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 HOLZHOF

VERSION 1.0

Bearbeitet:

Dr.-Ing. Stefan Bofinger
Holunderstraße 15
37284 Waldkappel-Rechtebach
+49 (0) 151 64957433
stefan.bofinger@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Rechtebach, 29.03.2024

_____

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	29.03.2024	Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3
1.1 Fragestellung 3
1.2 Haftungsausschluss 3
1.3 Datengrundlage 3
1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken 4
2 Anlagenbeschreibung 5
3 Zusammenfassung der Ergebnisse 5
4 Grundlagen 6
4.1 Blendwirkung von Modulen 6
4.2 Berechnung von Reflexionen 8
4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen 8
5 Blendwirkungen auf Gebäude 9
5.1 Auswertungsmethodik 9
5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA 10
Observationspunkte 12
Ergebnisse 13
6 Blendwirkungen auf Verkehrswege 14
6.1 Auswertungsmethodik 14
6.2 Relevante Verkehrswege 17
6.3 Observationspunkte 18
Ergebnisse 19
7 Diskussion der Ergebnisse 20
7.1 Gebäude 20
7.2 Verkehrswege 21
8 Literaturverzeichnis 22
Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT 23

1 Einleitung

Herr Dr.-Ing. Stefan Bofinger, Sachverständiger für Photovoltaik, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen der folgenden Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und nach Möglichkeit zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	SWP Stadtwerke Pforzheim GmbH & Co. KG
Projektname	Solarpark Holzhof
Adresse	Holzhof, Robert-Bauer-Straße, Pforzheim,
Stand der Projektierung	☐ Bestand | ☐ Im Bau | ☒ Planung

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlage Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen bzw. Beeinträchtigungen für folgende Immissionsorte auftreten können:

- Schutzwürdige Räume (z. B. Wohnräume)
- Straßenverkehr
- Bahnverkehr
- Kanal (Binnenwasserstraße)

Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit belästigende bzw. beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Zudem werden die Ergebnisse bewertet.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde ausschließlich für den Gebrauch des Auftraggebers und in dessen Auftrag erstellt. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Trotz sorgfältiger Durchführung können Fehler oder Irrtümer nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Folgeschäden, die aus der Nutzung des Gutachtens resultieren, wird keine Haftung übernommen. Die Haftung für Schadensersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Bei Weitergabe des Gutachtens an Dritte darf dieses weder verändert noch bearbeitet werden. Eine Haftung gegenüber Dritten, die sich den Inhalt dieses Gutachtens zunutze machen, ist grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Datengrundlage

Tabelle 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA	Auftraggeber
Umliegende Vegetation	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell (DGM1)	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg

1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken

Die Auswertung der Blendwirkungen auf die Immissionsorte wurde entsprechend folgender Tabelle durchgeführt.

Tabelle 3: Methodiken

Immissionsort	Methodik
Schutzbedürftige Räume (Wohnräume, Büros etc.)	Gemäß dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden) [1]
Verkehrswege	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6)

2 Anlagenbeschreibung

Die Photovoltaikanlage (PVA) besteht aus einer Photovoltaik-Fläche (Generatorfelde). Abbildung 1 zeigt die Grundrisse der Photovoltaik-Fläche. Das Gutachten behält auch bei Änderungen der Belegung seine Gültigkeit, solange die Modultische innerhalb der in Abbildung 1 dargestellten Grundrisse verbleiben und die in Tabelle 4 aufgeführten Parameter eingehalten werden.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	48°53'38.10"N, 8°43'23.62"E
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständerung	Fest aufgeständert
Größe der PVA (Modulfläche)	*siehe Abbildung 1*
Nennleistung (DC)	Ca. 3,2 MWp
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd
Modulneigung	0°
Höhe Modulunterkante	1,00 m
Höhe Moduloberkante	3,50 m

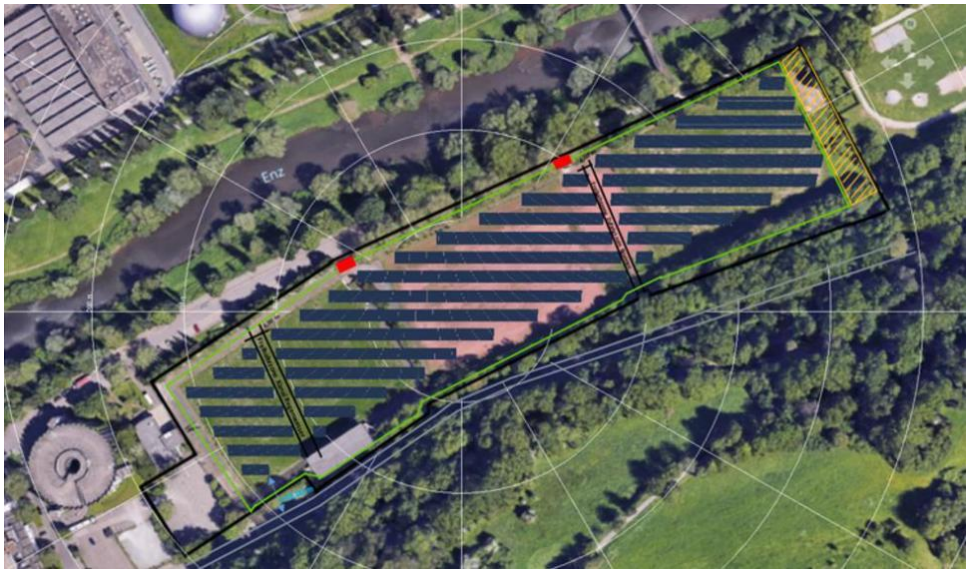


Abbildung 1: Grundriss der PV-Flächen - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Häuser werden durch die geplante PVA aus blendschutztechnischer Sicht fast nicht beeinträchtigt. Lediglich im direkt neben dem Park befindlichen Restaurantgebäude kann es zu längerfristigen Blendwirkungen kommen, sodass der Grenzwert der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) für die jährliche Gesamtblenddauer von 1.800 Minuten überschritten wird. Allerdings betrifft dies nur die frühen Morgenstunden, so dass mit einer Störung des Restaurantbetriebs nicht zu rechnen ist.

Die Kanzlerstraße könnte im zentralen Sichtfeld von ± 30° bei Fahrt Richtung Westen am Abend von Blendung betroffen sein. Diese wird jedoch durch den derzeit bestehenden Bewuchs unterbunden, so dass de facto davon auszugehen ist, dass die Kanzlerstraße durchgehend blendfrei bleibt.

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 zum Schutz vor Witterungseinflüssen 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 2) 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 3).

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

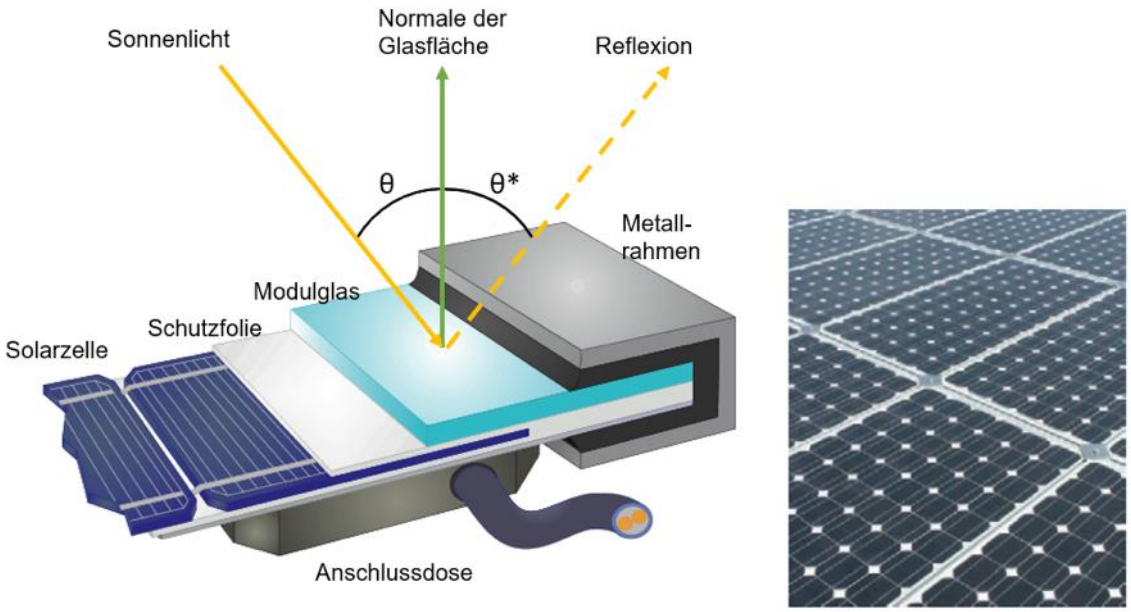


Abbildung 2: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ - Quelle: [3] (modifiziert)

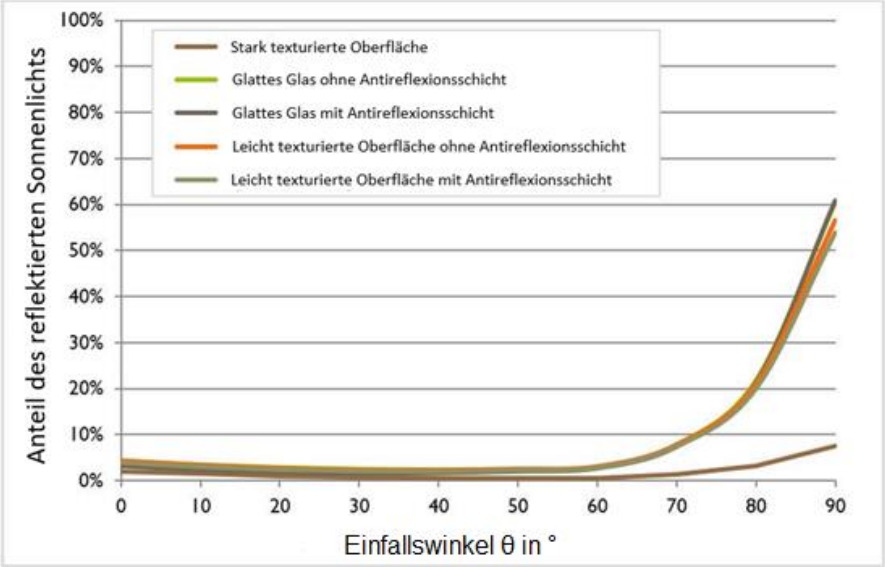


Abbildung 3: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

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

Abbildung 4: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) - Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

4.2 Berechnung von Reflexionen

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

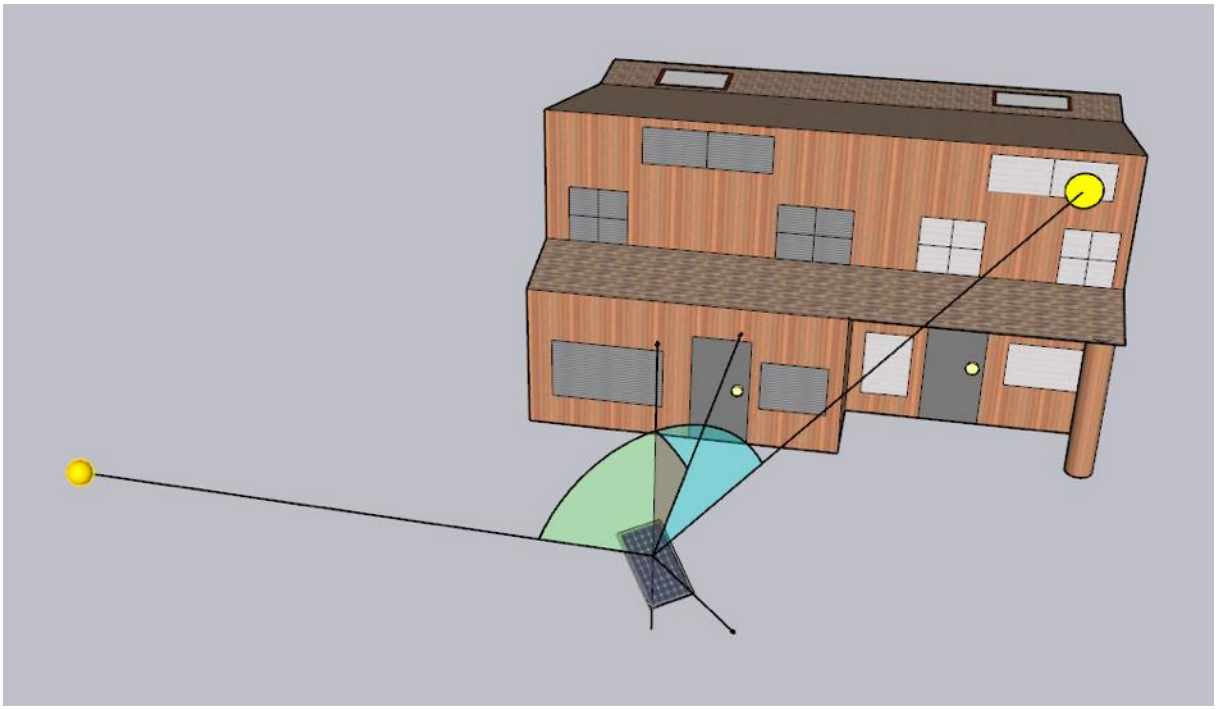


Abbildung 5: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

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

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

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

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt.

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

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

Abbildung 6 und Abbildung 7 veranschaulichen den Bereich, der 100 Meter oder näher an der Photovoltaikanlage liegt.

Innerhalb der 100-Meter-Abstandszone westlich der Photovoltaikanlage befinden sich schutzwürdige Gebäude.

Abbildung 6: Übersicht der 100-Meter-Zone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

Drei Gebäude befinden sich innerhalb der Pufferzone: Ein Parkhaus, ein Restaurant am Holzhof und ein Gebäude an der Kanzlerstraße.

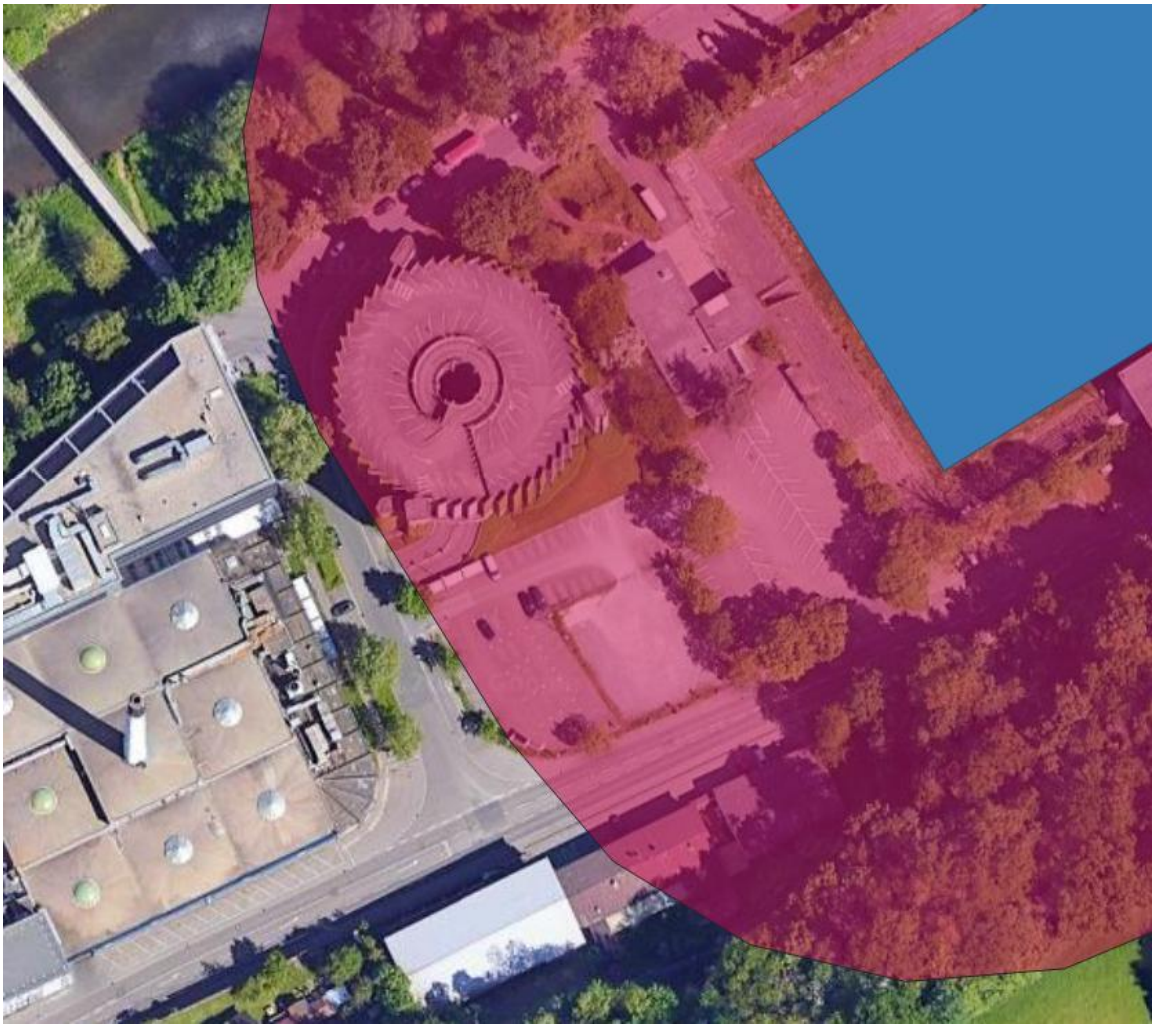


Abbildung 7: Gebäude innerhalb der 100-Meter-Abstandzone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

Observationspunkte

Zur Analyse der Blendwirkungen auf die Wohngebäude und das Restaurant innerhalb der 100-Meter-Abstandszone, die eine freie Sicht (bezogen auf die Topografie) auf die PV-Felder aufweisen, wurden sogenannte „Observationspunkte“ (OP), bezeichnet als OP H1 bis H3, definiert. Diese Observationspunkte fungieren in der Simulation als Detektorpunkte für einfallende Reflexionen.

OP Hx wurde in einer Höhe von 4,5 Metern über der Geländeoberkante angeordnet, was in etwa der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss entspricht.

Generell zeigt sich, dass Immissionsorte in höheren Lagen stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt sind als solche in niedrigeren Lagen.

Die OPs wurden am potenziell stärksten betroffenen Punkt des jeweiligen Gebäudes platziert.

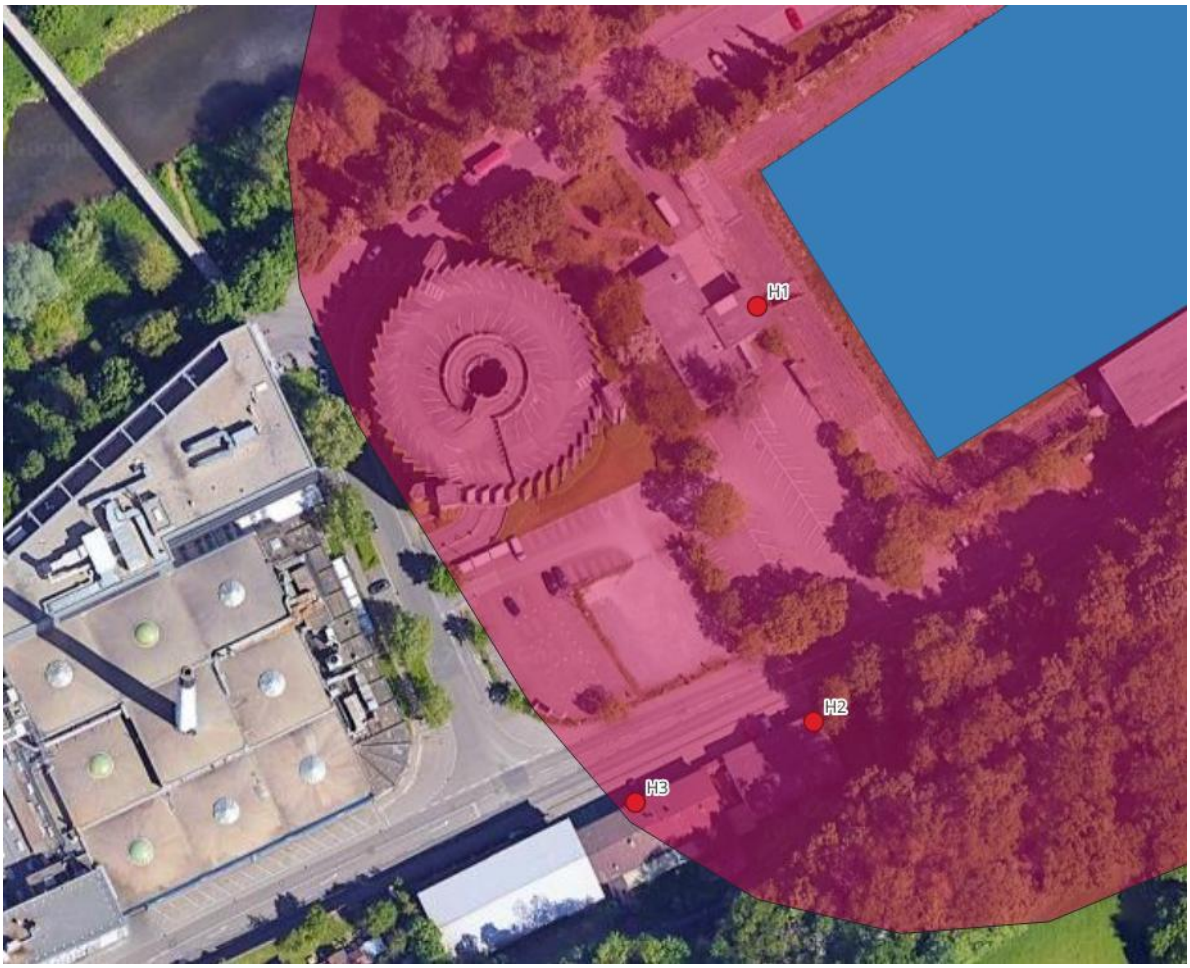


Abbildung 8: Position der OP Hx - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

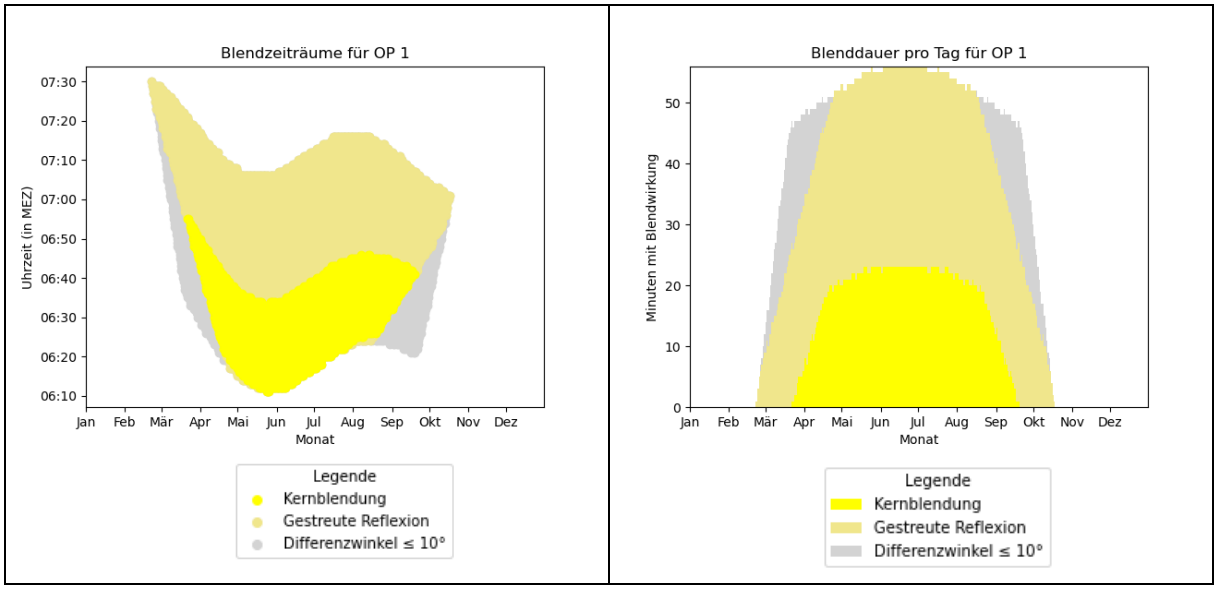
Für das Parkhaus wurde kein OP definiert, da man sich in diesem vermutlich nicht längere Zeit aufhält und somit die störende Wirkung nicht in gleichem Maße anzusetzen ist.

Ergebnisse

OP H1

Am Observationspunkt H1 können täglich bis zu 22 Minuten an Kernblendungen auftreten, was sich über das Jahr hinweg auf 3271 Minuten an Kernblendungen aufsummiert. Dies führt dazu, dass der in Kapitel 5.1 beschriebene Grenzwert für die jährliche Gesamtblenddauer überschritten wird.

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisdiagramme für OP H1



Die Blendungen treten in den frühen Morgenstunden zwischen Ende März und Ende September auf.

OP H2 und H3

Bei den beiden OP H2 und H3 treten keine Blendwirkungen auf.

6 Blendwirkungen auf Verkehrswege

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf Verkehrswege (Straßen, Bahnstrecken und Wasserwege wie Kanäle) sind in keiner Norm, Leitlinie oder sonstigen Regelwerken definiert bzw. standardisiert und werden auch im LAI-Leitfaden nicht thematisiert. Die Bewertung der Blendwirkungen auf die umgebenden Verkehrswege erfolgte daher auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und etablierter Verfahren, die im Folgenden dargestellt werden.

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf Verkehrswege ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder von Fahrzeugführern (Kraftfahrzeug- und Lokführer) zu definieren, welche sich dann durch ihre Relevanz bezüglich Blendwirkungen unterscheiden. Anschließend wird mittels Simulation geprüft, ob Reflexionen in diesen Sichtfeldern auftreten. Es wird dabei angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6].

Es wird zwischen folgenden Sichtfeldern bzw. Sichtfeldgrenzen unterschieden (siehe Abbildung 9 für eine grafische Darstellung):

- **Erheblichkeitsgrenze**: In Anlehnung an [6] und [7] wird eine Erheblichkeitsgrenze von ± 30°, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen.
- **Beeinträchtigungsgrenze**: In Anlehnung an [8] wird zudem eine Beeinträchtigungsgrenze von ± 50°, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen Beeinträchtigungen. Demnach wird diesen Reflexionen im Rahmen des Gutachtens bei normaler Fahrt keine Blendwirkung (im Sinne einer nennenswerten physiologischen Beeinträchtigung) zugeschrieben.
- **Ausnahme Bahnstrecken und Binnenwasserstraßen**: Für Lokführer und Kapitäne wird eine gemeinsame Erheblichkeits- und Beeinträchtigungsgrenze von ± 30° angesetzt.

Für die Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr genügt es, lediglich LKW-Fahrer zu betrachten, da diese höher sitzen als PKW-Fahrer - und höher gelegene Immissionsorte generell stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt sind (somit der Worst-Case betrachtet).

Des Weiteren gelten PVA-bedingte Blendwirkungen selbst innerhalb der Erheblichkeitsgrenze als vernachlässigbar (irrelevant), wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel ≤ 10° zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne ≤ 5° beträgt. Wenn beide Kriterien erfüllt sind, überlagert die Sonne die Blendwirkung der PVA aus der gleichen Richtung (definiert in Anlehnung an [1]) und kann in der Regel nicht mehr durch eine Blende abgeschirmt werden (Annahme). Die Reflexionen der PVA stellen dann keine zusätzliche Beeinträchtigung dar.

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt. Dichte Waldflächen werden hingegen als Sichtschutz berücksichtigt.

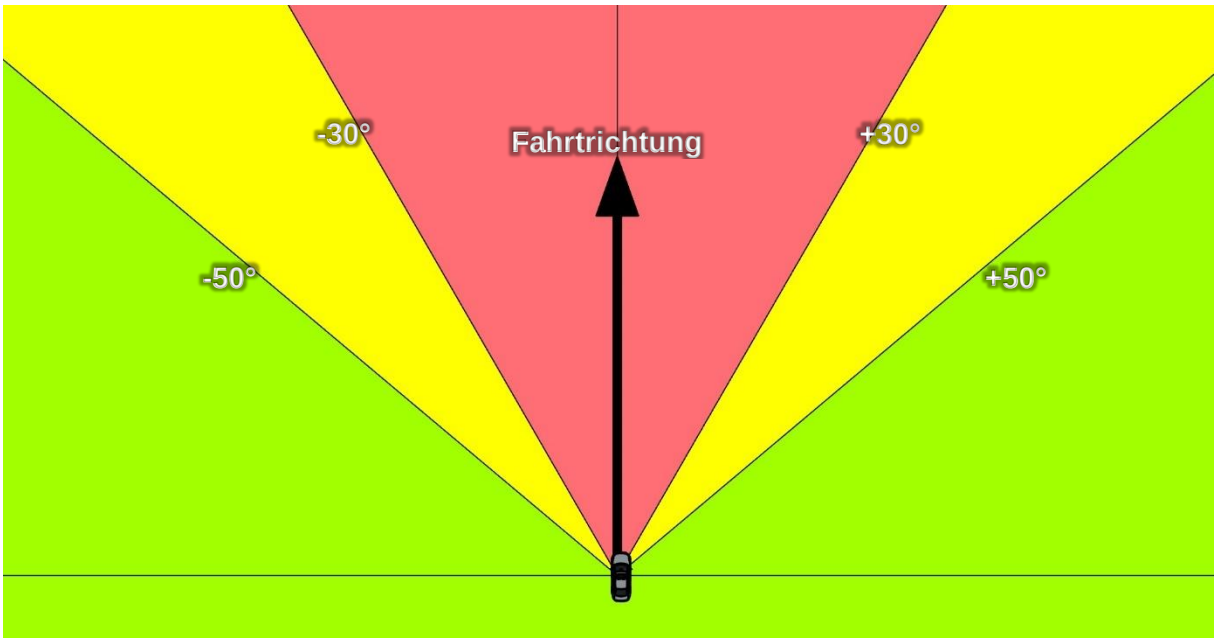


Abbildung 9: Definierte Sichtfelder eines Fahrzeugführers – Quelle: Eigene Abbildung Relevante Verkehrswege

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

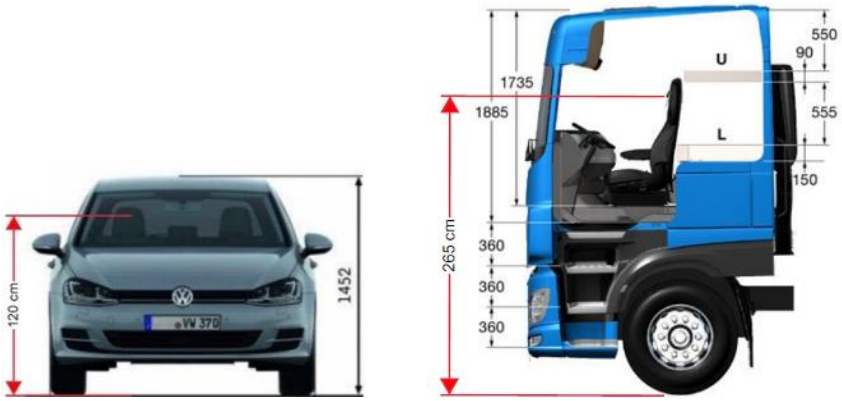


Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

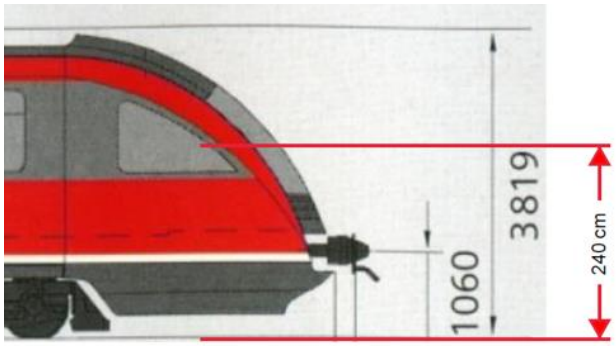


Abbildung 11: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

Abbildung 12: Aufnahme eines Binnenschiffes und Darstellung der geschätzten Augenhöhe eines Kapitäns - Quelle: www.schiffsjournal.de

6.2 Relevante Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurde als relevanter Verkehrsweg die Kanzlerstraße identifiziert.

Wirtschaftswege oder nur sporadisch befahrene Straßen wurden aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens als nicht relevant betrachtet und daher in der Analyse nicht weiter berücksichtigt.

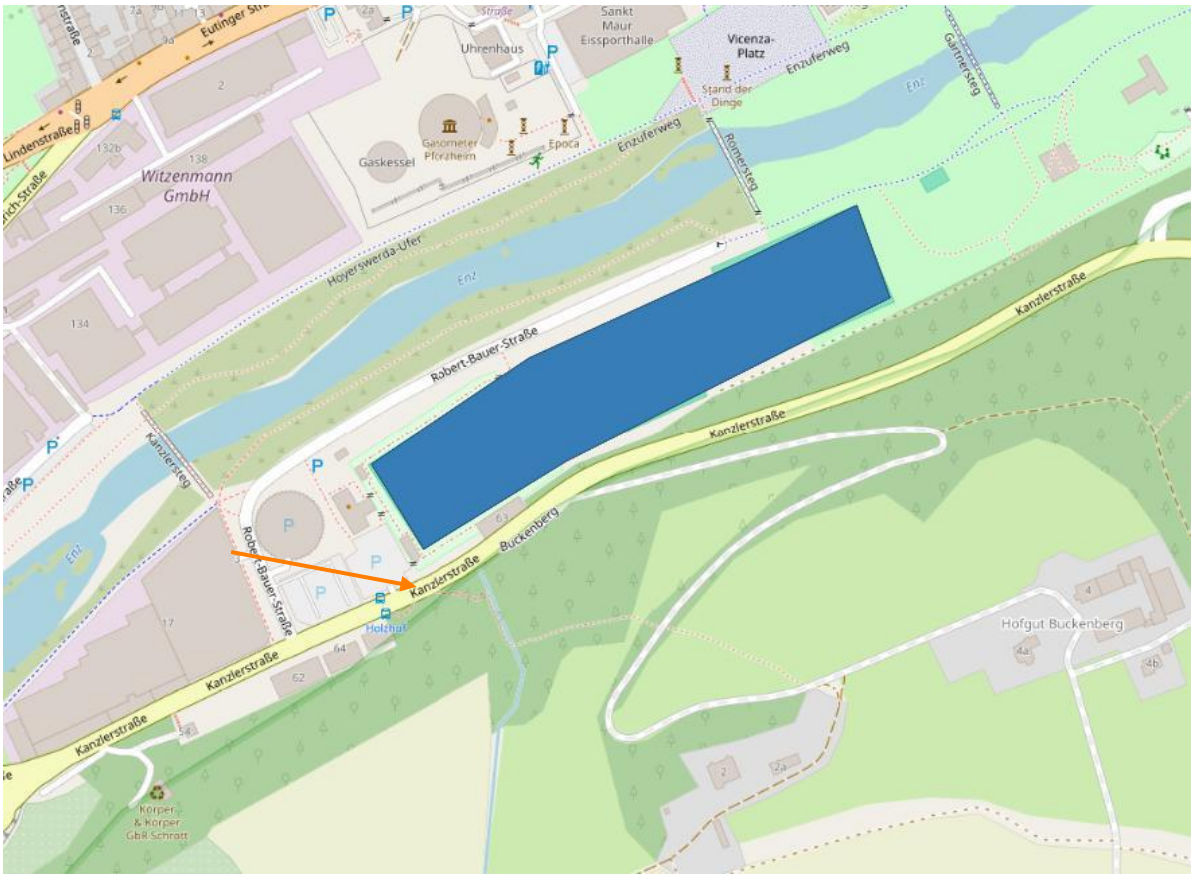


Abbildung 13: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden spezifische „Observationspunkte“ (OP) definiert, die in der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen dienen. Diese OP wurden auf einer Route angeordnet, und für diese die mögliche Blendung bestimmt.

Die Sichthöhe auf der Route ist in einer Höhe von 2,65 m über dem Straßenniveau angebracht, entsprechend der Augenhöhe eines LKW-Fahrers.

Abbildung 14 zeigt die Positionen der Route.

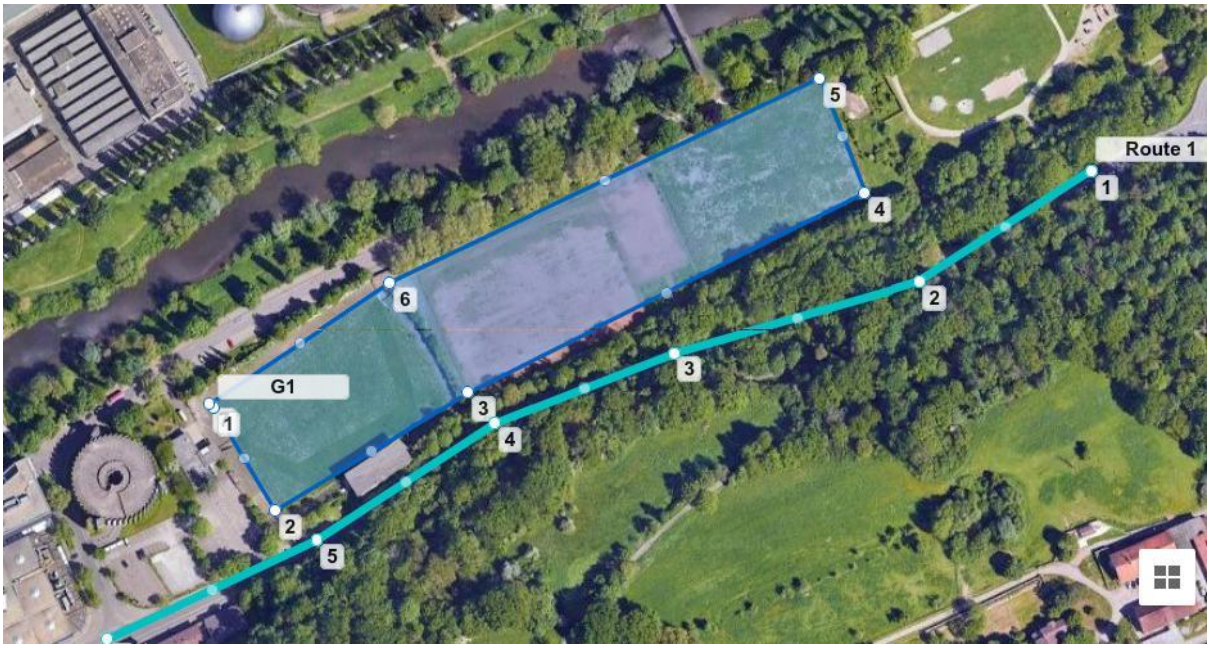


Abbildung 14: Route auf der Kanzlerstraße- Quelle Karte: OpenStreetMap

Ergebnisse

Auf der Route kann es zwischen März und Mai sowie August und Oktober bei Fahrt in Richtung Westen in den Abendstunden zu Blendung kommen. Diese kann bis zu 40 Minuten täglich betragen. Im Mittel sind es 7,5 Minuten pro Tag.

Zum Teil sind die Blendungswirkungen von der direkten Sicht in die untergehende Sonne (die um ein Vielfaches heller ist als die Rückstreuung durch die PVA) überlagert.

Diese Werte basieren nur auf der Topographie und enthalten noch keine Hindernisse wie Gebüsch, Bäume und andere Sichthindernisse.

7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld der Photovoltaikanlage existieren nur drei schutzwürdige Gebäude (zwei Gebäude an der Kanzlerstraße sowie das Restaurant Holzhof), die Sicht auf die Generatorfelder haben. Bei den Gebäuden in der Kanzlerstraße (repräsentiert durch OP H2 und H3) werden die LAI-Grenzwerte nicht eingehalten.

Die Blendung an H1, dem Restaurant Holzhof, ist aus Sicht des Verfassers ebenfalls nicht relevant (auch wenn sie über den Grenzwerten liegt):

Die Blendung tritt nur zwischen 6:10 und 7:00 Uhr für maximal 20 Minuten täglich auf. Anders als in einem Wohngebäude mit z. B. schützenswerten Räumen wie Schlafzimmern ist in einem Restaurant mit einer Störung der Gäste in den frühen Morgenstunden nicht zu rechnen, da die Hauptbetriebszeit wohl zur Mittags- und Abendessenzeit zu erwarten ist.

7.2 Verkehrswege

7.2.1 Straßen

7.2.1.1 Kanzlerstraße

Auf der Kanzlerstraße treten im zentralen Sichtfeld (± 30°, bezogen auf die Fahrtrichtung) Blendwirkungen auf. Diese werden jedoch wirkungsvoll von dem Bewuchsbestand abgeschirmt. Dies gilt auch für die Zeiten, in denen die Bäume und Büsche noch nicht vollständig belaubt sind, da auch der Holzanteil wie lamellenartige Blendschutzbarken wirkt. Die für die Fahrt wichtige Sehaufgabe erfordert nur eine Sicht nach vorn. Somit schaut der Fahrer schräg und nicht orthogonal durch die Baumreihen. Ein Blick direkt in Richtung PVA ist für die Fahrt nicht notwendig.

Daher geht der Verfasser davon aus, dass die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs nicht beeinträchtigt wird.

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 Quaschning, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.

[4] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.

[5] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.

[6] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), „Blendung durch Photovoltaikanlagen - OVE-Richtlinie R 11-3“. 2016.

[7] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.

[8] Jason A- Rogers, Clifford K. Ho, Andrew Mead, Angel Millan, Melissa Beben, und Gena Drechsler, „Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach“. 2015. Zugegriffen: 15. April 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201512.pdf

Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY — Sandia National Laboratories

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.

5 | Page

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