



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

## Sonnwinne Photovoltaik

Ihre unabhängigen Sachverständigen für Photovoltaik

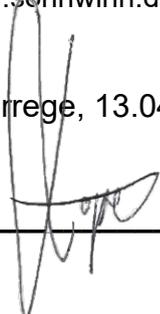
# Blendgutachten

PHOTOVOLTAIKANLAGE EICHENZELL

Bearbeitet:

Mathias Röper, M. Eng.  
Achter de Schün 1  
25436 Moorrege  
+49 4122 509100  
mathias.roeper@sonnwinn.de  
www.sonnwinn.de

Moorrege, 13.04.2022



---

Freigegeben:

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke  
Riesenweg 9  
21244 Buchholz i. d. Nordheide  
+49 4181 2326110  
marco.wilke@sonnwinn.de  
www.sonnwinn.de

Buchholz i. d. N., 13.04.2022



---

## Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	1. Fassung	13.04.2022	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 .....	6
4	Grundlagen .....	7
4.1	Blendwirkung von Modulen .....	7
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	10
5	Umliegende Immissionsorte .....	11
5.1	Übersicht.....	11
5.2	Simulationsergebnisse .....	12
6	Umliegender Verkehr .....	13
6.1	Übersicht.....	13
6.2	Simulationsergebnisse .....	15
6.2.1	Autobahn A 7 .....	15
6.2.2	Autobahn A 66 und Dreieck Fulda.....	17
6.2.3	Kreisstraße K 60 .....	17
7	Literaturverzeichnis .....	19
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT .....	20

# 1 Einleitung

Die M. Münch Elektrotechnik GmbH Co. KG (Kunde) hat Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, am 10.02.2022 damit beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) Eichenzell in 36124 Eichenzell (Landkreis Fulda) zu analysieren und zu bewerten.

## 1.1 Fragestellung

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

## 1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für die alleinige Nutzung des Kunden und in dessen Auftrag ausgearbeitet. Die Prüfungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. 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 und Angaben. Eine Besichtigung vor Ort fand nicht statt. Zudem wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Information bzgl. umliegender Gebäude, Straßenverläufe, Vegetation und der lokalen Topologie wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).

## 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 gibt [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 Dokument referenziert werden.

## 2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA Eichenzell soll auf einer ehemals landwirtschaftlich genutzten Freifläche (Acker) errichtet werden. Das Gelände befindet sich in der Gemeinde Eichenzell (PLZ: 36124), Landkreis Fulda (Hessen). Westlich des Anlagengeländes verläuft die Autobahn A 7. Das Dreieck Fulda (A 7) befindet sich 350 m entfernt südwestlich des Anlagengeländes.

Relevante Anlagenparameter werden in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die Angaben beruhen auf dem aktuellen Planungsstand.

Tabelle 1: PVA-Parameter

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	14,44 MWp
Anzahl Module	26.739 Stk.
Anlagenfläche (eingezäunt)	94.509 m <sup>2</sup> (= 9,45 ha)
Modulabmessung	2,279 m x 1,134 m
Modultyp	Luxor Solar, LX-540M182-14
Aufständigung	Jeweils 3 Module hochkant übereinander (Portrait)
Modulneigung	17°
Modulausrichtung (Azimut)	155° (Südost)
Adresse	36124 Eichenzell
Geo-Koordinaten des Geländes	50°29'39.9"N, 9°43'33.9"E



Abbildung 1: Anlagenübersicht - Die Module sind als Modultische auf dem Gelände eingezeichnet.  
Quelle: Planungsunterlagen, Google Earth (modifiziert)



Abbildung 2: Aufnahme des Anlagengeländes vom südwestlichen Ende in Richtung Nordosten - Quelle: Kunde



Abbildung 3: Aufnahme des gesamten Anlagengeländes, aufgenommen in Richtung Norden - Quelle: Kunde (modifiziert)

### 3 Zusammenfassung der Ergebnisse

#### **Umliegende Gebäude**

Die Simulation hat ergeben, dass die PVA keine Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf umliegende, schutzwürdige Räume verursachen wird. Diese sind aufgrund der Modulausrichtung (nach Südosten) geometrisch nicht möglich.

#### **Umliegende Verkehrswege**

Verkehrsteilnehmer auf der Autobahn **A 7** und auf der Kreisstraße **K 60** können von PVA-bedingten Blendwirkungen betroffen sein, wenn diese seitlich auf die Modultische blicken und die Sonne dabei in Blickrichtung sehr tief (kurz nach Sonnenaufgang in den Sommermonaten) im Nordosten am Horizont steht. Dies ist für jeweils einen Abschnitt auf der A 7 und auf der K 60 möglich. Die Sonne scheint dabei jedoch stets tief und aus nahezu der gleichen Richtung wie die Reflexionen an den Modulen (der Differenzwinkel zwischen direkter Sonnenstrahlung und Reflexion liegt vom Betrachter aus gesehen bei maximal  $10^\circ$ ). Die PVA-bedingten Blendwirkungen werden somit von der Sonne überlagert und sind daher als nicht relevant zu betrachten.

Auf die Autobahn **A 66** sowie auf das **Dreieck Fulda** sind geometrisch keine PVA-bedingten Blendwirkungen möglich.

#### **Fazit**

Das Gutachten hat ergeben, dass die geplante PVA keine Belästigungen in/an schutzwürdigen Räumen und keine relevanten Blendwirkungen für Straßenverkehrsteilnehmer verursachen wird.

## 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].

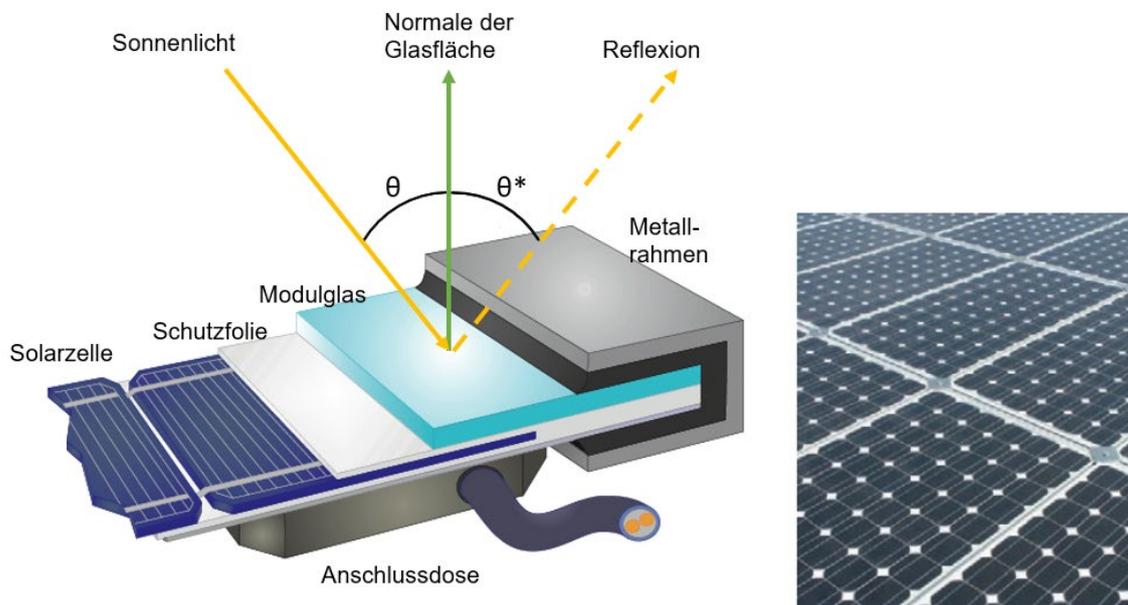


Abbildung 4: Aufbau eines Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ –  
Quelle: [4], modifiziert

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %), vorausgesetzt, der Einstrahlungswinkel  $\theta$  (siehe Abbildung 4) ist klein. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass trotz Texturierung und Antireflexionsschicht der Anteil des reflektierten Sonnenlichts bei höherem Einstrahlungswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 5).

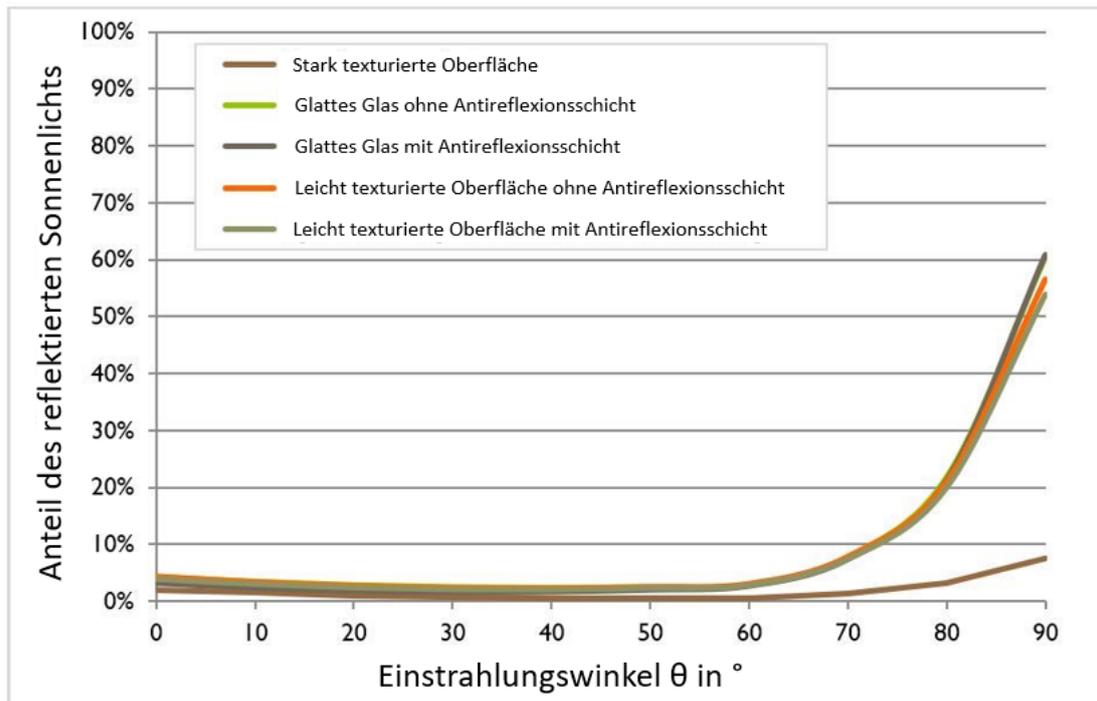


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einstrahlungswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [5], modifiziert

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 deutlich weniger intensiv, aber dafür 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. Fensterscheiben oder Wasserflächen zu vergleichen, wo das Sonnenlicht gerichtet reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen i. d. R. eine Antireflexionsschicht sowie zumindest eine leicht texturierte Oberfläche.



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

Dem Datenblatt des Moduls, welches auf der Anlage verwendet werden soll, ist zu entnehmen, dass das Modulglas eine entsprechende Antireflexionsschicht besitzt. Eine leichte Oberflächentextuierung wird angenommen.

Technische Daten	
Zellenzahl (Matrix)	144 (6 x 24)   182 mm x 91 mm
Modulmaße (L x B x H) <sup>3</sup>   Gewicht	2279 mm x 1134 mm x 35 mm   29 kg
Glas Vorderseite	3,2 mm gehärtetes, hochtransparentes Glas mit Antireflexionstechnik
Rahmen	stabiler, eloxierter Aluminiumrahmen
Anschlussdose	mindestens IP67
Kabel	symmetrische Kabellängen > 1,4 m und 1,4 m, 4 mm <sup>2</sup> Solarkabel
Dioden	3 Schottky Dioden
Steckverbindung	MC4 oder gleichwertig (IP67)
Hageltest (max. Hagelschlag)	∅ 45 mm   Aufprallgeschwindigkeit 23 m/s ± 83 km/h

Abbildung 7: Ausschnitt aus dem Moduldatenblatt – Quelle: Luxor Solar

## 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].

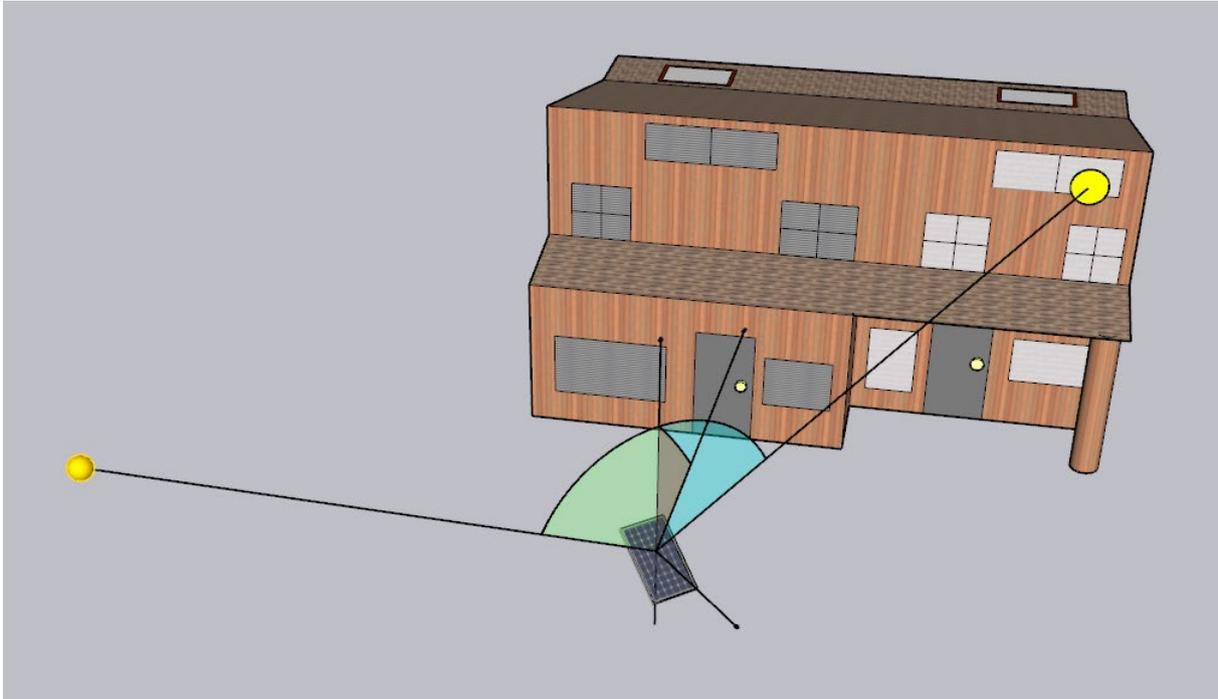


Abbildung 8: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

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 – daher stellen Zeitraumangaben für Lichtimmissionen bzw. Blendwirkungen sog. „Worst-Case“-Betrachtungen dar. Außerdem werden keine Hindernisse (z. B. Vegetation oder Gebäude) zwischen der PVA und dem Immissionsort in der Simulation berücksichtigt. Sofern Hindernisse jedoch relevant sind, werden diese in einer zweiten Betrachtungsstufe berücksichtigt und diskutiert. Eine vollständige Liste der Annahmen und Limitationen bzgl. der Simulation können Anhang A entnommen werden.

## 5 Umliegende Immissionsorte

### 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 relevanten Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

In der Umgebung der geplanten PVA befinden diverse schutzwürdige Räume, welche in Gruppen (siehe Tabelle 2) zusammengefasst werden. Die Gruppen umfassen jeweils ausdrücklich nur die Räume, welche (entsprechend LAI-Leitfaden) als schutzwürdig gelten. Abbildung 9 zeigt das Anlagengelände zusammen mit den Gruppen der umliegenden, schutzwürdigen Räume. Blendwirkungen auf weiter entfernte schutzwürdige Räume (welche nicht Teil einer aufgeführten Gruppe sind) können bereits im Vorfeld ausgeschlossen werden.

Tabelle 2: Übersicht der Gruppen von umliegenden, schutzwürdigen Räumen

Nr.	Gruppe	Kategorie	Entfernung zur PVA <sup>1</sup>
1	Eichenzell	Wohn- und Arbeitsräume	640 m
2	Lingeshof	Wohn- und Arbeitsräume	300 m
3	Industriepark Rhön	Büro- und Arbeitsräume	670 m
4	Melters (Weiler)	Wohn- und Arbeitsräume	870 m

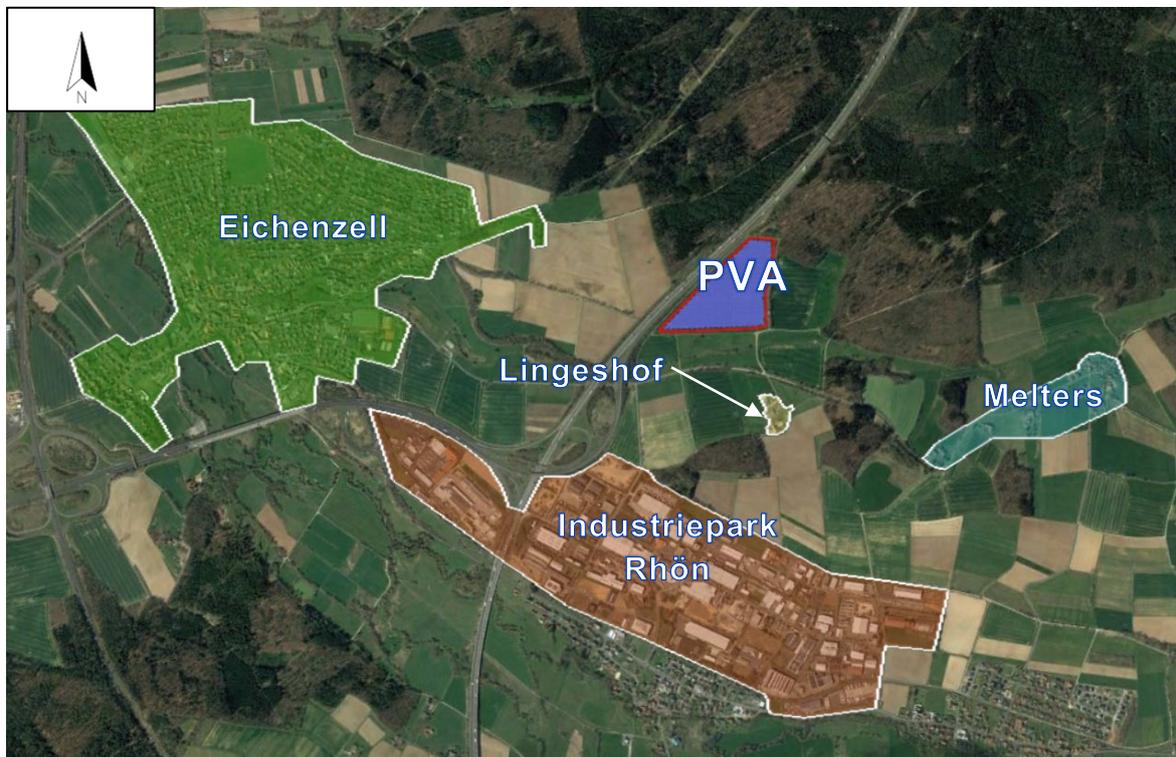


Abbildung 9: Übersicht der schutzwürdigen Gruppen - Quelle: Google Earth Pro (modifiziert)

<sup>1</sup> Berechnet wurde die Entfernung (Luftlinie) zwischen dem nächstgelegenen Gebäude einer schutzwürdigen Gruppe und der PVA.

## 5.2 Simulationsergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der relevanten, umliegenden Immissionsorte dargestellt.

*Bereinigt* bedeutet in diesem Kontext, dass Immissionen bzw. Immissionszeiträume, welche laut LAI-Leitfaden in der Auswertung nicht zu berücksichtigen sind, herausgerechnet wurden. Dementsprechend sind nur die bereinigten Werte ausschlaggebend. Der Leitfaden gibt hierzu folgende Aussagen:

- Bei der Ermittlung der Blendzeiträume soll von einem vereinfachten Model ausgegangen und die PV-Module als perfekt verspiegelte Oberflächen betrachtet werden. Diffuse Reflexionen sollen somit bei der Ermittlung der Blendzeiträume nicht mitbetrachtet werden.
- Wenn die (tiefstehende) Sonne aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexion an den PV-Modulen (ca. bei einem Differenzwinkel  $\leq 10^\circ$ ), dominiert die Blendwirkung der Sonne. Aus diesem Grund sollen Blendwirkungen der PV-Anlage zu diesen Zeiten nicht mitberücksichtigt werden.

*Tabelle 3: Simulierte Immissionszeiten für die schutzwürdigen Gruppen*

Nr.	Gruppe	Lichtimmissionen (unbereinigt) in Minuten pro Jahr	Lichtimmissionen (bereinigt) in Minuten pro Jahr
1	Eichenzell	0	0
2	Lingeshof	0	0
3	Industriepark Rhön	0	0
4	Melters (Weiler)	0	0

Die Simulation hat ergeben, dass die PVA keine Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf umliegende, schutzwürdige Räume verursachen wird. Diese sind aufgrund der Modulausrichtung (nach Südosten) geometrisch nicht möglich.

## 6 Umliegender Verkehr

### 6.1 Übersicht

Im Folgenden werden relevante Verkehrswege aufgeführt, welche aufgrund ihrer Nähe zur PVA in der Simulation berücksichtigt werden. Straßen/Wege landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Art (sog. Feldwege) sowie nur sporadisch befahrene Straßen werden als nicht relevant eingestuft und somit nicht weiter betrachtet. Straßen innerhalb einer Gruppe von schützwürdigen Räumen (z. B. Eichenzell) wurden bereits in der Simulation bzgl. der umliegenden Immissionsorte berücksichtigt (Kapitel 5).

Unmittelbar westlich des PVA-Geländes verläuft die Autobahn A 7, welche südwestlich der PVA über das Dreieck Fulda mit der A 66 verbunden ist. Zudem verläuft südlich der PVA die Kreisstraße K 60. Dementsprechend wurden die Autobahnen A 7 und A 66 samt Dreieck Fulda inkl. aller Auf- und Abfahrten und die Kreisstraße K 60 in der Simulation modelliert.

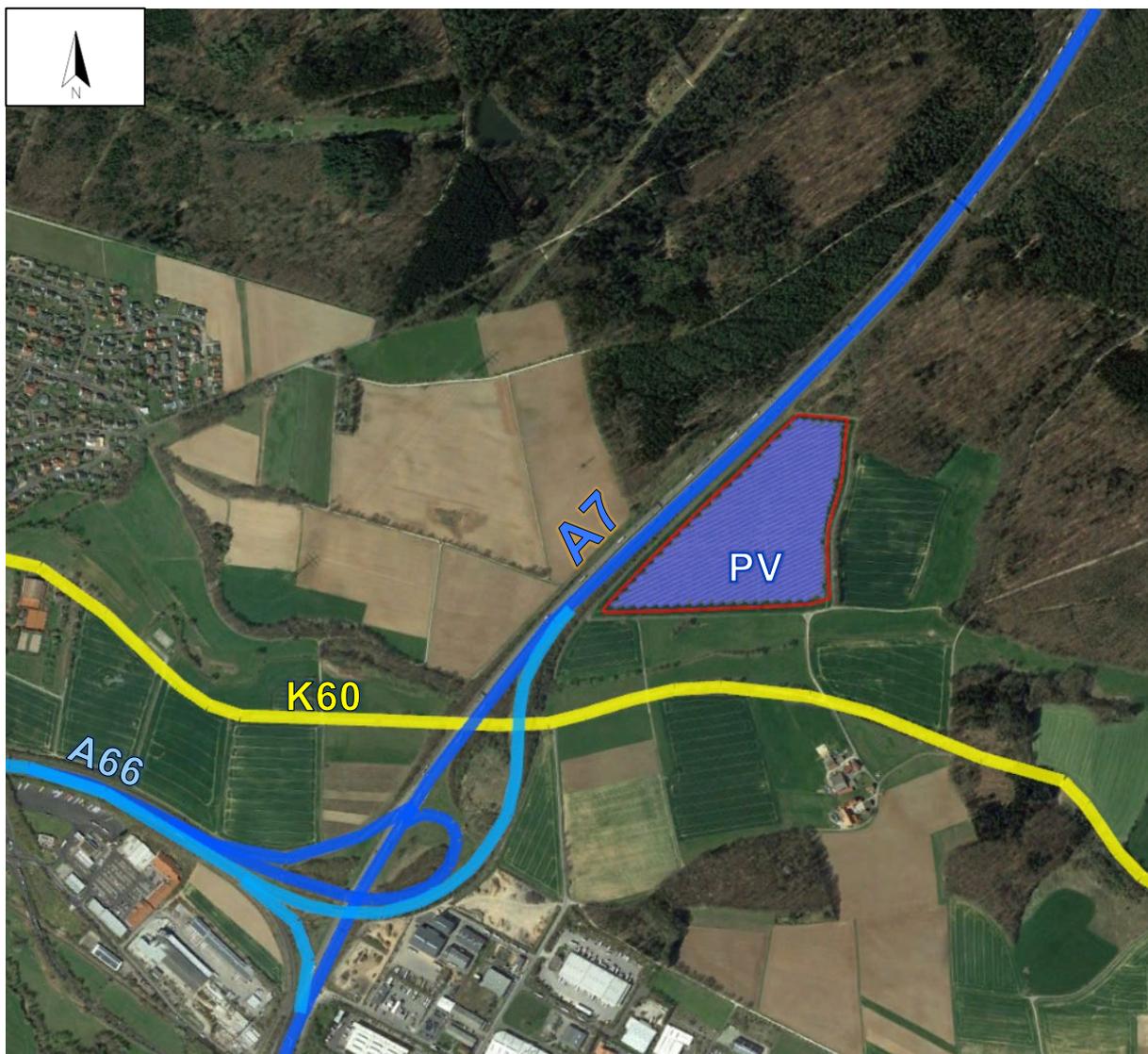


Abbildung 10: Übersicht der umliegenden, relevanten Verkehrswege -  
Quelle: Planungsunterlagen, Google Earth Pro (modifiziert)

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

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 60° festgelegt (jeweils 30° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung der Fahrtrichtung entspricht. In der Simulation werden daher nur Blendwirkungen berücksichtigt, welche innerhalb des relevanten Sichtfelds emittiert werden (siehe Abbildung 12).

Anders verhält es sich im Straßenverkehr an Kreuzungen: Hier wird ein relevantes Sichtfeld von 360° angenommen, um das Abbiegen aus verschiedenen Richtungen (mit intensivem Umschauen/Schulterblicken/etc.) zu berücksichtigen.

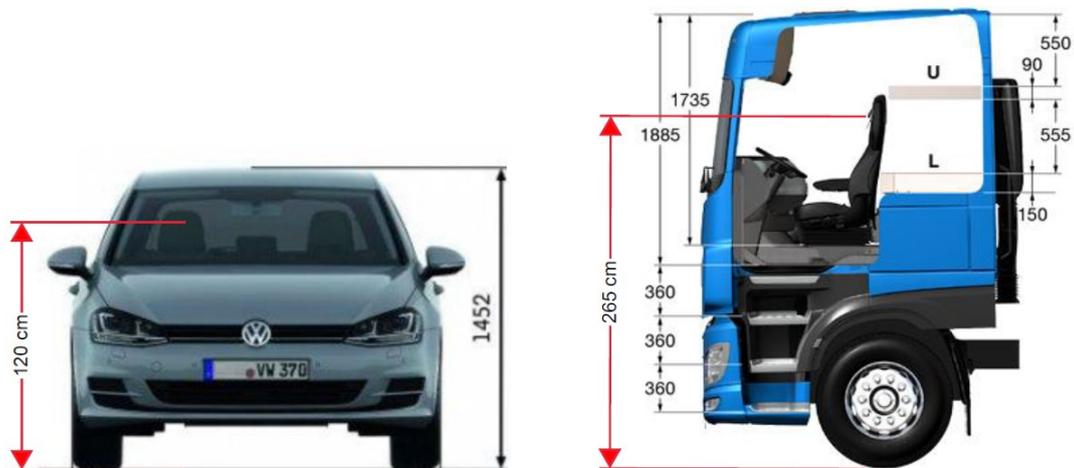


Abbildung 11: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer - Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

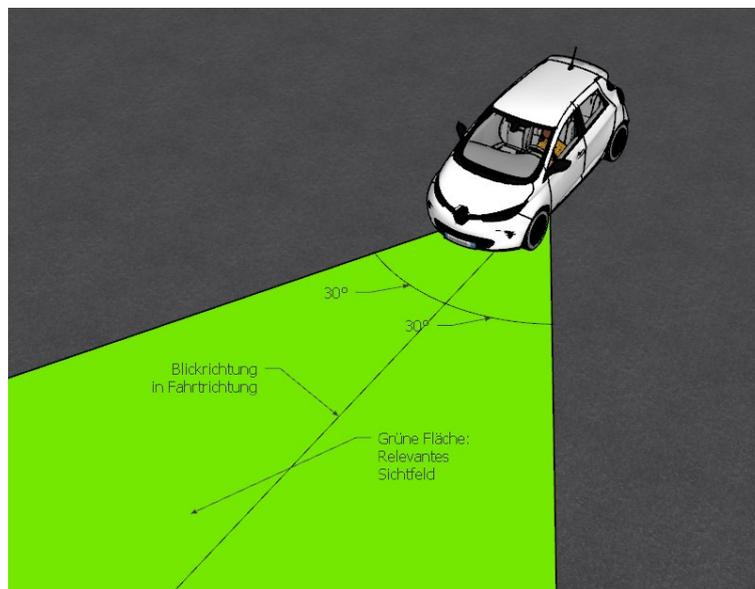


Abbildung 12: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfelds von Fahrzeugführern während der Fahrt  
Quelle: Eigene Abbildung

## 6.2 Simulationsergebnisse

### 6.2.1 Autobahn A 7

Fahrzeugführer auf der A 7 können auf einem kleinen Abschnitt südwestlich der PVA bei Fahrtrichtung gen Nordosten Blendwirkungen erfahren (siehe Abbildung 13). Diese können von Ende April bis Mitte August in den frühen Morgenstunden zwischen 5:30 Uhr und 6:30 Uhr (Sommerzeit) für maximal 25 Minuten auftreten (siehe Abbildung 14).

Innerhalb der entsprechenden Blendzeiträumen scheint die Sonne jedoch aus nahezu der gleichen Richtung wie die Reflexionen. Vom Betrachter (Fahrzeugführer) aus gesehen, befindet sich zwischen direkter Sonnenstrahlung und den Reflexionen an den Modulen ein Differenzwinkel von maximal  $10^\circ$  (im Mittel liegt er bei rund  $5^\circ$ ). Dementsprechend überlagert die direkte Sonnenstrahlung die Reflexionen an den PV-Modulen. Der beschriebene Umstand wird beispielhaft in Abbildung 15 dargestellt. Die Reflexionen können nur dann auftreten, wenn Fahrzeugführer seitlich auf die Modultische blicken und die Sonne kurz nach Aufgang sehr tief im Nordosten am Horizont steht.

Laut dem LAI-Leitfaden ist in diesem Fall die PVA nicht als eigenständige Ursache/Quelle von Blendwirkungen zu betrachten [2]. Die ermittelten Blendwirkungen der PVA auf die A 7 sind daher als nicht relevant zu klassifizieren.

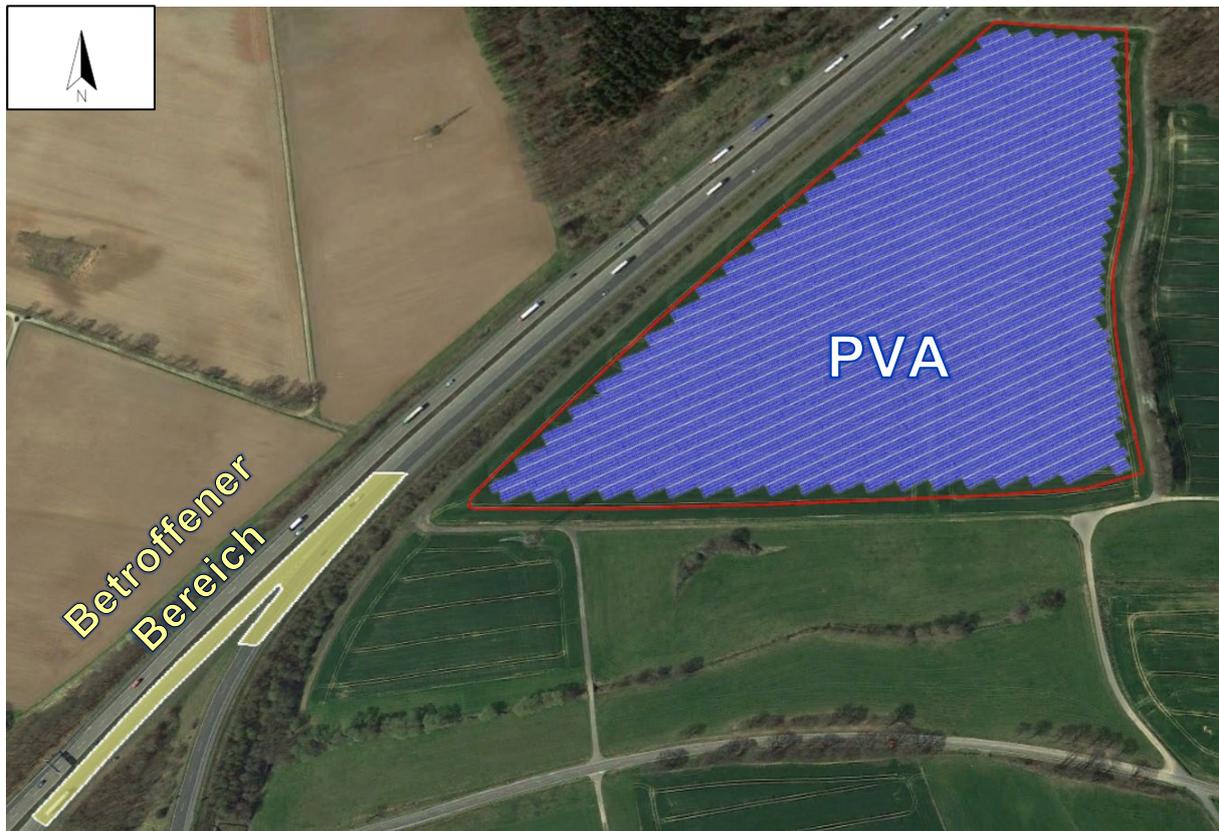


Abbildung 13: Abschnitt der A 7 mit Blendwirkung - Quelle: Google Earth Pro (modifiziert)

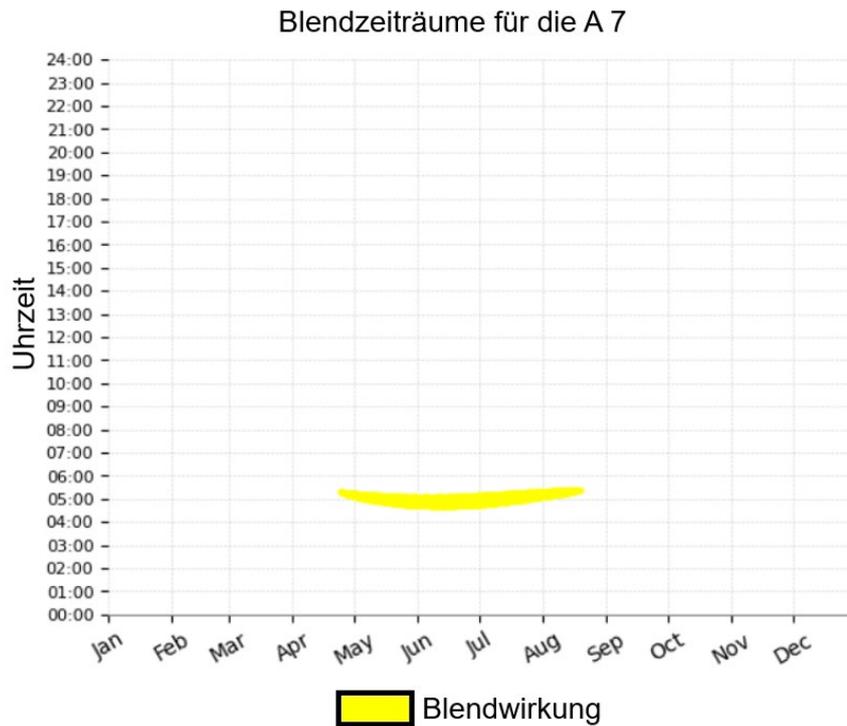


Abbildung 14: Blendzeiträume für die A 7 (Zeitangaben in mitteleuropäischer Normalzeit)

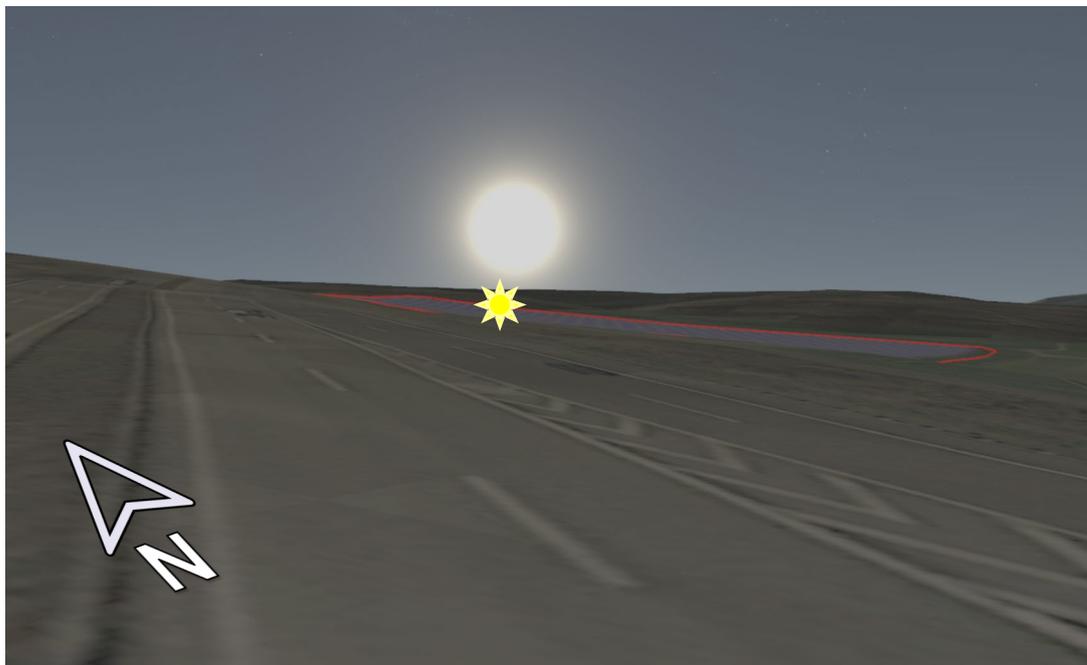


Abbildung 15: Beispielhafte Sicht eines Fahrzeugführers von der A 7 auf die PVA am 21.06. um 06:00 (Sommerzeit). Die Reflexion an den PV-Modulen wird durch ein gelbes Sonnensymbol dargestellt. Das PVA-Gelände ist rot umrandet. - Quelle: Google Earth Pro (modifiziert)

### 6.2.2 Autobahn A 66 und Dreieck Fulda

Die Simulation hat ergeben, dass die Autobahn A 66 und das Dreieck Fulda von keinen PVA-bedingten Blendwirkungen betroffen sein werden. Reflexionen von den PV-Modulen auf diese Straßen sind geometrisch nicht möglich.

### 6.2.3 Kreisstraße K 60

Fahrzeugführer auf der K 60 können auf einem kleinen Abschnitt südlich der PVA bei Fahrtrichtung gen Osten Blendwirkungen erfahren (siehe Abbildung 16). Diese können von Ende April bis Mitte August in den frühen Morgenstunden zwischen 5:30 Uhr und 6:30 Uhr (Sommerzeit) für maximal 22 Minuten auftreten (siehe Abbildung 17).

Insgesamt ist die Blendwirkung auf der K 60 mit der auf der A 7 zu vergleichen. Blendwirkungen treten nur dann auf, wenn Fahrzeugführer seitlich auf die Modultische blicken und die Sonne dabei kurz nach Aufgang sehr tief im Nordosten am Horizont steht. Der Differenzwinkel zwischen direkter Sonnenstrahlung und den Reflexionen an den PV-Modulen liegt vom Betrachter aus gesehen bei maximal  $8,7^\circ$  (im Mittel bei rund  $4^\circ$ ). Dementsprechend überlagert die direkte Sonnenstrahlung die Reflexionen an den PV-Modulen.

Laut dem LAI-Leitfaden ist auch in diesem Fall die PVA nicht als eigenständige Ursache/Quelle von Blendwirkungen zu betrachten [2]. Die ermittelten Blendwirkungen der PVA auf die K 60 sind daher als nicht relevant zu klassifizieren.

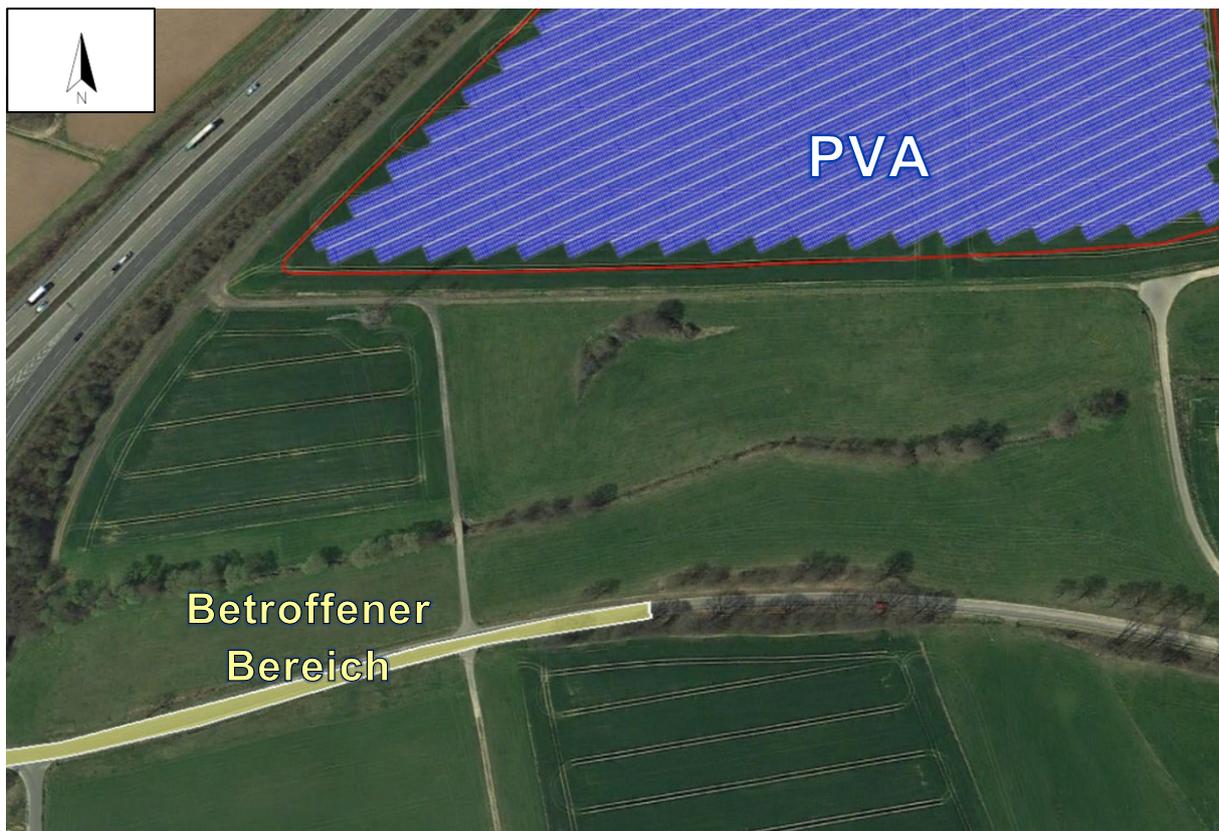


Abbildung 16: Abschnitt der K 60 mit Blendwirkung - Quelle: Google Earth Pro (modifiziert)

### Blendzeiträume für die K 60

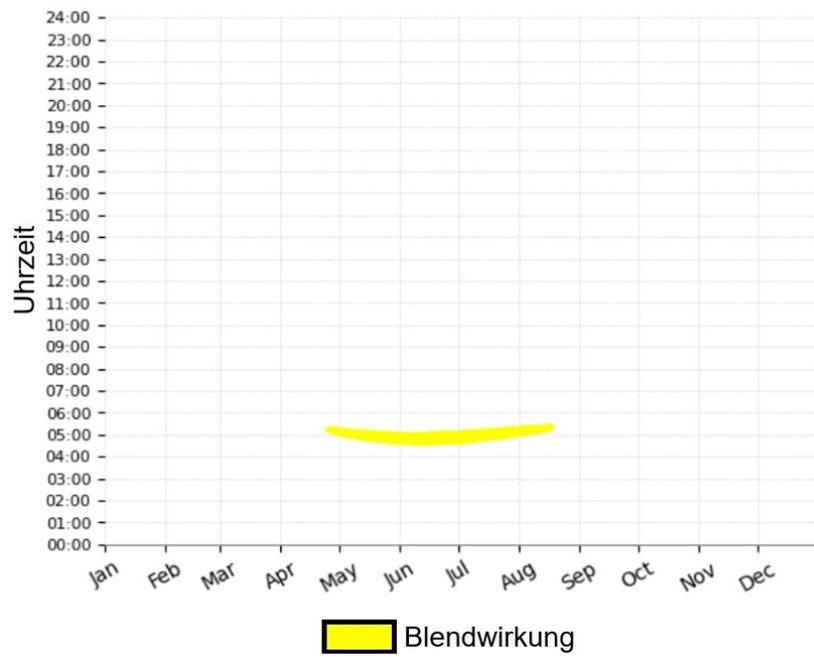


Abbildung 17: Blendzeiträume für die K 60 (Zeitangaben in mitteleuropäischer Normalzeit)

## 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/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur\\_aus\\_03\\_2018\\_1520588339.pdf](https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-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 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)