

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger

# Sonnwin Photovoltaik

Ihre unabhängigen Sachverständigen für Photovoltaik

## Blendgutachten

PVA DIEDRICHSHAGEN

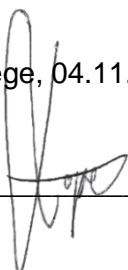
VERSION 1.0

Bearbeitet:

Mathias Röper, M. Eng.  
Sachverständiger für Photovoltaik

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

Moorrege, 04.11.2022



---

Review:

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

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

Moorrege, 04.11.2022



---

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	04.11.2022	Mathias Röper
1.1	Geringfügige inhaltliche Anpassung	04.11.2022	Mathias Röper

# 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 .....	7
4	Grundlagen .....	8
4.1	Blendwirkung von Modulen .....	8
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	10
5	Umliegende schutzwürdige Räume (Immissionsschutz) .....	11
5.1	Übersicht.....	11
5.2	Ergebnisse .....	13
5.2.1	Zusammenfassung.....	14
5.2.2	Süd-Ausrichtung.....	15
5.2.3	Ost-West-Ausrichtung .....	20
6	Umliegender Straßenverkehr.....	21
6.1	Übersicht.....	21
6.2	Ergebnisse .....	23
6.2.1	Zusammenfassung.....	23
6.2.2	Süd-Ausrichtung.....	24
6.2.3	Ost-West-Ausrichtung .....	27
7	Literaturverzeichnis .....	30
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT .....	31

# 1 Einleitung

Die Mapronea GmbH (Kunde) hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, damit beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) „Diedrichshagen“ in 17498 Weitenhagen zu analysieren und zu bewerten.

## 1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten PVA Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen durch Lichtimmissionen auf umliegende Gebäude und/oder Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßen- und Bahnverkehr entstehen. Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit Lichtimmissionen/Blendwirkungen auftreten können.

## 1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für die alleinige Nutzung des Kunden und in dessen Auftrag ausgearbeitet. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Irrtümer, Fehler, etc. sind hierbei trotz großer Sorgfalt nicht vollständig auszuschließen. Daher wird für Folgeschäden, die aus der Anwendung des Gutachtens resultieren, keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadenersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wenn der Bericht an Dritte weitergegeben wird, darf er nicht verändert oder bearbeitet werden. Wenn sich Dritte den Inhalt dieses Berichts zu Nutze machen, ist jegliche Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

## 1.3 Datengrundlage

Die Modellierung der PVA zur Analyse potenzieller Blendwirkungen basiert auf den vom Kunden bereitgestellten Planungsunterlagen, Angaben und Aufnahmen. Eine Besichtigung vor Ort fand nicht statt. Zudem wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Informationen bzgl. umliegender Gebäude, Straßenverläufe, Vegetation und der lokalen Topografie wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, OpenStreetMap).

## 1.4 Methodik

Laut der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Bestimmung und Auswertung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [2]. Jedoch hat die LAI mit dem Dokument „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ einen Leitfaden zur Verfügung gestellt (im Folgenden *LAI-Leitfaden* genannt), welcher in Anhang 2 Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen aufführt [2]. Die Methodik des Gutachtens basiert auf dem LAI-Leitfaden und wurde um wissenschaftliche Erkenntnisse und etablierte „Best-Practice“-Methoden erweitert, welche an gegebener Stelle im vorliegenden Bericht referenziert werden.

## 2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA Diedrichshagen soll auf (aktuell) landwirtschaftlicher Nutzfläche als Freiflächenanlage realisiert werden. Das Anlagengelände befindet sich im (namensgebenden) Ortsteil Diedrichshagen der Gemeinde Weitenhagen (PLZ: 17498). Das PVA-Gelände grenzt im Westen an die Bundesstraße B 109. Zudem durchläuft die eingleisige Bahnstrecke Greifswald-Lubmin das Anlagengelände.

Die PVA besteht aus zwei Planteilen (siehe Abbildung 2).

Die PVA befindet sich in einem frühen Planungsstadium. Um dennoch ein aussagekräftiges Blindgutachten erstellen zu können, wurden verschiedene Ausrichtungsmöglichkeiten der Module (Azimut und Modulneigung) ausgewertet. Berücksichtigt wurde eine Süd- sowie eine Ost-West-Ausrichtung (siehe Abbildung 1 für ein Beispiel einer Ost-West-Anlage) mit Modulneigungswinkeln von je 15°, 20° und 25°. Somit wurden insgesamt sechs unterschiedliche Ausrichtungsvarianten untersucht. Zudem wurde die Annahme getroffen, dass die zur Verfügung stehenden Flächen (Planteile) maximal mit PV-Modulen belegt werden.

Relevante Anlagenparameter werden in der folgenden Tabelle aufgeführt.

*Tabelle 1: PVA-Parameter*

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	ca. 47 MWp
Anlagenfläche (Geltungsbereich)	ca. 42,8 ha
Modulabmessung	2,279 m x 1,334 m
Modultyp	JA Solar – JAM72S30 550/MR
Aufständigung	3 Module im Portrait-Format oder 6 Module im Landscape-Format übereinander
Modulneigung	15°, 20°, 25°
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd, 90°/270° Ost-West
Höhe untere Modulunterkante	0,7 m
Höhe obere Modulkante	3 m bis 4,45 m (je nach Neigungswinkel)
Adresse	17498 Weitenhagen
Geo-Koordinaten des Geländes (Breite, Länge)	54.056500°, 13.478052°



*Abbildung 1: Beispiel einer Ost-West-Anlage*



Abbildung 2: Umriss der Generatorfelder (genutzte PV-Fläche) – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 3: Aufnahme von Planteil 1 - Quelle: Kunde



*Abbildung 4: Aufnahme von Planteil 2- Quelle: Kunde*

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### **Umliegende Gebäude**

Die Begutachtung hat ergeben, dass keine umliegenden Gebäude (bzw. schutzwürdigen Räume) erhebliche Belästigungen erfahren werden (die Auswertung erfolgte nach dem LAI-Leitfaden). In den meisten Fällen blockiert die lokale Vegetation (oder andere Hindernisse) die Sicht von den schutzwürdigen Räumen auf die PVA. Sofern doch noch Blendwirkungen auftreten, übersteigen diese keine Grenzwerte.

#### **Umliegende Verkehrswege**

Auf der B 109 können bei einer Süd- sowie Ost-West-Ausrichtung bei Fahrtrichtung gen Südosten stärkere Blendwirkungen auftreten. Diese gehen von Planteil 2 (Nord) aus. Diesbezüglich müssen noch Maßnahmen definiert werden, um die Blendwirkungen zu unterbinden.

Blendwirkungen auf der Guester Straße sind für alle Anlagenvarianten auszuschließen.

Auf der Bahnstrecke können erhebliche Blendwirkungen bei einer Süd-Ausrichtung der Module ausgeschlossen werden. Reflexionen sind bei einer Süd-Ausrichtung in Richtung Bahnstrecke nur zu Zeiten möglich, in denen die angrenzende Vegetation ein Blattwerk trägt und somit einen effektiven Sichtschutz darstellt. Zudem sind Reflexionen in Richtung Bahnstrecke bei einer Süd-Ausrichtung nur von Planteil 1 möglich (hier ist die Vegetation besonders dicht).

Bei einer Ost-West-Ausrichtung können auch in den Wintermonaten sowie von Planteil 2 (Nord) Reflexionen in Richtung Bahnstrecke auftreten. Demnach kann die lokale Vegetation in diesem Fall nicht als effektiven Blendschutz betrachtet werden (außer es kann im Winter validiert werden, dass die Vegetation auch im blattlosen bzw. blattarmen Zustand blickfest ist). Hinzu kommt, dass die Vegetation im Nordwesten von Planteil 2 (Nord) lückenhaft ist. Bei einer Ost-West-Ausrichtung müssten demnach noch Maßnahmen definiert werden, welche die Blendwirkungen auf der Bahnstrecke unterbinden.

## 4 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bestimmung von PVA-bedingter Blendwirkung dargestellt.

### 4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein Photovoltaikmodul besteht aus einer Vielzahl von Solarzellen, welche Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Zur Stabilisierung und zum Schutz vor Witterungseinflüssen liegen diese üblicherweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas). Das Modulglas ist maßgeblich für die Blendwirkung verantwortlich. Da die Menge der generierten elektrischen Energie proportional zur Einstrahlungsstärke des Sonnenlichts ist, versuchen Modulhersteller Reflexionen am Modul zu minimieren – denn umso geringer die Reflexionen sind, desto höher ist der Ertrag. Aus diesem Grund besitzt das Modulglas i. d. R. eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sog. Antireflexionsschicht. Beides sorgt dafür, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und nicht durch Reflexionen verloren geht [3].

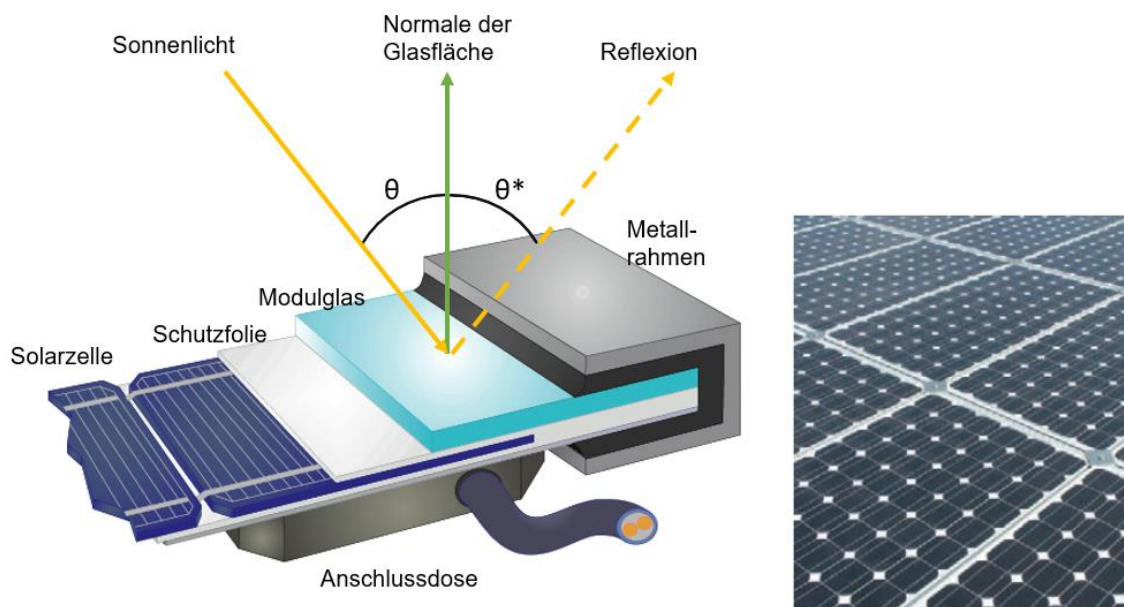


Abbildung 5: Aufbau eines Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ –  
Quelle: [4] (modifiziert)

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %), vorausgesetzt, der Einstrahlungswinkel  $\theta$  (siehe Abbildung 5) ist klein. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass trotz Texturierung und Antireflexionsschicht der Anteil des reflektierten Sonnenlichts bei höherem Einstrahlungswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 6).

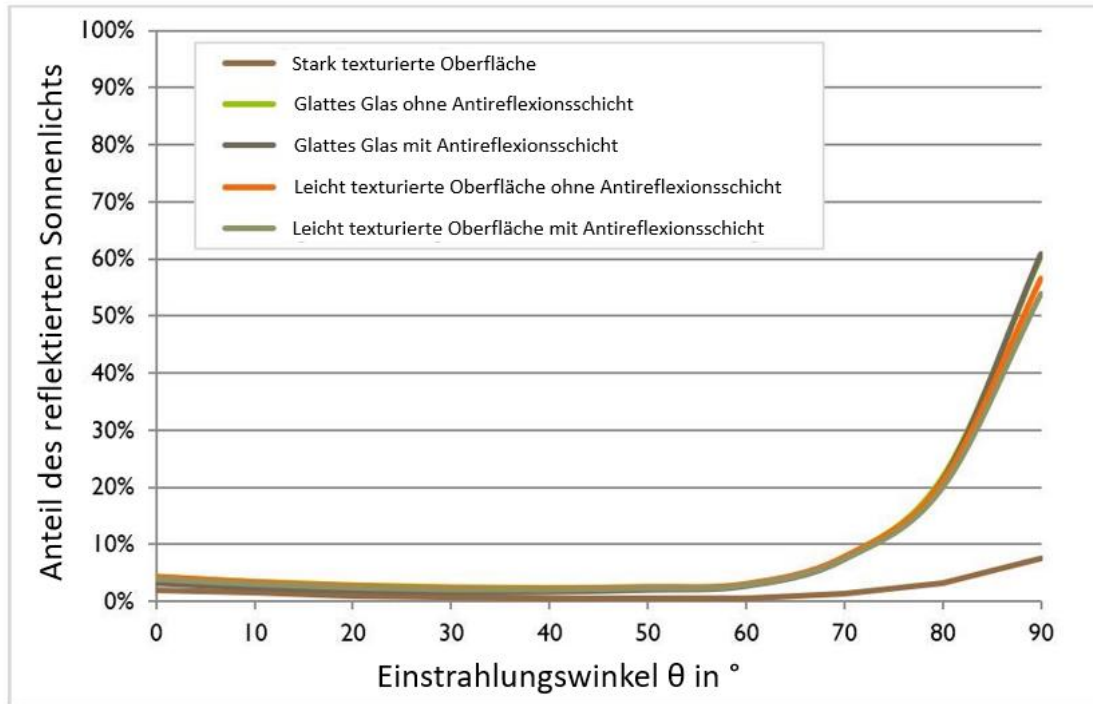


Abbildung 6: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einstrahlungswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [5], modifiziert

Da bereits Reflexionen von unter 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen alle Einstrahlungswinkel berücksichtigt werden.

Die Oberflächentexturierung von Modulglas führt dazu, dass Sonnenlicht zwar weniger intensiv, dafür aber gestreut reflektiert wird, d. h. der Immissionsort der Reflexion vergrößert sich. Die Intensität von Reflexionen an Solarmodulen ist somit auch nicht mit Reflexionen an z. B. glatten Fensterscheiben zu vergleichen, wo das Sonnenlicht gerichtet reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen i. d. R. eine Antireflexionsschicht sowie zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies wird auch für den geplanten Modultyp angenommen.



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. Dafür werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann auf Basis mathematischer Funktionen für jeden Zeitpunkt im Jahr bestimmt werden [6]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlengesetze kann nachvollzogen werden, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Das Einbeziehen von Modulglas-spezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch genauere Betrachtung [5].

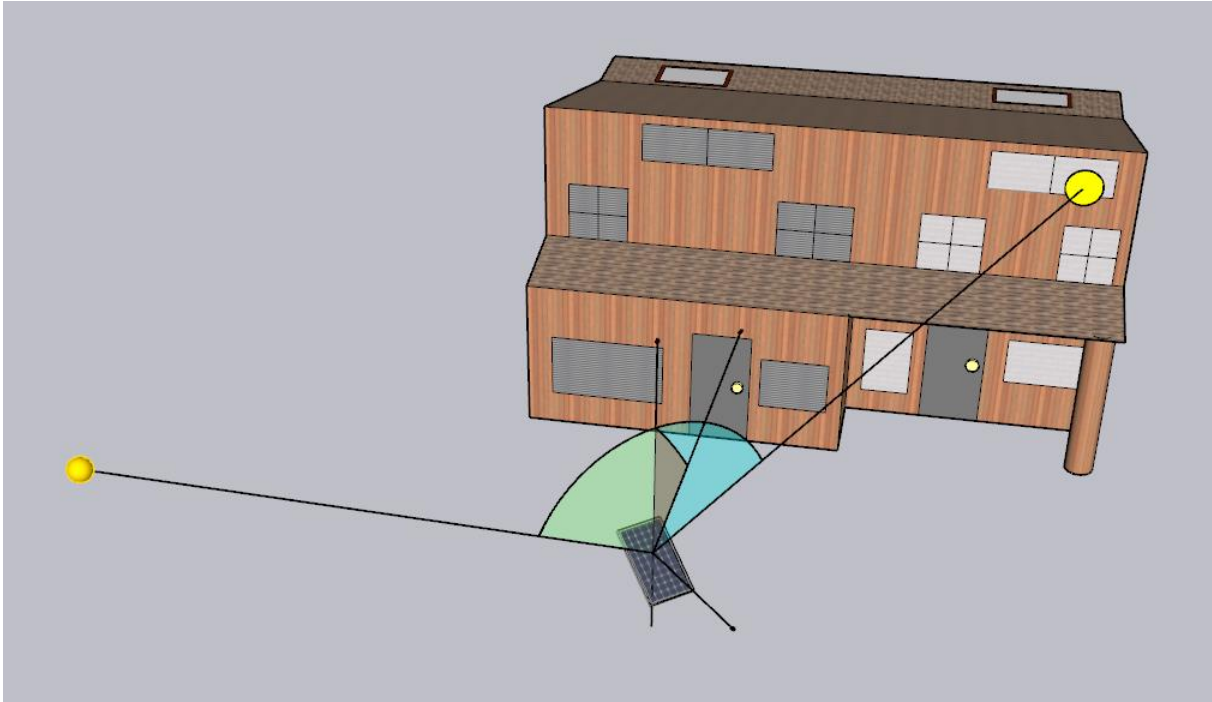


Abbildung 8: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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.

In der Simulation wird immer von einem klaren Himmel ausgegangen, um die astronomisch maximal möglichen Blendzeiträume zu ermitteln. Eine Liste mit Annahmen und Limitationen bzgl. der Simulation können Anhang A entnommen werden.

## 5 Umliegende schutzwürdige Räume (Immissionsschutz)

### 5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzwürdige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [2].

- 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 Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

In der Umgebung der PVA befinden sich mehrere (nach dem LAI-Leitfaden) schutzwürdige Räume: Wohnhäuser, eine Pension sowie Büroräume (Zweckverband Wasser/Abwasser Boddenküste).

Um die Lichtimmissionen/Blendwirkungen der PVA auf die schutzwürdigen Räume in der Umgebung auswerten zu können, wurden insgesamt 5 sog. Observationspunkte (OP) definiert (siehe Abbildung 9). Ein OP stellt in der Simulation einen statischen Betrachter mit einem 360°-Blickfeld dar und dient als Detektor für auftretende Reflexionen/Blendwirkungen. Da i. d. R. höhergelegene Immissionsorte mehr Reflexionen erfahren, wurden die OP stets auf einer Sichthöhe von 4,5 m positioniert, um die potenziell stärkeren Blendwirkungen in den 1. Obergeschossen zu erfassen (Annahme: Alle betrachteten Gebäude besitzen ein 1. Obergeschoss).



Abbildung 9: Übersicht der Observationspunkte 1 - 5 (orangene Marker) –  
Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

## 5.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf den Observationspunkt (OP) dargestellt.

Laut dem LAI-Leitfaden findet eine erhebliche Belästigung (durch PVA-bedingte Lichtimmissionen) statt, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden pro Jahr Blendwirkungen erfährt [2]. Jedoch sind laut der Leitlinie für die Ermittlung der Blendzeiträume nicht alle Reflexionen zu berücksichtigen.

Der LAI-Leitfaden schreibt für die Ermittlung der Blendzeiträume ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell vor, das die Solarmodule als ideal verspiegelte Oberflächen darstellt [2]. Eine Spiegeloberfläche reflektiert Sonnenlicht gerichtet – es kommt also zu keiner (bzw. nur einer sehr kleinen) Streuung des Sonnenlichts (bei weniger Streuung verkleinern sich die Blendzeiträume). In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, welches die oberflächenspezifischen Eigenschaften von realen Solarmodulen berücksichtigt. Um dennoch eine Auswertung nach der LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden die Blendwirkungen, die mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden würden, im Folgenden als sog. „**Kernblendung**“ bezeichnet (die übrigen als sog. „**gestreute Reflexion**“) und stets differenzierbar dargestellt.

Außerdem sollen laut der LAI-Leitfaden Reflexionen, welche am Immissionsort mit einem **Differenzwinkel von  $\leq 10^\circ$**  in Relation zur direkten Sonnenstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendwirkungen betrachtet werden [2]. Somit wird der Umstand berücksichtigt, dass wenn die Sonne tief und aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexionen an den Modulen, die PVA-bedingten Blendwirkungen von der Sonne überlagert werden. Auch diese Reflexionen werden im Folgenden differenzierbar dargestellt (sofern sie auftreten).

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

## 5.2.1 Zusammenfassung

Zusammenfassung der relevanten Blendzeiträume (Kernblendung) bei einer Ost-West-Ausrichtung

Observationspunkt	Azimut	Modulneigung*	Max. tägl. Blenddauer in Minuten (Kernblendung)	Jährliche Blenddauer (gesamt) in Minuten (Kernblendung)
1	180°	20°	Keine bzw. insignifikant (Hindernisse blockieren die Sicht auf die PVA)	
2	180°	20°	14**	1700**
3	180°	20°	12**	1360**
4	180°	20°	Keine bzw. insignifikant (Hindernisse blockieren die Sicht auf die PVA)	
5	180°	20°		
1	90°/270°	20°		
2	90°/270°	20°		
3	90°/270°	20°		
4	90°/270°	20°		
5	90°/270°	20°		

\*Die Ergebnisse unterscheiden sich bei den betrachteten Modulneigungswinkeln (15°, 20° und 25°) nur geringfügig, dementsprechend werden nur die Ergebnisse für einen Neigungswinkel von 20° stellvertretend aufgeführt.

\*\* Worst-Case-Betrachtung: Es wurde zur Vereinfachung angenommen, dass keine Hindernisse zwischen dem OP und der PVA existieren.

## 5.2.2 Süd-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen ( $15^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $25^\circ$ ) in diesem Fall nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von  $20^\circ$  (stellvertretend für alle) dargestellt.

### 5.2.2.1 Observationspunkt 1

Die Simulation hat ergeben, dass lediglich der südliche Abschnitt von Planteil 2 (Süd) Reflexionen in Richtung OP 1 emittieren kann. Diese sind von Ende März bis Mitte September zu erwarten. In diesem Zeitraum ist (überwiegend) mit Blattwerk an der Vegetation zwischen OP 1 und den reflektierenden Solarmodulen zu rechnen.

Abbildung 11 zeigt eine Aufnahme von OP 1, aufgenommen vom südlichen Abschnitt von Planteil 2 (Süd). Die Vegetation ist mit Blattwerk blickfest. Kein Fenster (o. Ä.) ist vom Anlagengelände aus sichtbar. Dementsprechend sind Blendwirkungen (im relevanten Ausmaß) an/bei OP 1 auszuschließen.

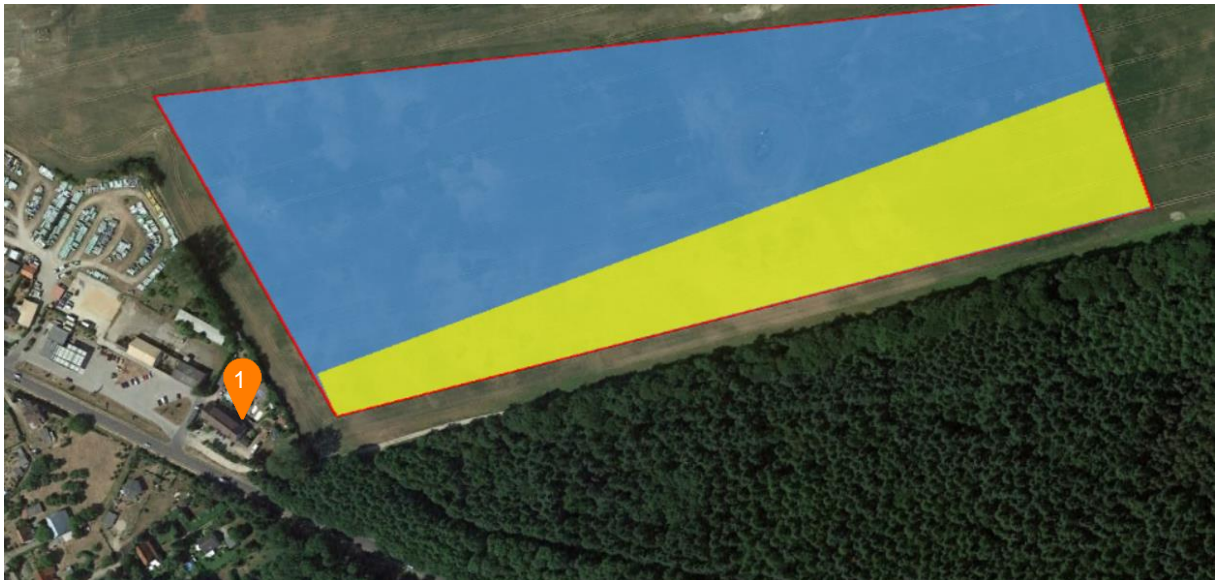


Abbildung 10: Zu OP 1 reflektierende PV-Module (grobe Position) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 11: Aufnahme in Richtung OP 1 vom südlichen Abschnitt von Planteil 2 (Süd) - Quelle: Kunde

### 5.2.2.2 Observationspunkt 2

Anders als bei OP 1 konnten bei OP 2 Blendwirkungen nicht pauschal ausgeschlossen werden. Demnach wurden hier in der Simulation keine Hindernisse berücksichtigt, um den Worst-Case abzubilden.

### Worst-Case-Betrachtung (ohne die Vegetation oder andere Hindernisse zu berücksichtigen):

Abbildung 12 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 13 die Blenddauer pro Tag für OP 2. Pro Tag finden maximal ca. 14 Minuten mit relevanten Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Im Jahr finden insgesamt in ca. 1700 Minuten (rund 28 Std.) relevante Blendwirkungen statt. Somit entsteht nach dem LAI-Leitfaden keine erhebliche Belästigung (selbst wenn eine zu 100 % freie Sicht auf die PVA bestünde), da die Grenzwerte nicht überschritten werden.

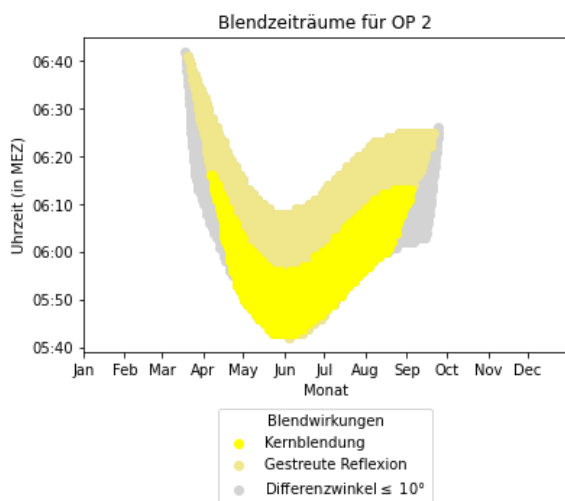


Abbildung 12: Blendzeiträume für OP 2 (Worst-Case-Betrachtung)

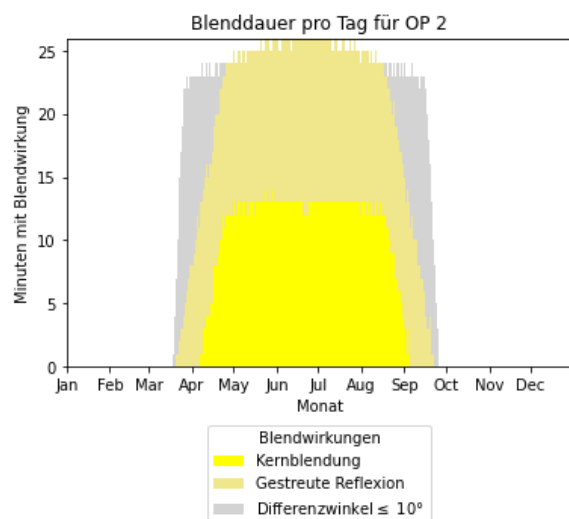


Abbildung 13: Blenddauer pro Tag für OP 2 (Worst-Case-Betrachtung)



Abbildung 14: Zu OP 2 reflektierende PV-Module (grobe Position) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 5.2.2.3 Observationspunkt 3

Anders als bei OP 1 konnten bei OP 3 Blendwirkungen nicht pauschal ausgeschlossen werden. Demnach wurden hier in der Simulation keine Hindernisse berücksichtigt, um den Worst-Case abzubilden.

**Worst-Case-Betrachtung (ohne die Vegetation oder andere Hindernisse zu berücksichtigen):**

Abbildung 15 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 16 die Blenddauer pro Tag für OP 3. Pro Tag finden maximal ca. 12 Minuten mit relevanten Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Im Jahr finden insgesamt in ca. 1360 Minuten (rund 23 Std.) relevante Blendwirkungen statt. Somit entsteht nach dem LAI-Leitfaden keine erhebliche Belästigung (selbst wenn eine zu 100 % freie Sicht auf die PVA bestünde), da die Grenzwerte nicht überschritten werden.

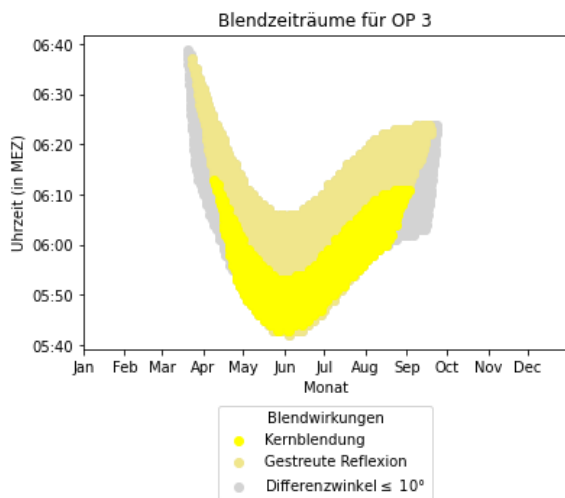


Abbildung 15: Blendzeiträume für OP 3 (Worst-Case-Betrachtung)

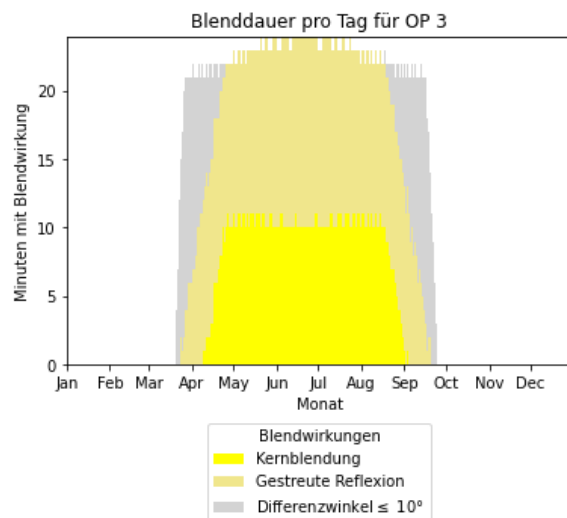


Abbildung 16: Blenddauer pro Tag für OP 3 (Worst-Case-Betrachtung)



Abbildung 17: Zu OP 3 reflektierende PV-Module (grobe Position) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

#### *5.2.2.4 Observationspunkt 4 bis 6*

Bei den Observationspunkten 4 bis 6 werden keine bzw. nur insignifikante Blendwirkungen auftreten, da zwischen den OP und Planteil 2 (Süd) (nur von dort werden Reflexionen erwartet) eine Vielzahl von Hindernissen (u. a. Gebäude und Bäume) existieren.

## 5.2.3 Ost-West-Ausrichtung

### 5.2.3.1 Observationspunkt 1

Bei einer Ost-West-Ausrichtung können lediglich im Juni und Juli von einem sehr kleinen Abschnitt von Planteil 2 (Süd) Reflexionen in Richtung OP 1 entstehen (siehe Abbildung 18). Analog zu Abschnitt 5.2.2.1 können Blendwirkungen bei OP 1 aufgrund der lokalen Vegetation ausgeschlossen werden.



Abbildung 18: Zu OP 1 reflektierende PV-Module (grobe Position) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 5.2.3.2 Observationspunkt 2 und 3

Bei einer Ost-West-Ausrichtung können Blendwirkungen bei OP 2 und 3 ausgeschlossen werden. Reflexionen zu OP 2 und 3 könnten (geometrisch betrachtet) von April bis Mitte September auftreten. Also in den Monaten, in denen die lokale Vegetation Blattwerk trägt. Die Sicht von OP 2 und 3 auf den potenziell reflektierenden Abschnitt von Planteil 2 (Süd) wird demnach von der angrenzenden, dichten Vegetation blockiert. Siehe Abbildung 11 für eine Aufnahme der lokalen Vegetation.



Abbildung 19: Zu OP 2 und 3 reflektierende PV-Module (grobe Position) - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

### 5.2.3.3 Observationspunkt 4 bis 6

Bei den Observationspunkten 4 bis 6 werden keine bzw. nur insignifikante Blendwirkungen auftreten, da zwischen den OP und Planteil 2 (Süd) (nur von dort werden Reflexionen erwartet) eine Vielzahl von Hindernissen (u. a. Gebäude und Bäume) existieren.

## 6 Umliegender Straßenverkehr

### 6.1 Übersicht

Im Folgenden werden relevante Verkehrswege (Straßen und Bahnstrecken) aufgeführt, welche aufgrund ihrer Nähe zur PVA bzgl. möglicher Blendwirkungen ausgewertet wurden. Straßen/Wege landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Art (sog. Feldwege) sowie nur sporadisch befahrene Straßen werden als nicht relevant eingestuft (und wurden somit nicht weiter betrachtet).

Als relevante Verkehrswege wurde die Bundesstraße B 109 und die Guester Straße sowie die angrenzende Bahnstrecke identifiziert. Es muss jedoch erwähnt werden, dass die Bahnstrecke nur noch (sporadisch) für Gütertransporte eingesetzt wird (Anbindung Hafen Vierow sowie Zwischenlager Nord)<sup>1</sup>.



Abbildung 20: Übersicht der relevanten Verkehrswege - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

In der Simulation wurden als Verkehrsteilnehmer PKW- und LKW-Fahrer sowie Lokführer berücksichtigt, welche sich durch ihre Sitzhöhe (und somit Augenhöhe) unterscheiden. Die Augenhöhe von PKW-Fahrern wurde auf 1,20 m, die von LKW-Fahrern auf 2,65 m und die von Lokführern auf 2,40 m festgelegt (Annahmen).

Reflexionen, welche im peripheren Sichtbereich einer Person emittiert werden, führen i. d. R. zu keiner nennenswerten Blendwirkung. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [7] auf 80° festgelegt (jeweils 40° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung der Fahrtrichtung entspricht. An Kreuzungen/Bahnübergängen wird ein Sichtfeld von 180° angenommen, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen.

<sup>1</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/de:Bahnstrecke%20Greifswald%E2%80%93Lubmin?uselang=de>

In der Simulation wurden daher nur Blendwirkungen/Reflexionen berücksichtigt, welche innerhalb des relevanten Sichtfelds emittiert werden (Abbildung 23 stellt das relevante Sichtfeld für eine fahrende Personen dar).

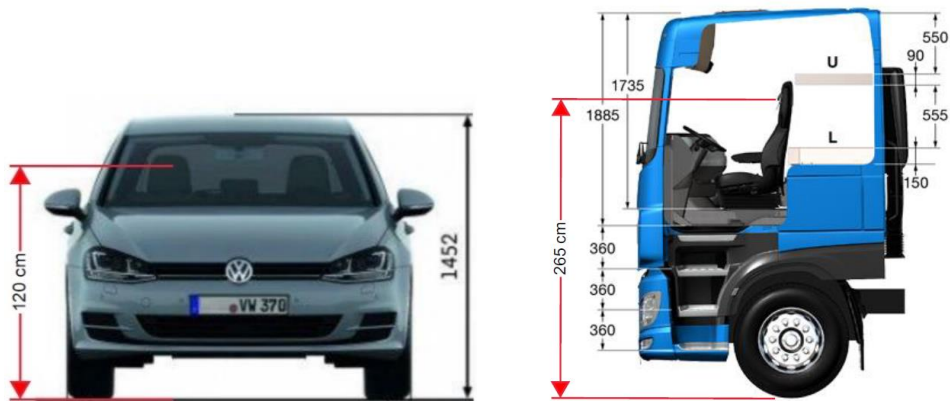


Abbildung 21: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer - Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

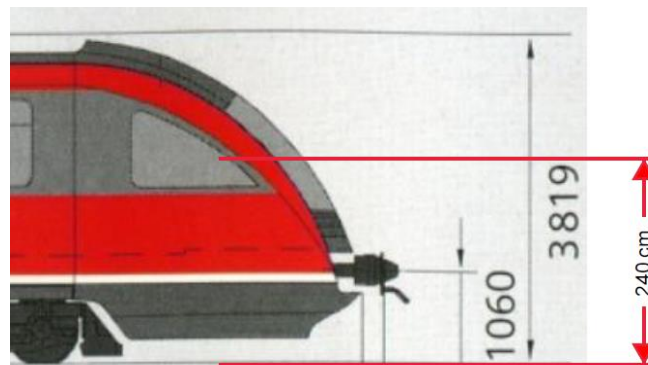


Abbildung 22: Angenommene Augenhöhe von Lokführern  
Quelle Abbildung: [www.nahverkehr-franken.de](http://www.nahverkehr-franken.de), modifiziert

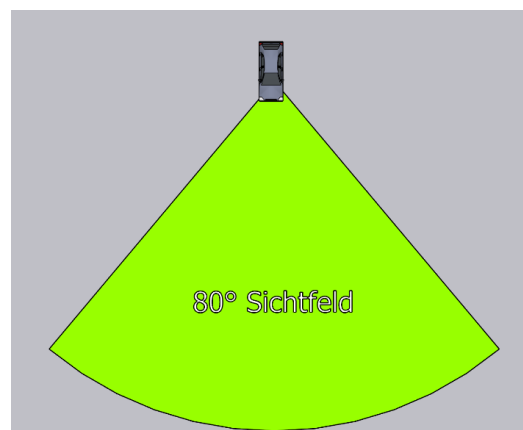


Abbildung 23: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt (anders als dargestellt ist es in der Länge nicht begrenzt) - Quelle: Eigene Abbildung

## 6.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege dargestellt.

Anders als bei der Betrachtung von Lichtimmissionen auf schutzwürdige Räume, werden bei der Betrachtung von Blendwirkungen auf den Straßen- und Bahnverkehr alle Reflexionen als relevant angesehen, welche aufgrund ihrer Intensität eine Blendwirkung bewirken könnten und nicht von der Sonne überlagert werden.

Steht die Sonne tiefer als ca. 5°, kann sie in einem Fahrzeug nicht mehr mit einer Blende verdeckt werden (Annahme). Beträgt der Differenzwinkel zwischen Reflexion und direkter Sonnenstrahlung (bezogen auf den Betrachter) zur gleichen Zeit  $\leq 10^\circ$ , so kann (in Anlehnung an [2]) angenommen werden, dass die Sonne die PVA-bedingte Blendwirkung überlagert. PVA-bedingte Blendwirkungen, die stattfinden, wenn die zwei genannten Kriterien zutreffen, werden im Folgenden differenzierbar dargestellt und als nicht relevant betrachtet.

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

### 6.2.1 Zusammenfassung

*Zusammenfassung der relevanten Blendzeiträume (Kernblendung) bei einer Ost-West-Ausrichtung*

Verkehrsweg	Azimut	Modulneigung*	Max. tägl. Blenddauer in Minuten	Jährliche Blenddauer (gesamt) in Minuten
B 109	180°	20°	50	6000
Guester Str.	180°	20°	Keine bzw. insignifikant (Hindernisse blockieren die Sicht auf die PVA)	
Bahnstrecke	180°	20°		
B 109	90°/270°	20°	51	5500
Guester Str.	90°/270°	20°	Keine bzw. insignifikant (Hindernisse blockieren die Sicht auf die PVA)	
Bahnstrecke	90°/270°	20°		
			175**	31700**

\*Die Ergebnisse unterscheiden sich bei den betrachteten Modulneigungswinkeln (15°, 20° und 25°) nur geringfügig, dementsprechend werden nur die Ergebnisse für einen Neigungswinkel von 20° stellvertretend aufgeführt.  
 \*\* Worst-Case-Betrachtung: Es wurde zur Vereinfachung angenommen, dass keine Hindernisse zwischen dem OP und der PVA existieren.

## 6.2.2 Süd-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen ( $15^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $25^\circ$ ) in diesem Fall nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von  $20^\circ$  (stellvertretend für alle) dargestellt.

### 6.2.2.1 Bundesstraße B 109

Auf der B 109 können bei Fahrtrichtung gen Südosten Blendwirkungen entstehen, wenn seitlich auf die Modulreihen Planteil 2 (Nord) geblickt wird und sich die Sonne gerade tief im Osten befindet (frühe Morgenstunden). Abbildung 24 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 25 die Blenddauer pro Tag. Es wurde angenommen, dass dichte Baumreihen die Sicht von der B 109 auf Planteil 1 verdecken. Zudem wird angenommen, dass das Siedlungsgebiet die Sicht von der B 109 auf Planteil 2 (Süd) verdeckt. Es müssen noch Maßnahmen definiert werden, um die Blendwirkung auf der B 109, ausgehend von Planteil 2 (Nord), zu unterbinden.

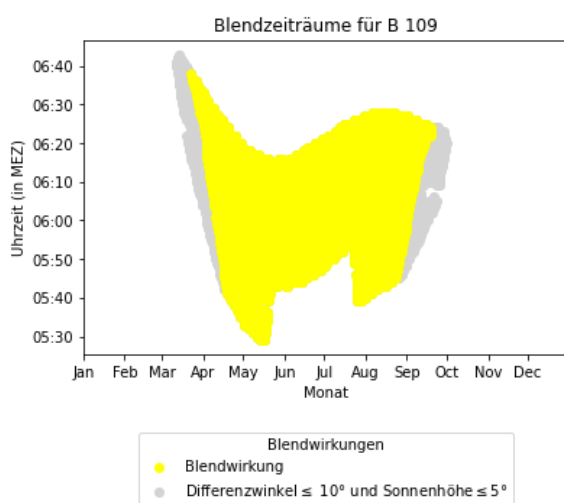


Abbildung 24: Blendzeiträume für B 109

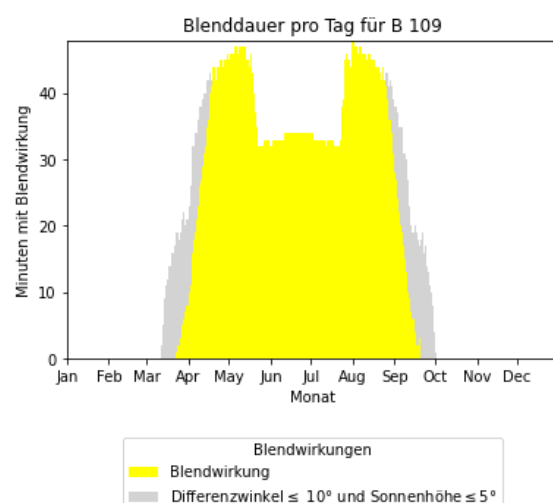


Abbildung 25: Blenddauer pro Tag für B 109



Abbildung 26: Von Blendwirkungen betroffener Abschnitt der B 109 (grobe Position).  
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



*Abbildung 27: Sicht von der B 109 in Richtung Planteil 1: Planteil 1 liegt hinter der Baumreihe im Hintergrund. Reflexionen von Planteil 1 in Richtung B 109 können nur in den Monaten (April bis Mitte September) auftreten, wenn die Baumreihe ein dichtes Blattwerk aufweist. Die Aufnahme wurde im Oktober getätigt. - Quelle: Kunde*



*Abbildung 28: Sicht vom betroffenen Abschnitt der B 109 auf Planteil 2: Die Vegetation ist lückenhaft und es besteht teilweise freie Sicht auf das Anlagengelände - Quelle: Kunde*

#### **6.2.2.2 Guester Straße**

Es konnten keine Blendwirkungen auf der Guester Straße ermittelt werden, welche nicht durch den Siedlungsbereich (Diedrichshagen) abgehalten werden. Blendwirkungen auf der Guester Straße sind demnach auszuschließen.

### 6.2.2.3 Bahnstrecke

In Richtung Bahnstrecke können lediglich Modultische reflektieren, welche sich nördlich der Strecke befinden (bei einer Südausrichtung stehen die Modulreihen südlich der Strecke mit der Rückseite zu dieser). Relevante Reflexionen können nur von April bis Mitte September entstehen, also in den Monaten, in denen die lokale Vegetation Blattwerk besitzt. Vom Kunden bereitgestellte Aufnahmen zeigen, dass die Vegetation (zumindest nördlich der Bahnstrecke) einen effektiven Sichtschutz darstellt. Erhebliche Blendwirkungen können demnach voraussichtlich nicht auftreten.



Abbildung 29: Aufnahme von der B 109 auf die Bahnstrecke in Richtung Osten: Neben der Bahnstrecke existiert eine Vielzahl von Bäumen und Büschen. - Quelle: Kunde



Abbildung 30: Aufnahme von Planteil 1 in Richtung Süden: Hinter der Vegetationsreihe im Hintergrund liegt die Bahnstrecke. - Quelle: Kunde

### 6.2.3 Ost-West-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen ( $15^\circ$ ,  $20^\circ$  und  $25^\circ$ ) in diesem Fall nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von  $20^\circ$  (stellvertretend für alle) dargestellt.

#### 6.2.3.1 Bundesstraße B 109

Auf der B 109 können bei Fahrtrichtung gen Südosten Blendwirkungen entstehen, wenn auf die Modulreihen von Planteil 2 (Nord) geblickt wird und sich die Sonne gerade relativ tief im Osten befindet (Morgenstunden). Es wurde angenommen, dass dichte Baumreihen die Sicht von der B 109 auf Planteil 1 verdecken (Reflexionen von Planteil 1 sind nur in den Monaten zu erwarten, in denen die Vegetation Blattwerk trägt). Zudem wird angenommen, dass das Siedlungsgebiet die Sicht von der B 109 auf Planteil 2 (Süd) verdeckt. Abbildung 31 zeigt die Blendzeiträume und Abbildung 32 die Blenddauer pro Tag. Abbildung 33 zeigt den betroffenen Abschnitt der B 109. Es müssen noch Maßnahmen definiert werden, um die Blendwirkung auf der B 109 zu unterbinden.

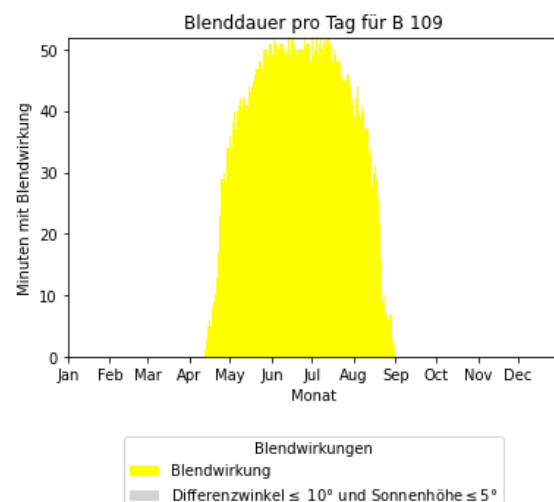
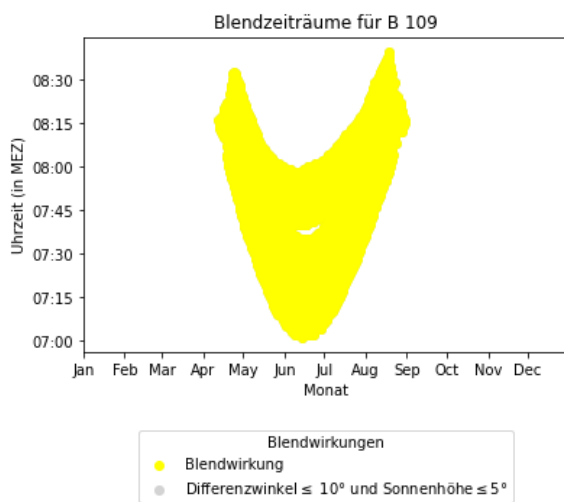




Abbildung 33: Von Blendwirkungen betroffener Abschnitt der B 109 (grobe Position).  
 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 34: Sicht vom betroffenen Abschnitt der B 109 in Richtung Planteil 1: Planteil 1 liegt hinter der Baumreihe im Hintergrund. Reflexionen von Planteil 1 in Richtung B 109 können nur in den Monaten (April bis Mitte September) auftreten, wenn die Baumreihe ein dichtes Blattwerk aufweist. Die Aufnahme wurde im Oktober getätigt. - Quelle: Kunde



*Abbildung 35: Sicht vom betroffenen Abschnitt der B 109 auf Planteil 2: Die Vegetation ist lückenhaft und es besteht teilweise freie Sicht - Quelle: Kunde*

#### **6.2.3.2 Guester Straße**

Es konnten keine Blendwirkungen auf der Guester Straße ermittelt werden, welche nicht durch den Siedlungsbereich (Diedrichshagen) abgehalten werden. Blendwirkungen auf der Guester Straße sind demnach auszuschließen.

#### **6.2.3.3 Bahnstrecke**

Anders als bei einer Süd-Ausrichtung können Blendwirkungen auf der Bahnstrecke auch in Monaten stattfinden, wo kein Blattwerk an der angrenzenden Vegetation zu erwarten ist. Die folgende Betrachtung wurde durchgeführt, ohne die Vegetation zu berücksichtigen, um die (potenziellen) Blendzeiträume aufzuzeigen. Es muss demnach geprüft werden, ob die Vegetation (Analog zu Abschnitt 6.2.2.3) auch bei einer Ost-West-Ausrichtung als effektiver Sichtschutz dienen kann. Hierzu muss das Sichtschutzpotenzial der Vegetation Anfang Februar und Anfang November analysiert werden. Wird festgestellt, dass die Vegetation auch im blattlosen bzw. blattarmen Zustand die Sicht von der Bahnstrecke auf die Anlage unterbindet, so kann wie in Abschnitt 6.2.2.3 das Fazit gezogen werden, dass die Vegetation eine effektive Blendschutzmaßnahme darstellt.

## Worst-Case-Betrachtung (ohne die Vegetation zu berücksichtigen):

Auf der Bahnstrecke können bei beiden Fahrtrichtungen Blendwirkungen entstehen, wenn auf die PV-Module von Planteil 1 und 2 geblickt wird. Die Blendwirkungen bei Fahrtrichtung gen Westen treten in den Abendstunden und die bei Fahrtrichtung gen Osten in den Morgenstunden auf.

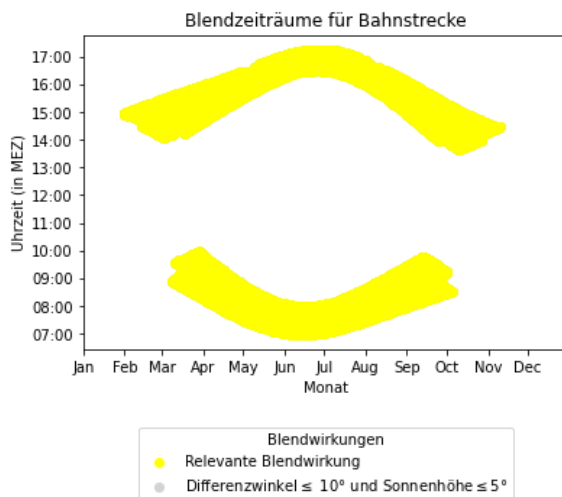


Abbildung 36: Blendzeiträume für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 und 2

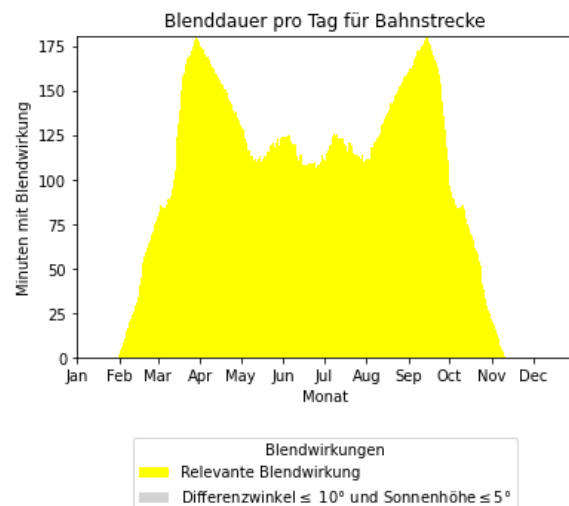


Abbildung 37: Blenddauer pro Tag für die Bahnstrecke, ausgehend von Planteil 1 und 2

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] B. CATTANEO, „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, *EU Science Hub - European Commission*, 15. Juni 2018. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (zugegriffen 17. April 2021).
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichtinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur\\_aus\\_03\\_2018\\_1520588339.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichtinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf)
- [3] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [4] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [5] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [6] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [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](https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf)