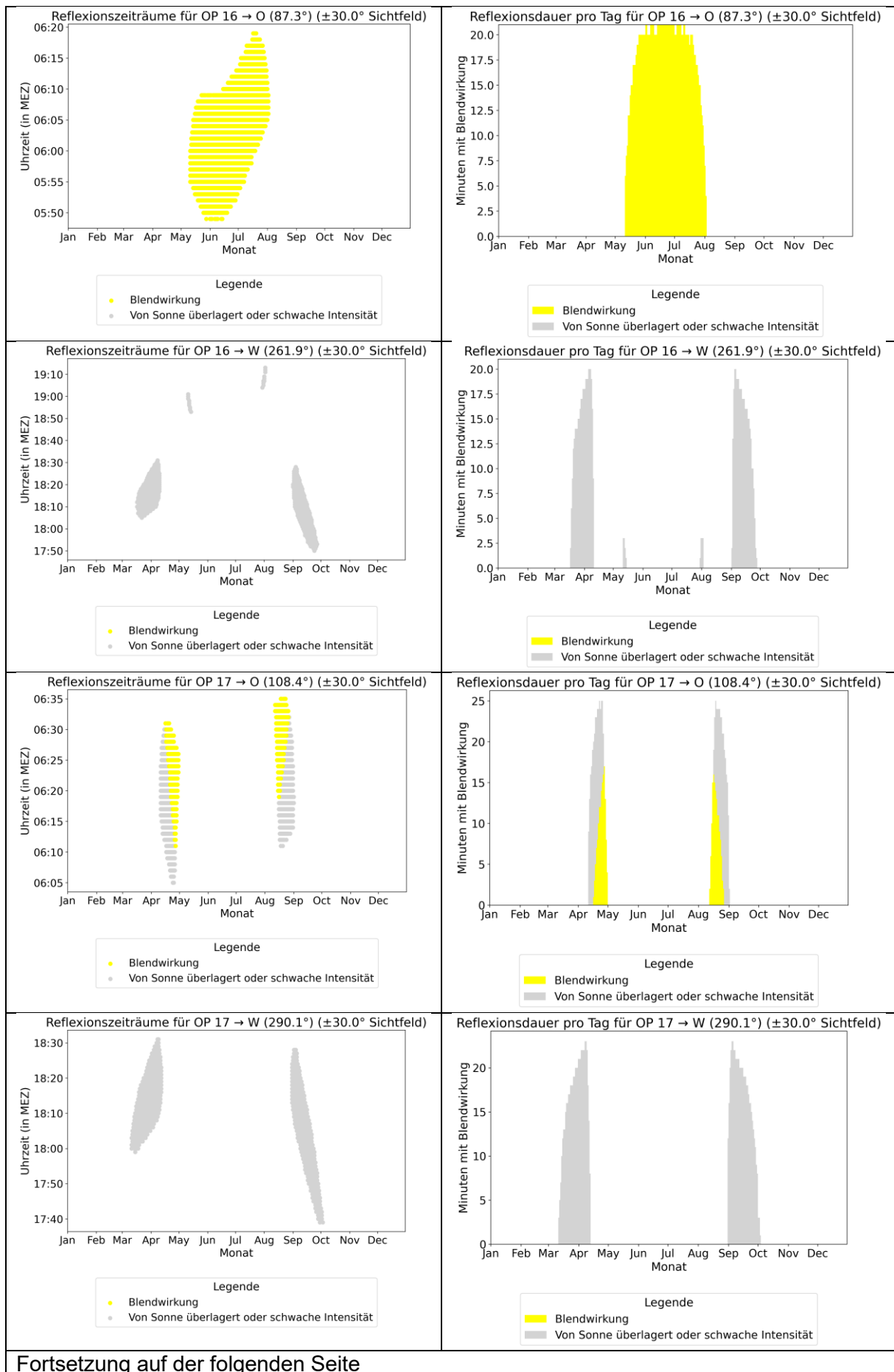
Verkehrsweg	OP	Fahrt- richtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Ausschließlich nicht erhebliche Reflexionen im relevanten Sichtfeld? (vgl. Kapitel 6.1)	Anmerkung
FS 16	S1	NO (65.1°)	127.5°	-	-
		W (248.4°)	40.0°	-	-
	S2	O (85.1°)	-	-	Keine Reflexionen
		W (267.4°)	-	-	
	S3	O (90.6°)	-	-	
		W (271.6°)	-	-	
	S4	O (86.1°)	-	-	
		W (266.0°)	-	-	
	S5	O (85.8°)	-	-	
		W (268.6°)	-	-	
	S6	O (87.1°)	-	-	
		W (267.3°)	-	-	
	S7	O (112.3°)	-	-	
		NW (293.6°)	-	-	
	S8	O (97.3°)	24.9°	nein	Sichtlinie wird von der Topografie unterbrochen
		W (279.1°)	144.6°	-	-
	S9	SO (117.3°)	36.7°	-	-
		NW (296.0°)	124.8°	-	-
	S10	O (110.4°)	25.4°	ja	-
		W (285.5°)	135.3°	-	-
FS 23	S11	SO (139.0°)	121.0°	-	-
		NW (326.9°)	28.7°	ja	-
	S12	SO (141.5°)	122.4°	-	-
		NW (313.1°)	15.3°	nein	Sichtlinie wird von der Topografie unterbrochen
	S13	O (109.0°)	149.9°	-	-
		W (285.6°)	0.0°	nein	Sichtlinie wird von der Topografie unterbrochen
	S14	O (86.9°)	149.1°	-	-
		W (268.0°)	0.0°	nein	-
	S15	NO (56.0°)	117.1°	-	-
		SW (243.2°)	17.0°	nein	-
	S16	O (87.3°)	13.7°	nein	-
		W (261.9°)	0.0°	nein	-
	S17	O (108.4°)	27.6°	ja	-
		W (290.1°)	11.7°	nein	-
	S18	SO (117.3°)	21.5°	ja	-
		NW (299.1°)	125.4°	-	-
	S19	SO (121.0°)	23.3°	ja	-
		NW (294.7°)	133.1°	-	-
	S20	SO (123.8°)	33.6°	-	-
		NW (315.6°)	111.2°	-	-
S21	SO (144.9°)	48.4°	-	-	
	NW (325.0°)	121.8°	-	-	
LEGENDE					
Erhebliche Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld					
Keine erheblichen Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld					

Ergebnisdiagramme 2: Reflexionen zu den OP auf den Verkehrswegen

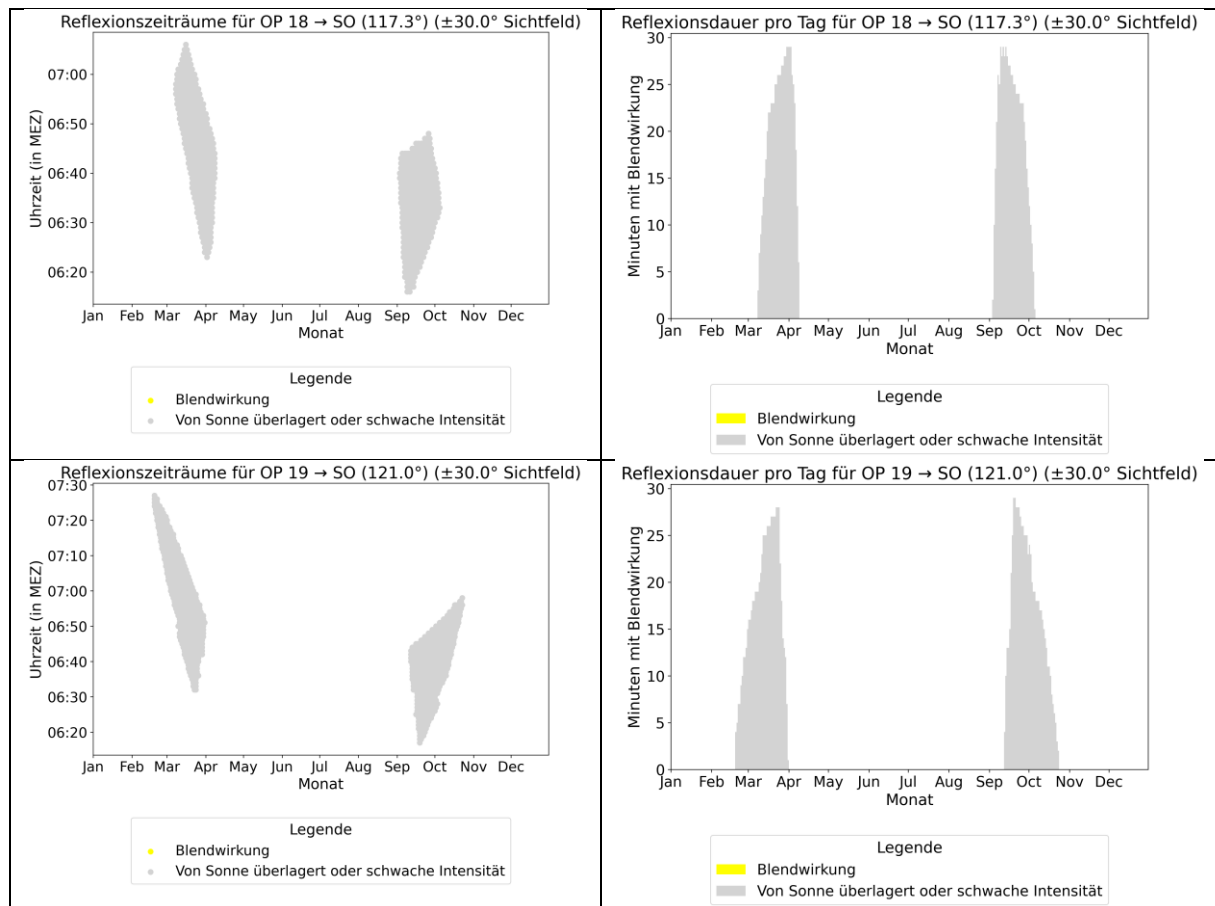




Fortsetzung auf der folgenden Seite



Fortsetzung auf der folgenden Seite



7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld (100-m-Radius) der Photovoltaikanlage befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Aufgrund der teilweisen Hanglage der PV-Flächen sowie der teilweise erheblichen Höhendifferenzen zwischen den Gebäuden und den PV-Flächen wurde dennoch ein erweiterter Betrachtungsraum zugrunde gelegt. Für alle untersuchten schutzwürdigen Räume werden die LAI-Grenzwerte überschritten. Daher sind erhebliche Blendwirkungen in bzw. an schutzwürdigen Räumen im Sinne des LAI-Leitfadens zu erwarten.

Die an den Immissionsorten OP H2 bis OP H5 zu erwartenden Blendwirkungen werden überwiegend durch den östlichen Bereich der PV-Fläche 1 verursacht. Die potenziellen Blendwirkungen am Immissionsort OP H1 sind hingegen auf die PV-Fläche 3 zurückzuführen.

Durch den Einsatz blendarmer Module im östlichen Bereich der PV-Fläche 1, wie in Kapitel 7.2.1 beschrieben, können die an den Immissionsorten OP H2 bis OP H5 prognostizierten erheblichen Blendwirkungen wirksam vermieden werden.

Zwischen der PV-Fläche 3 und den Gebäuden am Immissionsort OP H1 befindet sich ein Waldstreifen, der die Sichtlinie zur Photovoltaikanlage unterbricht und dadurch potenzielle Blendwirkungen abschirmt. Zudem ist davon auszugehen, dass lediglich die beiden östlichen Gebäude des Hofkomplexes schutzwürdige Wohnnutzungen aufweisen. Die übrigen Hofgebäude befinden sich zwischen diesen Wohngebäuden und der Photovoltaikanlage und unterbrechen die Sichtbeziehung zur Anlage daher in erheblichem Maße. Unter Berücksichtigung der genannten Hindernisse werden bei den schutzwürdigen Gebäuden bei OP H1 keine bzw. keine erheblichen Blendwirkungen erwartet.



Abbildung 15: Vegetationsstreifen zwischen PV-Fläche 3 und Immissionsort OP H1

7.2 Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden als relevante Verkehrswege die Kreisstraße FS 16 sowie die Kreisstraße FS 23 identifiziert und entsprechend auf Blendwirkungen untersucht.

7.2.1 Kreisstraße FS 23

Auf der Kreisstraße können in beiden Fahrtrichtungen potenziell störende Blendwirkungen innerhalb des relevanten Sichtfeldes ($\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) auftreten.

Im Bereich der Immissionsorte OP S12 bis OP S14 werden die Reflexionen durch den östlichen Bereich der PV-Fläche 1 verursacht. Die Sichtlinie zur Photovoltaikanlage ist auf dem Streckenabschnitt zwischen OP S12 und OP S14 jedoch durch die Topografie unterbrochen, sodass keine relevanten Blendwirkungen zu erwarten sind. Erst beim Passieren von OP S14 tritt die Photovoltaikanlage in das Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer.

Gemäß den Planungsunterlagen ist entlang der östlichen Anlagengrenze die Anlage einer Sichtschutzhecke mit einer Breite von ca. 3 m und einer Höhe von ca. 4 m vorgesehen. Aufgrund des vorhandenen Gefälles im östlichen Bereich der PV-Fläche 1 ist diese Maßnahme jedoch nicht ausreichend, um die Sichtlinien zu den für die Blendwirkungen maßgeblichen Anlagenteilen vollständig zu unterbrechen (vgl. Abb. 18).

Bei der Anfahrt auf OP S16 in östlicher Fahrtrichtung können ebenfalls potenzielle Blendwirkungen durch den östlichen Bereich der PV-Fläche 1 auftreten.

Im Bereich des Immissionsortes OP S15 sowie bei der Anfahrt auf OP S17 können in südwestlicher bis westlicher Fahrtrichtung potenzielle Blendwirkungen durch den nordwestlichen Bereich der PV-Fläche 2 verursacht werden.

Darüber hinaus können bei der Anfahrt auf OP S19 in östlicher Fahrtrichtung erhebliche Blendwirkungen auftreten, die durch den westlichen Bereich der PV-Fläche 1 hervorgerufen werden.

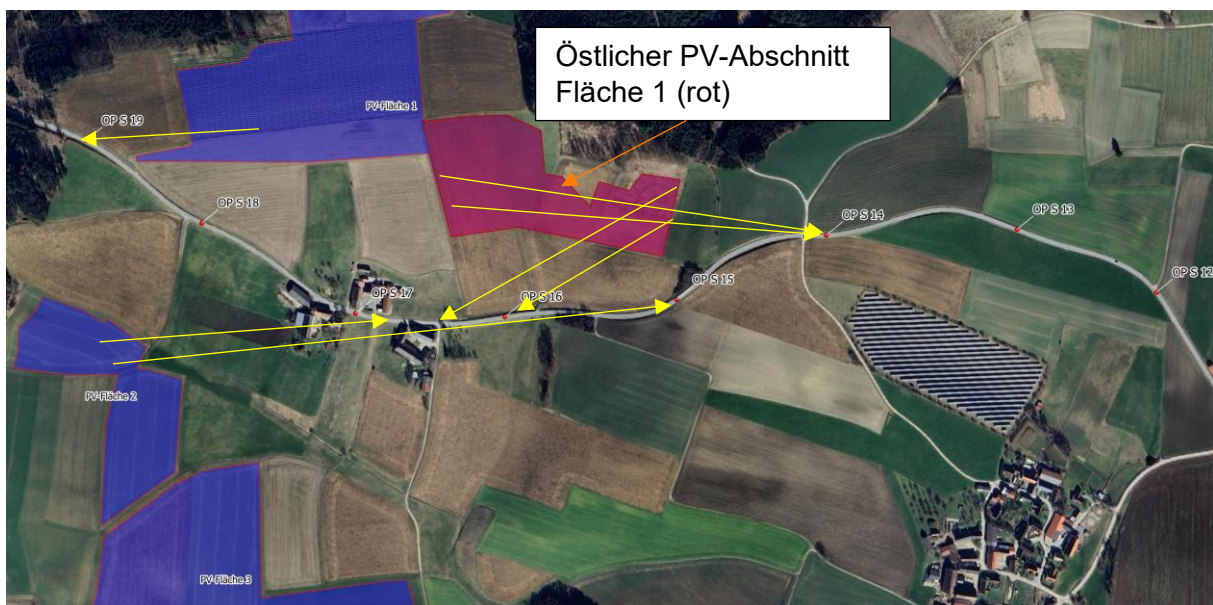


Abbildung 16: Beispielhafte Reflexionen auf den Straßenverkehr

Für die im Bereich des Immissionsortes OP S14 in westlicher Fahrtrichtung sowie ab OP S16 auftretenden potenziellen Blendwirkungen wären zur vollständigen Unterbrechung der Sichtlinien Sichtschutzmaßnahmen mit unpraktikabel großen Höhen erforderlich. Konventionelle Sichtschutzmaßnahmen sind daher in diesem Bereich nicht praktikabel umsetzbar.

Zur Vermeidung potenzieller Blendwirkungen wird daher der Einsatz blendarmer Spezialmodule auf dem gesamten östlichen Abschnitt der PV-Fläche empfohlen. Bei der Auswahl der Module ist zu beachten, dass der Begriff „blendarm“ nicht normativ geschützt ist und die entsprechenden Eigenschaften daher durch geeignete Nachweise, beispielsweise Laborergebnisse, zu belegen sind. Für die Produktauswahl wird empfohlen, sich an der Ausarbeitung von Dr. Bucher [9] zu orientieren.



Abbildung 17: Flächenabschnitt für blendarme Module

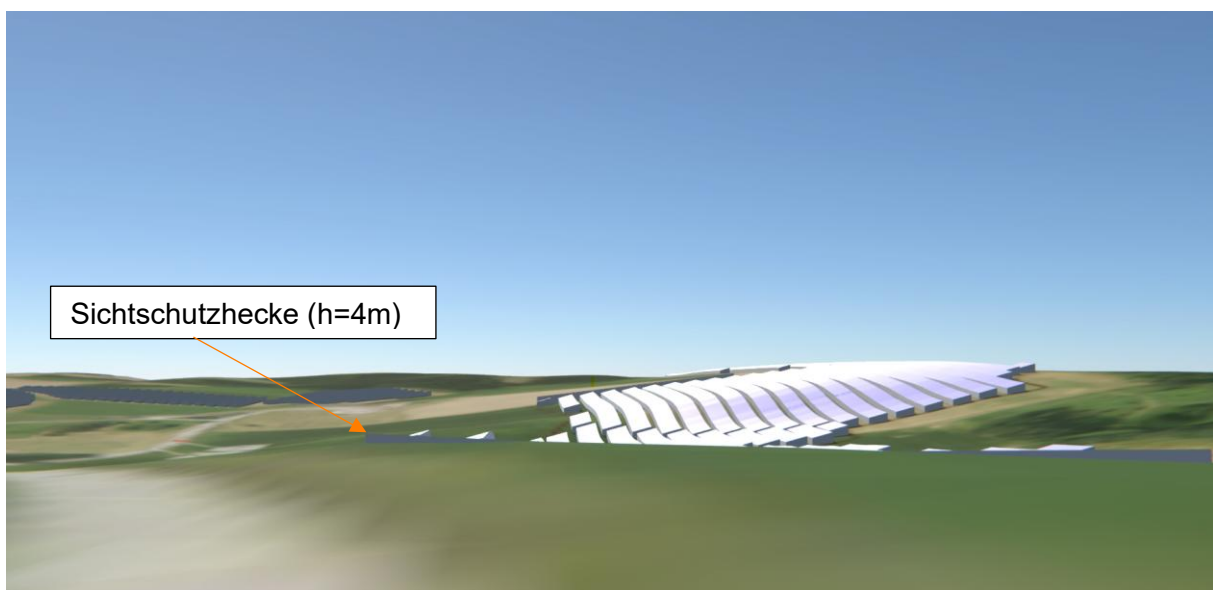


Abbildung 18: Beispielhaftes 3D-Modell aus Sicht von OP S14 bei westlicher Fahrtrichtung.

Zur Vermeidung der potenziellen Blendwirkungen auf dem Streckenabschnitt zwischen OP S15 und OP S17 wird empfohlen, die im nordwestlichen Bereich der PV-Fläche 2 vorgesehenen Modultische mit einem Azimut von 200° auszurichten. Alternativ können auch hier blendarme Module verbaut werden.



Abbildung 19: Abschnitt von PV-Fläche 2 mit empfohlener Anpassung der Modulausrichtung auf 200°

In östlicher Fahrtrichtung können bei der Anfahrt auf OP S19 potenzielle Reflexionen auftreten. Zur Unterbrechung der Sichtlinie wird die Errichtung einer Sichtschutzmaßnahme entlang der westlichen Anlagengrenze der PV-Fläche 1 empfohlen. Diese kann in Form einer blickdichten Eingrünung oder eines erhöhten, mit Sichtschutzblenden versehenen Anlagenzauns realisiert werden und sollte eine Höhe von mindestens 3 m aufweisen.

Die oberhalb der Sichtschutzmaßnahme verbleibenden sichtbaren Bereiche der Photovoltaikanlage würden lediglich einen sehr schmalen Streifen am Horizont mit einem vertikalen Blickwinkel von weniger als $0,3^\circ$ einnehmen. Die daraus resultierenden verbleibenden Reflexionen sind daher als vernachlässigbar einzustufen.



Abbildung 20: Position des Sichtschutzes entlang der westlichen Anlagengrenze von PV-Fläche 1

7.2.2 Kreisstraße FS 16

Fahrzeugführer auf der Kreisstraße FS 16 können in östlicher Fahrtrichtung, rein geometrisch betrachtet, Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld erfahren.

Die Sichtlinie auf die PVA wird jedoch durch die Topografie unterbrochen, sodass keine relevanten Blendwirkungen zu erwarten sind.

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] Fernstraßen-Bundesamt, „FBA Eckpunktepapier Photovoltaik“. November 2025. Zugriffen: 12. November 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fba.bund.de/DE/Themen/Anbaurecht_Paragraph9_FStrG/Dokumente/20251106_Eckpunktepapier_Photovoltaik.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- [7] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), „Blendung durch Photovoltaikanlagen - OVE-Richtlinie R 11-3“. 2016.
- [8] 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.
- [9] Peter Toggweiler, Dr. Andreas Bohren, Prof. Dr. Christof Bucher, und Thomas Rechsteiner, „Stand der Technik zu blendarmen Oberflächen bei PV-Modulen“. EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bm9vYXVvMTE5OTY=.html>

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