



[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 LANGENAU

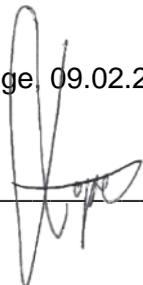
VERSION 2.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
25436 Moorrege
+49 (0) 4122 509100
mathias.roeper@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Moorrege, 09.02.2024



Review:

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

Riesenweg 9
21244 Buchholz in der Nordheide
+49 (0) 4181 2326110
marco.wilke@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Buchholz i. d. Nordheide, 09.02.2024



Revisionsstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
2.1	Flurstück 211 berücksichtigt	09.02.2024	Mathias Röper
2.0	Neues Anlagenlayout berücksichtigt	30.10.2023	Mathias Röper
1.2	Verbesserung des Simulationsmodells auf Basis von 3D-Gebäudemodellen (LoD2) der Bayrischen Vermessungsverwaltung: Simulationsergebnisse für OP 4 überarbeitet (zuvor wurde angenommen, dass das Gebäude im Obergeschoss Fenster in Richtung PVA besitzt). Ergänzung: Einschätzung der Blendwirkung auf weiter entfernt liegende Gebäude. Überarbeitung: Redaktionelle Änderungen (Text)	19.10.2023	Mathias Röper
1.1	Erhöhter Sichtschutz berücksichtigt (Maßnahme)	04.10.2023	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	08.05.2023	Mathias Röper

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Methodik	3
2	Anlagenbeschreibung.....	4
3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	7
4	Grundlagen	8
4.1	Blendwirkung von Modulen	8
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	10
5	Lichtimmissionen in schutzbedürftigen Räumen.....	11
5.1	Übersicht.....	11
5.2	Erläuterung der Auswertungsmethodik.....	13
5.3	Ergebnisse	14
6	Blendwirkungen auf den Straßenverkehr (Sattelgrundweg).....	18
6.1	Übersicht.....	18
6.2	Erläuterung der Auswertungsmethodik.....	19
6.3	Ergebnisse	21
7	Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen	22
7.1	Gebäude	22
7.2	Straßenverkehr	24
8	Literaturverzeichnis	26
Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT		27

1 Einleitung

Die M. Münch Elektrotechnik GmbH Co. KG (Auftraggeber) hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, beauftragt, die möglichen Blendwirkungen der geplanten „PVA Langenau“ in 96355 Tettau zu untersuchen und zu bewerten. Der vorliegende Bericht wurde zudem von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft.

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlagen Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen für Anwohner oder unzumutbare Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßenverkehr entstehen. Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit 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 1: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA	Auftraggeber
Umliegende Straßenverläufe	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Vegetation	
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell (DGM1)	Bayerische Vermessungsverwaltung
3D-Gebäudemodell (LoD2)	Bayerische Vermessungsverwaltung

1.4 Methodik

Nach Angaben der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Ermittlung und Beurteilung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [1]. Die LAI hat jedoch mit dem Dokument „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (im Folgenden LAI-Leitfaden genannt) einen Regelwerk zur Verfügung gestellt, der Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen enthält [1]. Die Methodik des Gutachtens zur Bewertung von PVA-bedingten Blendwirkungen auf schutzbedürftige Räume basiert auf dem LAI-Leitfaden.

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

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) befindet sich im Gemeindeteil Langenau des Marktes Tettau (PLZ: 96355) im oberfränkischen Landkreis Kronach in Bayern. Die geplante PVA stellt eine Freiflächenanlage dar. Abbildung 1 zeigt den Grundriss der PVA und Abbildung 2 das Layout.

Die folgende Tabelle führt relevante Anlagenparameter auf.

Tabelle 2: Relevante Anlagenparameter

Anlagenparameter	Angabe
Größe der PV-Fläche (ca.)	6 ha
Modulausrichtung (Azimut)	170° Südost
Modulunterkante	80 cm
Moduloberkante	ca. 3 m
Modulneigung	17°
Geokoordinaten (Breite, Länge)	50.435256°, 11.281224°



Abbildung 1: Grundriss der geplanten PVA – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 2: Layout der geplanten PVA – Quelle Planungsdaten: Auftraggeber, Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro, Quelle Gebäudedaten: Bayerische Vermessungsverwaltung



*Abbildung 3: Aufnahme des Anlagengeländes (aufgenommen vom östlichen Anlagenende in Richtung Südosten)
- Quelle: Auftraggeber*

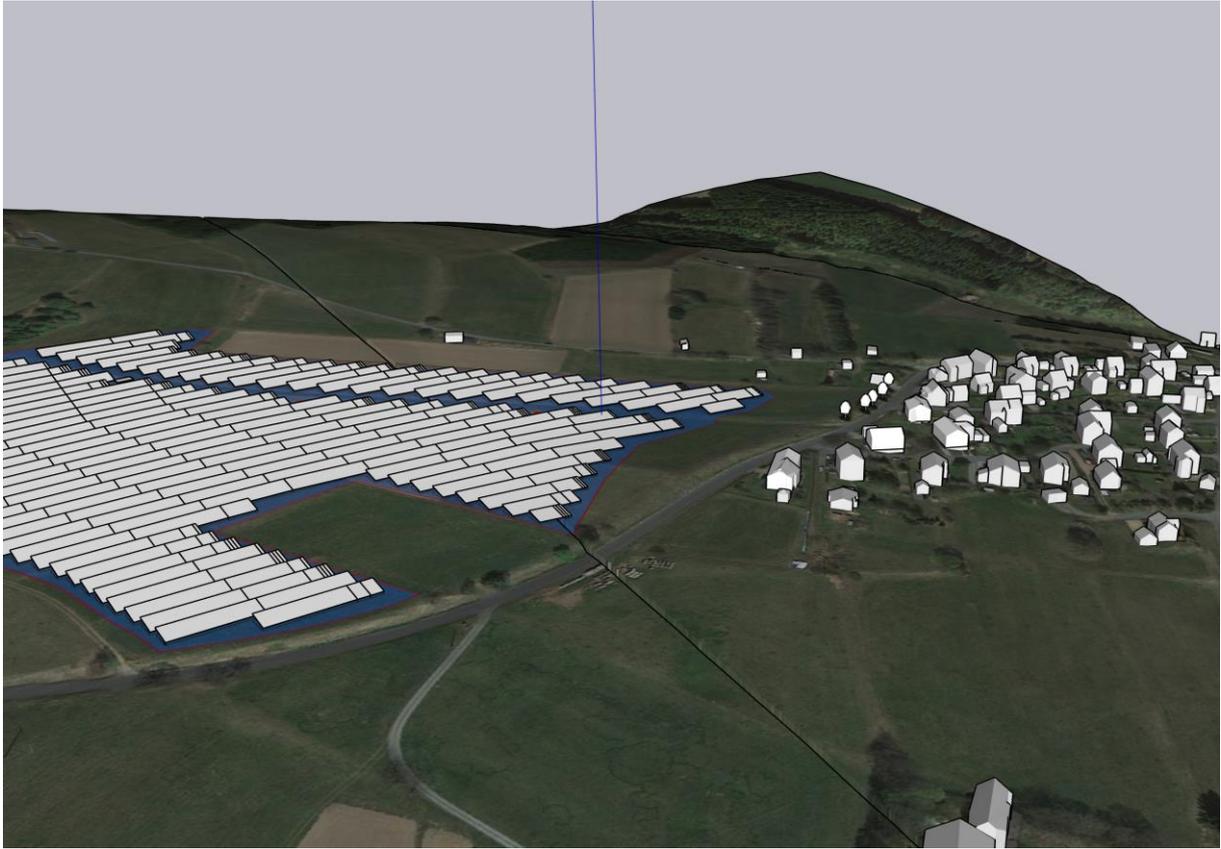


Abbildung 4: 3D-Modell der PVA und Umgebung

3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Das Gutachten hat ergeben, dass in der Nachbarschaft keine erheblichen Belästigungen durch Blendwirkungen erwartet werden. Die Grenzwerte des LAI-Leitfadens werden eingehalten. Durch das neue Anlagenlayout (vergrößerter Abstand zu den Wohnhäusern) konnten die Blendzeiträume signifikant reduziert werden.

Zusatz (Berichtsversion 2.1): Auch auf dem Flurstück 211 werden die LAI-Grenzwerte eingehalten. Dabei wurde ein hypothetisches Einfamilienhaus auf dem Grundstück bewertet.

Um Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer auf dem Sattelgrundweg zu vermeiden, wird empfohlen, den südlichen Anlagenzaun mit Sichtschutzblenden auszustatten. Weiterhin sollte ein zusätzlicher Sichtschutz von ca. 130 m Länge entlang des Sattelgrundwegs errichtet werden. Bei Umsetzung dieser empfohlenen Maßnahmen sind keine beeinträchtigenden Blendwirkungen für den Straßenverkehr zu erwarten.

Fazit:

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass die geplante Photovoltaikanlage unter Berücksichtigung der empfohlenen Maßnahmen hinsichtlich des Blendschutzes unproblematisch in die Umgebung integriert werden kann.

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 5) 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 6).

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

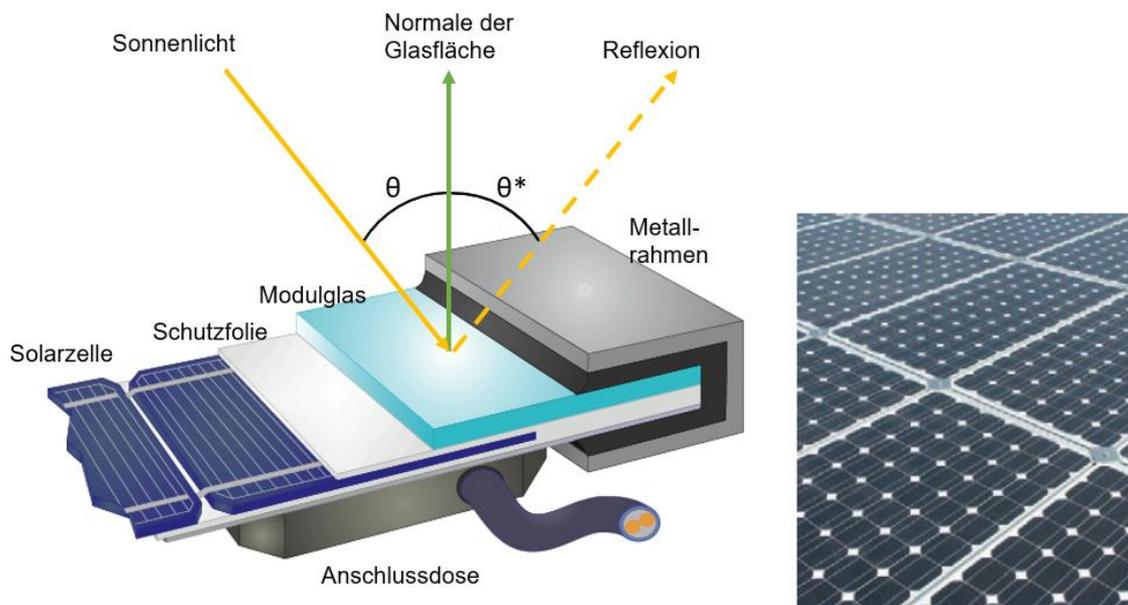


Abbildung 5: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

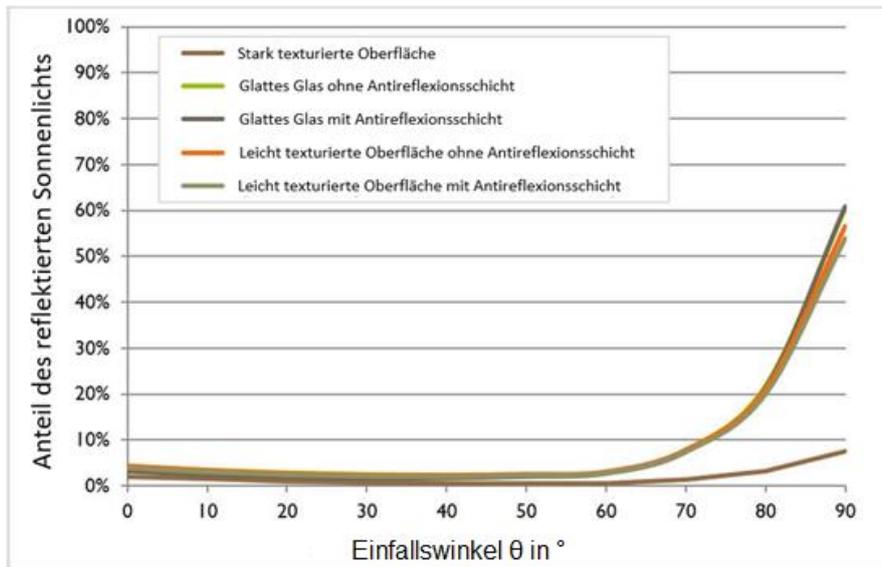


Abbildung 6: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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 verwendeten Modultyp.



Abbildung 7: 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 Modellierung der 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].

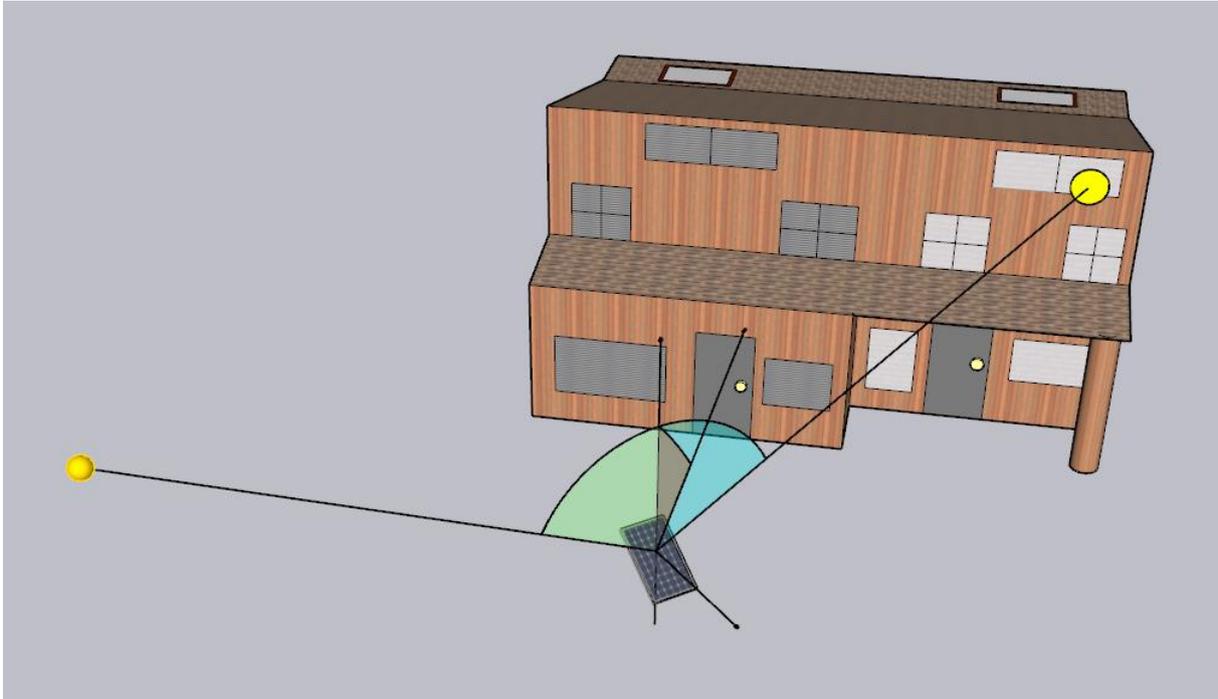


Abbildung 8: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

Im Rahmen der Simulation wird mit der Software ForgeSolar die Blendwirkung 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. Eine Auflistung der Annahmen und Einschränkungen zur Simulation befindet sich in Anhang A.

5 Lichtimmissionen in schutzbedürftigen Räumen

5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzbedürftige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [1]:

- 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)

Lediglich südöstlich der PVA im Siedlungsgebiet von Langenau befinden sich schutzbedürftige Räume (Wohnhäuser).

Zur Untersuchung der Blendwirkung auf die umliegende Wohnbebauung wurden in der Simulation die sechs nächstgelegenen Häuser in verschiedenen Himmelsrichtungen jeweils durch einen „Observationspunkt“ (OP) repräsentiert (siehe Abbildung 10). Die OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftreffende Reflexionen.

Die OP wurden immer in einer Höhe von 4,5 m definiert, um der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss zu entsprechen. In der Regel ist die Immissionsbelastung durch Reflexionen umso höher, je höher ein Immissionsort liegt. Die Ausnahmen bilden OP 1 und OP 4, da diese Gebäude kein Obergeschoss mit Fenstern in Richtung PVA besitzen (hier wurde eine Höhe von 1,7 m angesetzt).

Die OP wurden so festgelegt, dass sie zusammen die schutzbedürftige Nachbarschaft repräsentieren.

Zusatz (Berichtsversion 2.1):

Neben den bereits bestehenden Wohnhäusern wird auch das Flurstück 211 in die Betrachtung einbezogen – dieses Flurstück ist als Bauland ausgewiesen, und es könnte möglicherweise in Zukunft ein Wohnhaus darauf errichtet werden. Zu diesem Zweck werden zwei Beobachtungspunkte in 4,5 Meter Höhe positioniert, um auch die Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss eines potenziell möglichen Wohnhauses zu berücksichtigen.



Abbildung 9: Flurstück 211



Abbildung 10: Position der definierten Observationspunkte (OP) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.2 Erläuterung der Auswertungsmethodik

Gemäß des LAI-Leitfadens liegt eine erhebliche Belästigung durch PVA-bedingte Lichtimmissionen vor, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden (1800 Minuten) pro Jahr Blendwirkungen erfährt [1]. Bei der Ermittlung der Blendzeiten sind jedoch nicht alle Reflexionen zu berücksichtigen, wie der Leitfaden vorschreibt.

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 [1]. 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 die Blendwirkungen, die lediglich mit dem vereinfachten Modell ermittelt würden, als "Kernblendung" und die übrigen als "gestreute Reflexion" bezeichnet und stets differenziert dargestellt.

Zudem sind laut dem Leitfaden Reflexionen, die am Immissionsort mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendwirkungen zu betrachten [1]. Dies berücksichtigt den Umstand, dass bei tiefstehender Sonne PVA-bedingte Blendwirkungen von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert werden. Diese Reflexionen werden im Folgenden ebenfalls differenziert dargestellt, sofern sie auftreten.

Alle Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in Mitteleuropäischer Normalzeit (MEZ, UTC+1) angegeben. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels, sodass die ermittelten Zeiträume für Lichtimmissionen bzw. Blendwirkungen "Worst-Case"-Betrachtungen darstellen.

In der Simulation werden normalerweise keine Hindernisse (wie Bäume) berücksichtigt. Hindernisse könnten jedoch die Sicht auf die PVA einschränken oder diese verschatten, wodurch potenzielle Blendzeiten reduziert werden. Falls Hindernisse in die Betrachtung einbezogen wurden, wird dies an der entsprechenden Stelle ausdrücklich erwähnt.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Observationspunkt 1

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 1 keine Kernblendungen erwartet werden.

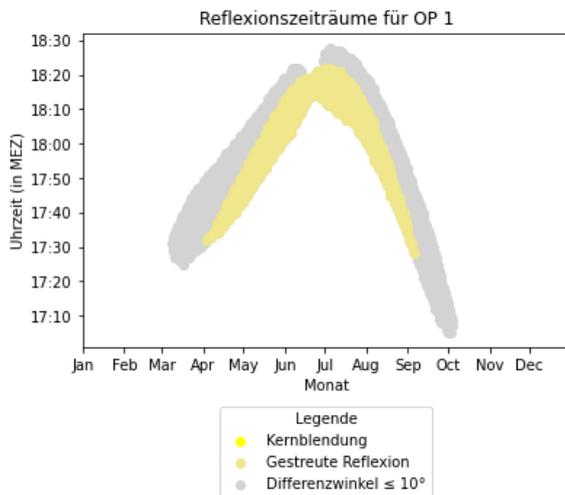


Abbildung 11: Blendzeiten bei OP 1

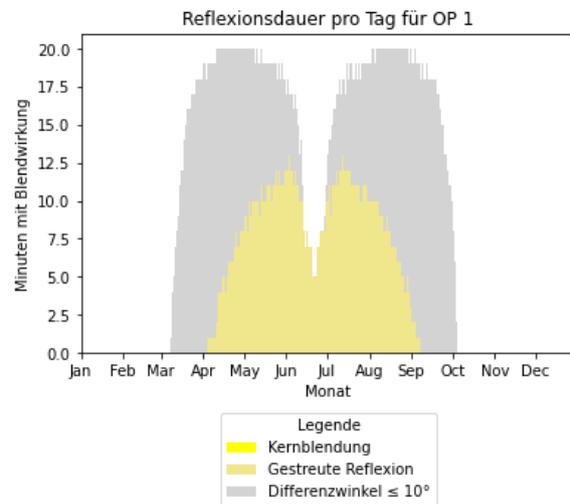


Abbildung 12: Blenddauer pro Tag bei OP 1

5.3.2 Observationspunkt 2

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 3 pro Tag maximal 10 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 517 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

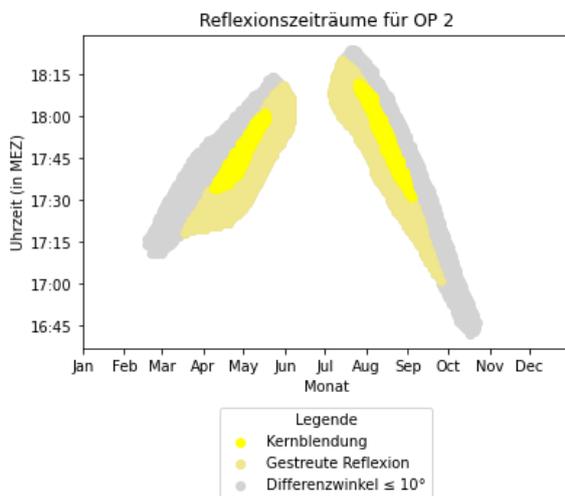


Abbildung 13: Blendzeiten bei OP 2

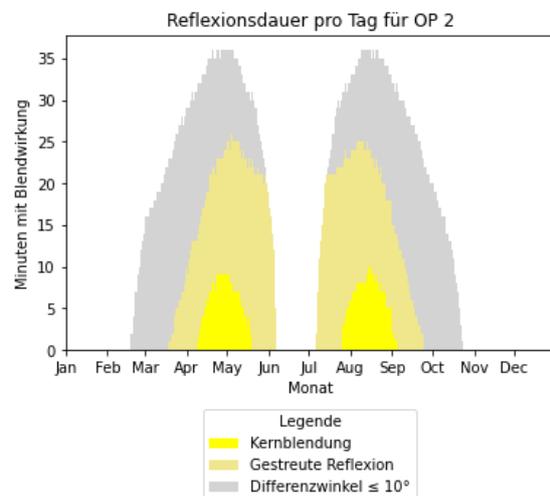


Abbildung 14: Blenddauer pro Tag bei OP 2

5.3.3 Observationspunkt 3

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 3 pro Tag maximal 15 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 1.293 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

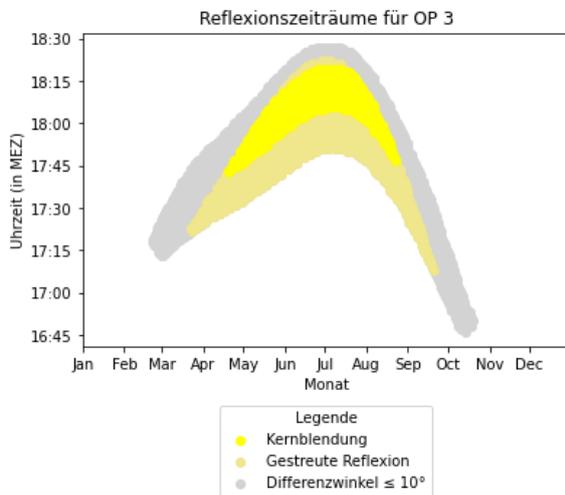


Abbildung 15: Blendzeiten bei OP 3

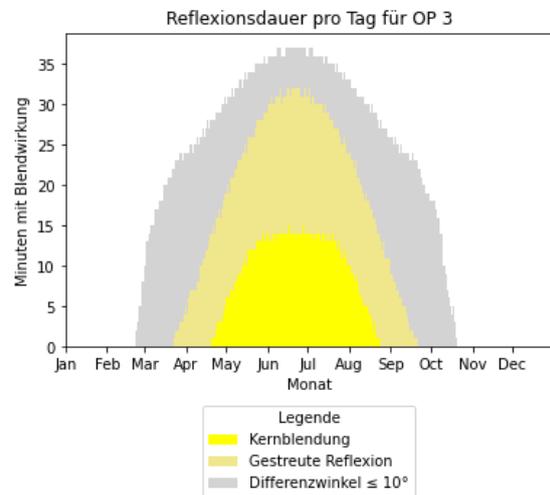


Abbildung 16: Blenddauer pro Tag bei OP 3

5.3.4 Observationspunkt 4

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 4 pro Tag maximal 7 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 390 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

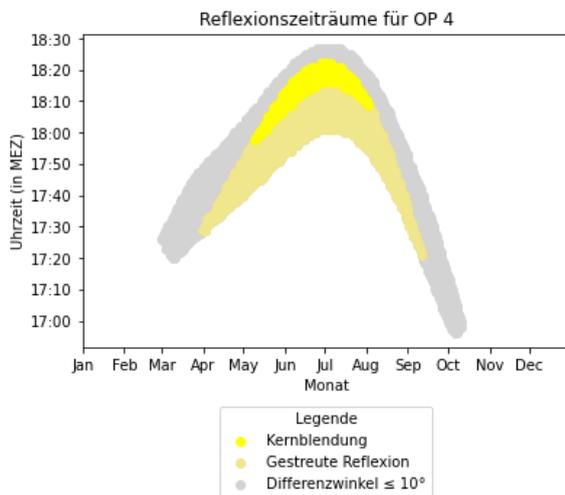


Abbildung 17: Blendzeiten bei OP 4

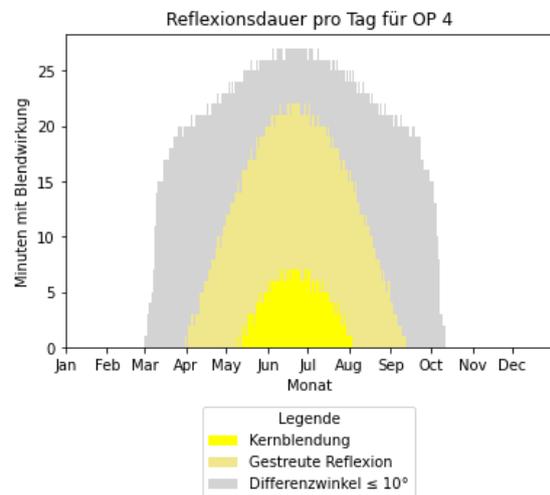


Abbildung 18: Blenddauer pro Tag bei OP 4

5.3.5 Observationspunkt 5

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 5 pro Tag maximal 12 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 1.132 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

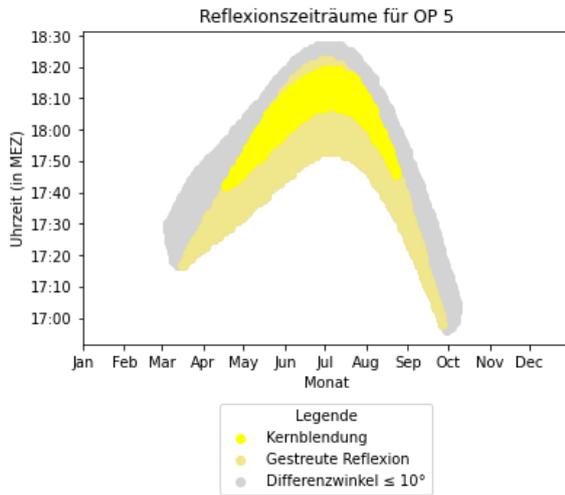


Abbildung 19: Blendzeiten bei OP 5

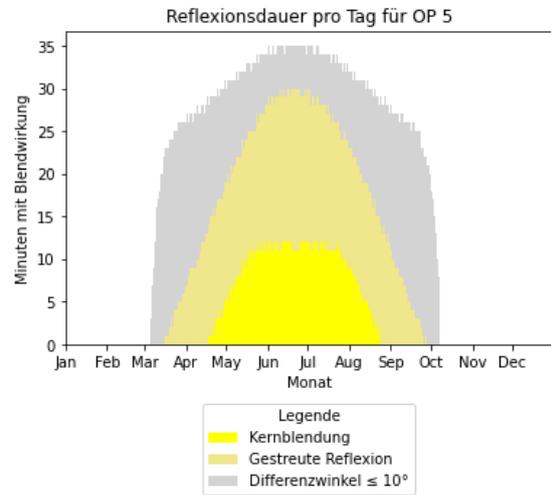


Abbildung 20: Blenddauer pro Tag bei OP 5

5.3.6 Observationspunkt 6

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 6 pro Tag maximal 15 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 1.427 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

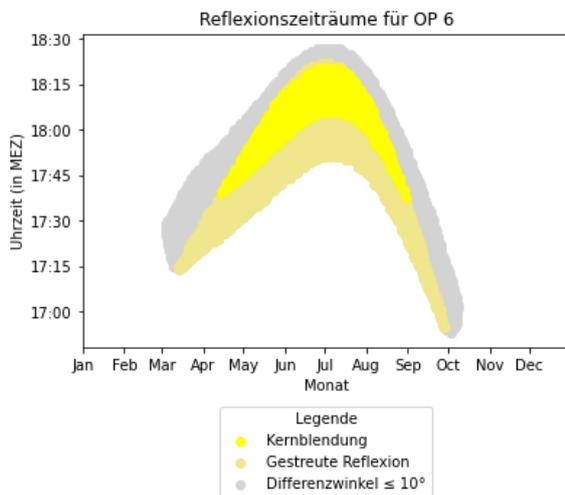


Abbildung 21: Blendzeiten bei OP 6

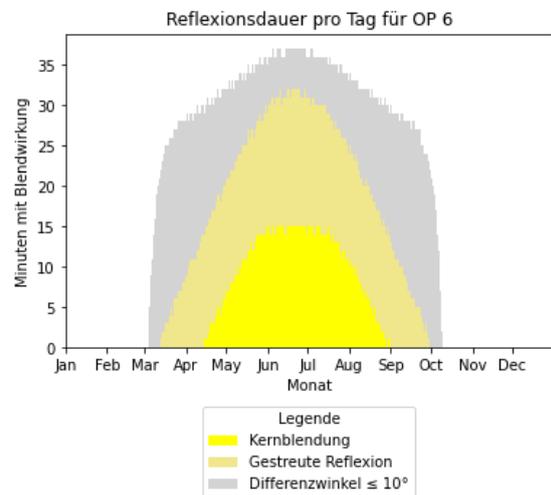


Abbildung 22: Blenddauer pro Tag bei OP 6

5.3.7 Observationspunkt 7

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 7 pro Tag maximal 14 Minuten mit Kernblendungen und pro Jahr insgesamt 1.331 Minuten mit Kernblendungen auftreten. Die LAI-Grenzwerte werden demnach eingehalten.

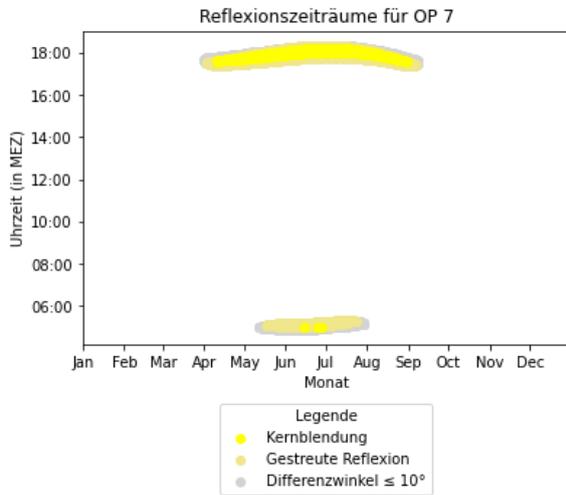


Abbildung 23: Blendzeiten bei OP 7

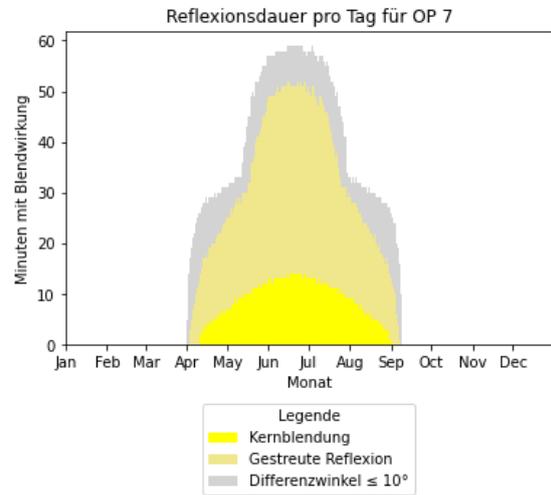


Abbildung 24: Blenddauer pro Tag bei OP 7

5.3.8 Observationspunkt 8

Die Simulation hat ergeben, dass bei OP 8 keine Kernblendungen erwartet werden.

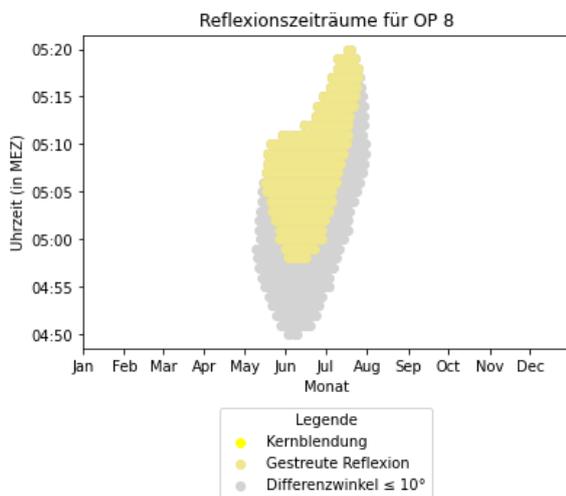


Abbildung 25: Blendzeiten bei OP 8

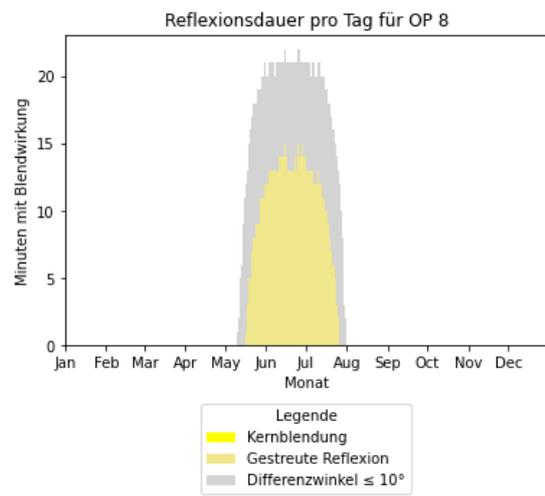


Abbildung 26: Blenddauer pro Tag bei OP 8

6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr (Sattelgrundweg)

6.1 Übersicht

Als relevanter Verkehrsweg wurde die Gemeindestraße „Sattelgrundweg“ identifiziert, welche südlich der PVA verläuft. Die Betrachtung des Sattelgrundwegs umfasst die Kreuzungen mit den kleinen Straßen im Siedlungsgebiet (z. B. mit dem Fliederweg).

Land- und forstwirtschaftliche Wege, auch als Feldwege bekannt, sowie Straßen mit lediglich sporadischem Verkehrsaufkommen werden als nicht relevant erachtet und daher nicht weiter betrachtet.

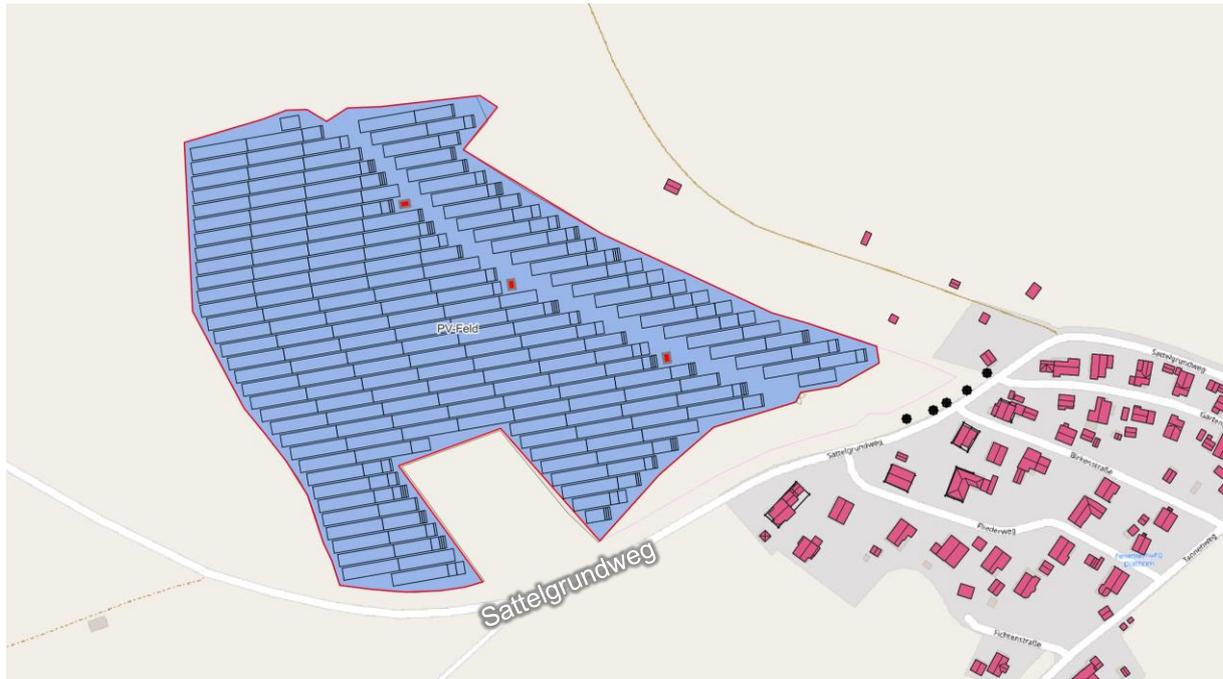


Abbildung 27: Übersicht der relevanten Verkehrswege – Quelle Karte: OpenStreetMap

6.2 Erläuterung der Auswertungsmethodik

In der Simulation wurden PKW- und LKW-Fahrer als Verkehrsteilnehmer berücksichtigt, welche sich in ihrer Sitzhöhe (und damit Augenhöhe) unterscheiden. Die angenommene Augenhöhe der PKW-Fahrer beträgt 1,20 und die der LKW-Fahrer 2,65 m.

Zur Beurteilung von Blendwirkungen im Verkehr durch Photovoltaikanlagen ist es gängige Praxis, ein für Blendwirkungen relevantes (bzw. kritisches) Sichtfeld in Bezug zur Fahrtrichtung zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob Reflexionen in diesem Sichtfeld auftreten. Reflexionen im peripheren Sichtbereich einer Person führen normalerweise nicht zu erheblichen Beeinträchtigungen. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [6] und [7] auf 60° festgelegt (je 30° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Es wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6]. Abbildung 29 zeigt das relevante Sichtfeld einer fahrenden Person. An Kreuzungen oder Bahnübergängen wird das relevante Sichtfeld jedoch auf 180° erweitert, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen. Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtfeldes werden pauschal als vernachlässigbar betrachtet (und auch in der Simulation nicht erfasst).

Des Weiteren gelten PVA-bedingte Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld als vernachlässigbar, wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne $\leq 6,5^\circ$ 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). Derartige Blendwirkungen/Reflexionen werden im Folgenden separat dargestellt.

Alle Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in Mitteleuropäischer Normalzeit (MEZ, UTC+1) angegeben. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels, sodass die ermittelten Zeiträume für Lichtimmissionen bzw. Blendwirkungen „Worst-Case“-Betrachtungen darstellen.

In der Simulation werden normalerweise keine Hindernisse (wie Bäume) berücksichtigt. Hindernisse könnten jedoch die Sicht auf die PVA einschränken oder diese verschatten, wodurch potenzielle Blendzeiten reduziert werden. Falls Hindernisse in die Betrachtung einbezogen wurden, wird dies an der entsprechenden Stelle ausdrücklich erwähnt.

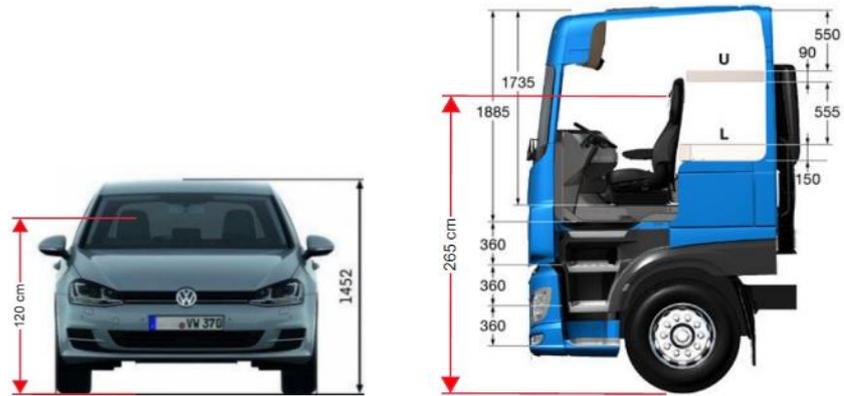


Abbildung 28: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

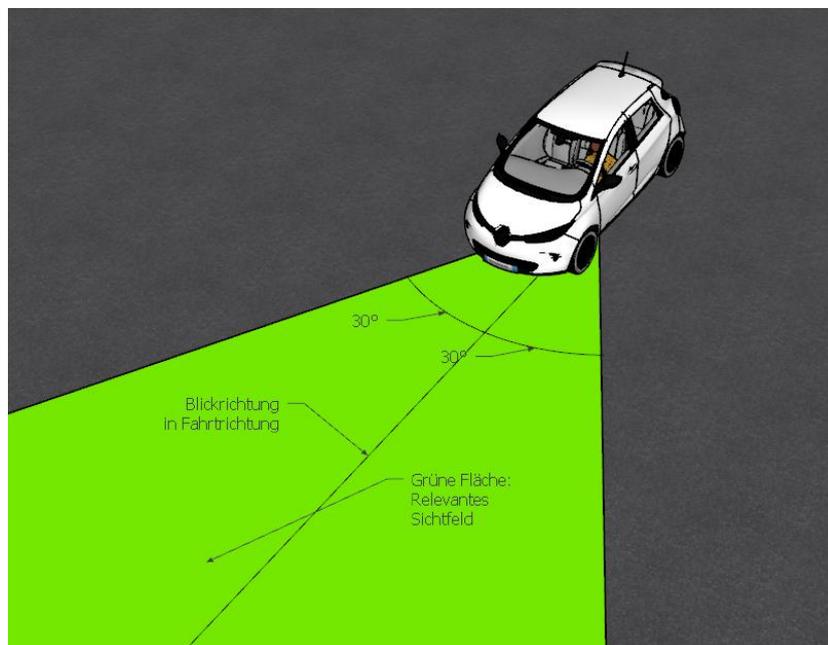


Abbildung 29: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.3 Ergebnisse

Im Wesentlichen sind Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld auf dem Sattelgrundweg unmittelbar südlich der PVA zu erwarten. Dies gilt für beide Fahrtrichtungen.

In Fahrtrichtung (bzw. Blickrichtung) Westen sind die Blendwirkungen in den Abendstunden und in Fahrtrichtung Osten in den Morgenstunden zu erwarten.

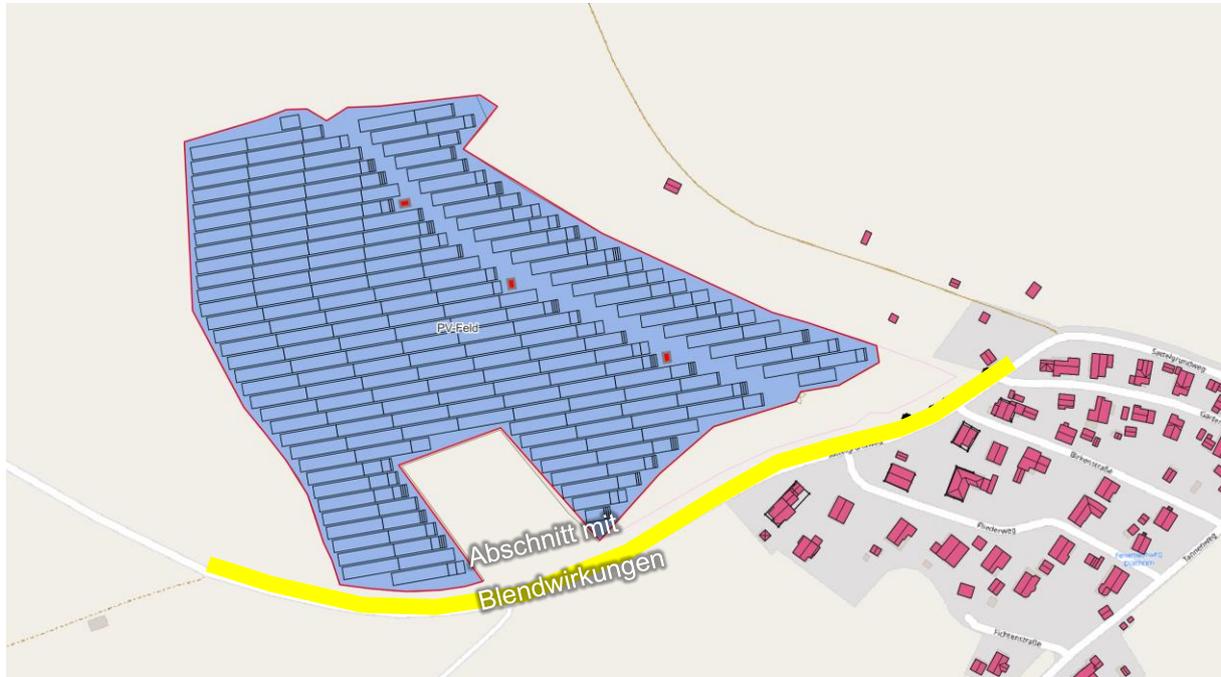


Abbildung 30: Blendwirkungen auf dem Sattelgrundweg – Quelle Karte: OpenStreetMap

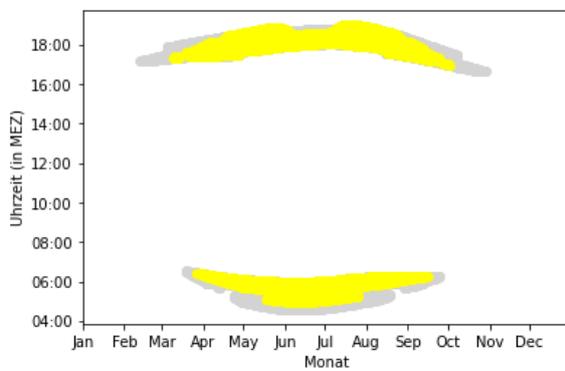


Abbildung 31: Blendzeiten für die Straße Sattelgrundweg (im relevanten Sichtfeld)

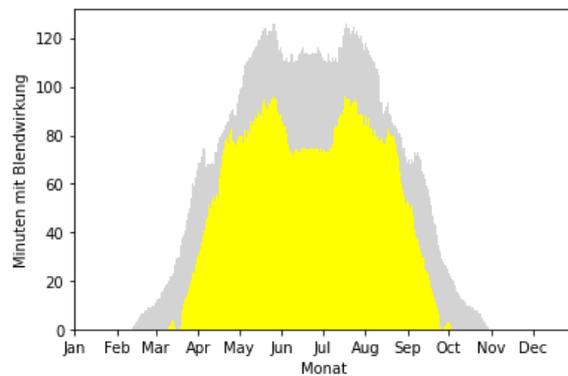


Abbildung 32: Blenddauer pro Tag für die Straße Sattelgrundweg (im relevanten Sichtfeld)

7 Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen

7.1 Gebäude

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass es an der nächstgelegenen Wohnbebauung südöstlich der PVA zu Blendwirkungen kommen kann. Die LAI-Grenzwerte werden jedoch eingehalten. Es ist daher mit Belästigungen zu rechnen, die jedoch als zumutbar (nicht erheblich) eingestuft werden.

Für die Untersuchung wurden die Gebäude herangezogen, die der PVA am nächsten liegen (OP 1 bis 6). Gebäude, die weiter entfernt sind, erfahren geringere Blendwirkungen oder haben keine (bzw. nur eine eingeschränkte) Sicht auf die PVA. Das 3D-Modell der Anlagenumgebung macht deutlich, dass das Gelände nach Südosten abfällt (siehe Abbildung 33). Dadurch liegen die weiter entfernten Gebäude tendenziell tiefer als diejenigen, die sich näher zur PVA befinden. Dies beeinflusst die Sichtbarkeit der PVA - die Sicht von weiter entfernt liegenden Gebäuden wird entsprechend von den davorliegenden Gebäuden eingeschränkt.

Selbst an den nächstgelegenen Gebäuden treten nennenswerte Blendwirkungen nur im ersten Obergeschoss auf. Vom Erdgeschoss aus besteht entweder keine oder nur eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Photovoltaikanlage (PVA).

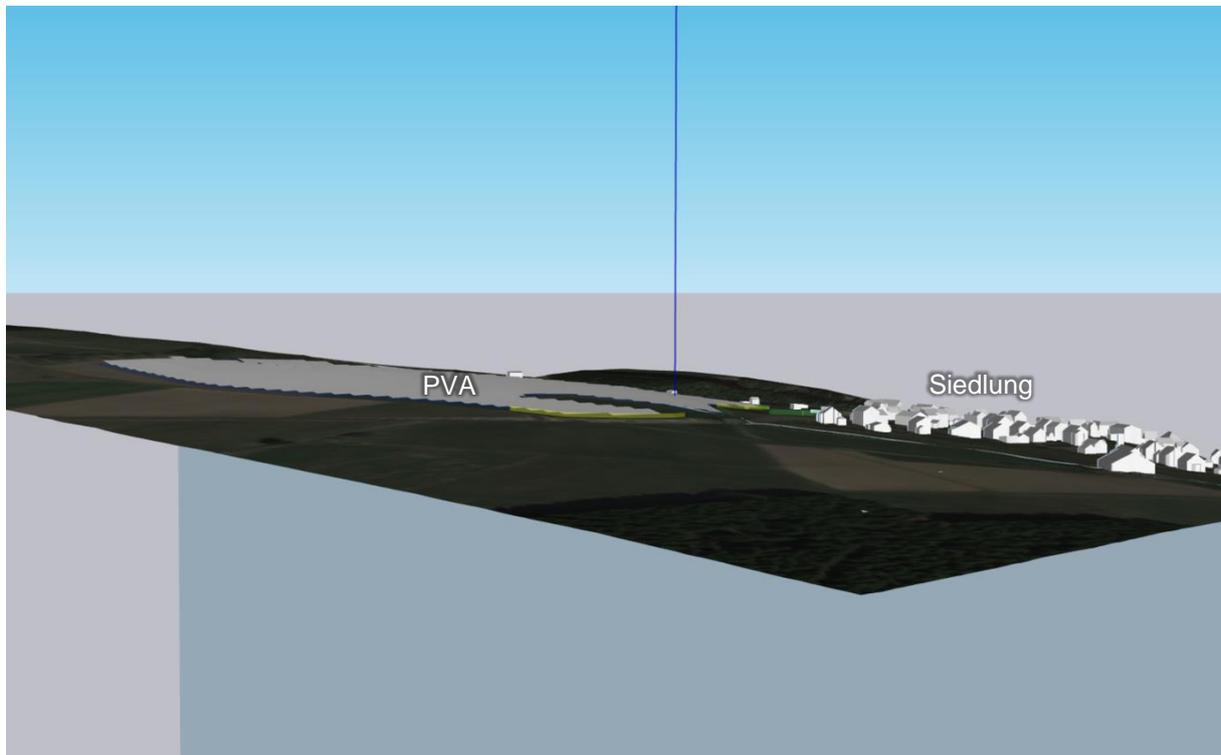


Abbildung 33: Seitenansicht auf das 3D-Modell

Zusatz (Berichtsversion 2.1):

Neben den bereits bestehenden Wohnhäusern wurde auch das Flurstück 211 in die Betrachtung einbezogen – dieses Flurstück ist als Bauland ausgewiesen, und es könnte möglicherweise in Zukunft ein Wohnhaus darauf errichtet werden. Zu diesem Zweck wurden zwei Observationspunkte (Simulation) in 4,5 Meter Höhe positioniert, um auch die Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss eines potenziell möglichen Wohnhauses zu berücksichtigen.

Eine visuelle Voruntersuchung anhand des 3D-Modells hat gezeigt, dass vom Erdgeschoss (eines potenziellen Gebäudes) bzw. Garten aufgrund des empfohlenen (und inzwischen geplanten) Sichtschutzauns keine oder nur eine sehr eingeschränkte Sicht auf die Module besteht. Die Beobachtungspunkte zur Untersuchung des Flurstücks werden als OP 7 und OP 8 bezeichnet. Der erwähnte Sichtschutz wird in Kapitel 7.2 dargestellt.

Die durchgeführte Simulation ergab, dass keine übermäßigen Blendwirkungen auf dem Grundstück zu erwarten sind. Die Grenzwerte der LAI-Grenzwerte werden bei den OP 7 und 8 eingehalten.

7.2 Straßenverkehr

Auf dem Sattelgrundweg ist mit Blendwirkungen zu rechnen, die auch im relevanten Sichtfeld von Fahrzeugführern auftreten können. Deshalb wird das Anbringen von Sichtschutzblenden am südlichen Anlagenzaun (mit einer Höhe von 2 m) empfohlen (siehe Abbildung 34). Um die Windlast zu minimieren, können die untersten 50 cm des Zauns offen gelassen werden.

Der Geländeverlauf macht einen blickdichten Anlagenzaun von 2 m größtenteils ausreichend, doch auf einem Abschnitt von etwa 130 m (entlang der südöstlichen Anlagengrenze) wird ein zusätzlicher Sichtschutz mit einer Höhe von 2 m bis 3 m empfohlen (siehe Abbildung 35). Dieser kann ebenfalls durch einen Anlagenzaun mit Sichtschutzelementen realisiert werden, aber auch andere Konstruktionen jeglicher Art sind denkbar, solange die Konstruktion blickfest ist.

Die Analyse des 3D-Modells der PVA inkl. Umgebung, das auf Höhendaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung basiert, zeigt, dass mit dem vorgeschlagenen Sichtschutz selbst für LKW-Fahrer mit einer Augenhöhe von 2,65 m keine beeinträchtigenden Blendwirkungen mehr auftreten können. Durch die Maßnahmen wird keine Gefährdung des Straßenverkehrs erwartet.



Abbildung 34: Positionen der empfohlenen Sichtschutzblenden am Anlagenzaun
– Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

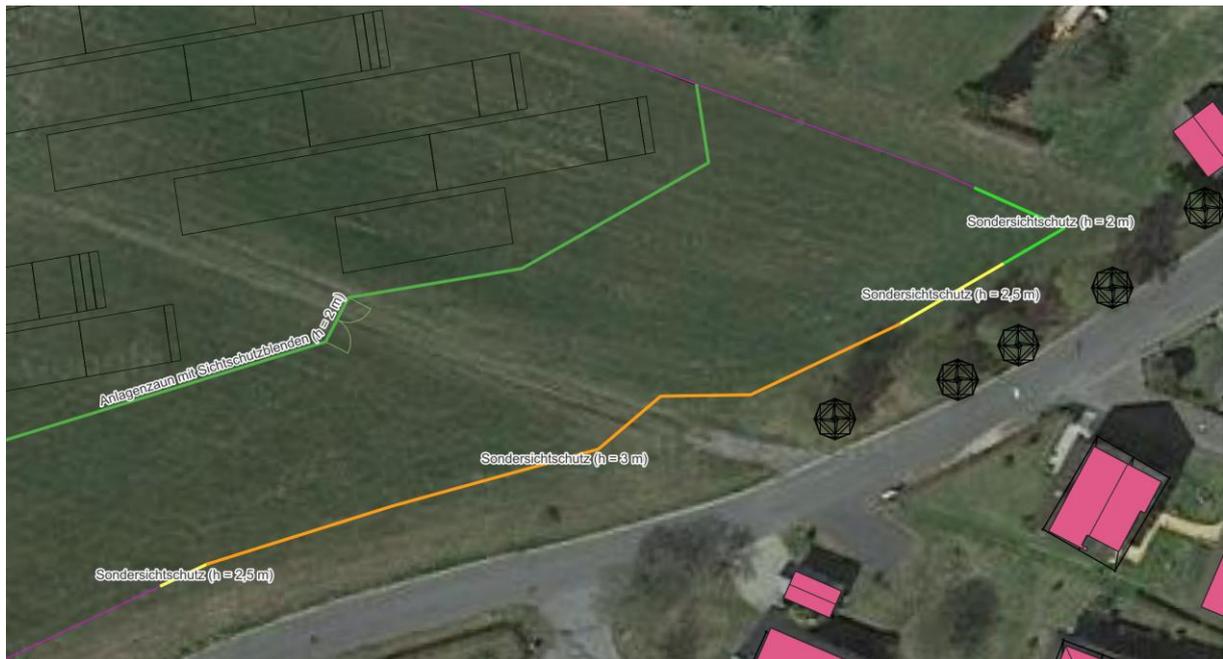


Abbildung 35: Position des empfohlenen Sondersichtschutzes - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

8 Literaturverzeichnis

- [1] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [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.

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