

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

Sonnwin Photovoltaik

Netzwerk unabhängiger Gutachter für Photovoltaik und Stromspeicher

BLENDGUTACHTEN

PVA TIEFENTHAL

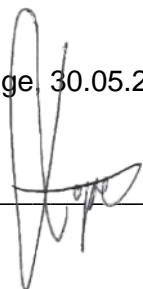
VERSION 1.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

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

Moorrege, 30.05.2023

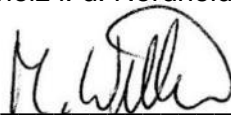


Review:

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

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

Buchholz i. d. Nordheide, 30.05.2023



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Überarbeitung der Ergebnisdiskussion	30.05.2023	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	29.03.2023	Mathias Röper

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Methodik	3
2	Anlagenbeschreibung.....	4
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
4	Grundlagen	6
4.1	Blendwirkung von Modulen	6
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	8
5	Blendwirkungen auf den Straßenverkehr.....	9
5.1	Übersicht.....	9
5.2	Erläuterung der Auswertungsmethodik.....	10
5.3	Ergebnisse (Bundesautobahn A 6).....	12
6	Literaturverzeichnis	14
Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT		15

Abkürzungsverzeichnis

LKW	<i>Lastkraftwagen</i>
MEZ	<i>mitteleuropäische Normalzeit</i>
PKW.....	<i>Personenkraftwagen</i>
PV	<i>Photovoltaik</i>
PVA.....	<i>Photovoltaikanlage</i>

1 Einleitung

Die GAIA mbH (Auftraggeber) hat Herrn Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, beauftragt, die möglichen Blendwirkungen der geplanten „PVA Tiefenthal“ in 67311 Tiefenthal zu untersuchen und zu bewerten. Das vorliegende Gutachten wurde zusätzlich von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft (Review).

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten PVA das Sonnenlicht so reflektieren, dass es zu unvermeidbaren Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßenverkehr kommt. Das vorliegende Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit Blendwirkungen auftreten können.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für den ausschließlichen Gebrauch des Auftraggebers und in seinem Auftrag erstellt. Die Berechnungen und Auswertungen wurden nach bestem Wissen und Gewissen durchgeführt. Trotz aller Sorgfalt können Fehler, Irrtümer etc. nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Folgeschäden, die sich aus der Verwendung des Gutachtens ergeben, wird daher keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadensersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wird das Gutachten an Dritte weitergegeben, darf es nicht verändert oder bearbeitet werden. Machen sich Dritte den Inhalt dieses Gutachtens zunutze, ist eine Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Datengrundlage

Die Modellierung der PVA zur Analyse möglicher Blendwirkungen basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen und Daten. Zusätzlich wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Informationen zur umgebenden Bebauung, Topografie, Straßenführung und Vegetation wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, OpenStreetMap, Geoportal RLP¹).

1.4 Methodik

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

¹ Landesamt für Vermessung und Geobasisinformation Rheinland-Pfalz

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse des vorliegenden Gutachtens zusammengefasst wiedergegeben. Detaillierte Darstellungen der Sachverhalte, Informationen bzgl. der Auswertungen und zugrundeliegende Daten/Annahmen können den entsprechenden Kapiteln entnommen werden.

Als relevanter Verkehrsweg wurde die Bundesautobahn A 6 südlich der Photovoltaikanlage (PVA) identifiziert.

Solange der Vegetationsstreifen zwischen Autobahn und PVA vorhanden ist, werden keine übermäßigen Blendeffekte für Fahrzeugführer erwartet. Sollte jedoch erwartet werden, dass die Vegetation entfernt wird, wird empfohlen, an den entsprechenden Stellen einen geeigneten Sichtschutz zu realisieren.

Fazit

Das vorliegende Gutachten analysiert und bewertet die zu erwartenden Reflexionen und Blendwirkungen der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) in Bezug auf ihre Umgebung.

Es kommt zu dem Schluss, dass die PVA unter Berücksichtigung des Blendschutzes mit ihrer Umgebung vereinbar ist. Eine Sichtschutzmaßnahme könnte notwendig werden, falls zu erwarten ist, dass der bestehende Vegetationsstreifen zwischen der A 6 und dem PVA-Gelände entfernt wird.

4 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bestimmung der Blendwirkung durch PVA dargestellt.

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein Photovoltaikmodul besteht aus einer Vielzahl von Solarzellen, die das Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Zur Stabilisierung und zum Schutz vor Witterungseinflüssen befinden sich diese in der Regel hinter einer Glasscheibe (Modulglas). Das Modulglas ist maßgeblich für die Blendwirkung verantwortlich. Da die Menge der erzeugten elektrischen Energie proportional zur Einstrahlungsstärke des Sonnenlichts ist, versuchen die Modulhersteller die Reflexionen am Modul zu minimieren - denn je geringer die Reflexionen, desto höher der Ertrag. Aus diesem Grund besitzt das Modulglas in der Regel eine spezielle Oberflächentexturierung und eine so genannte Antireflexschicht. Beides sorgt dafür, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und nicht durch Reflexionen verloren geht [2].

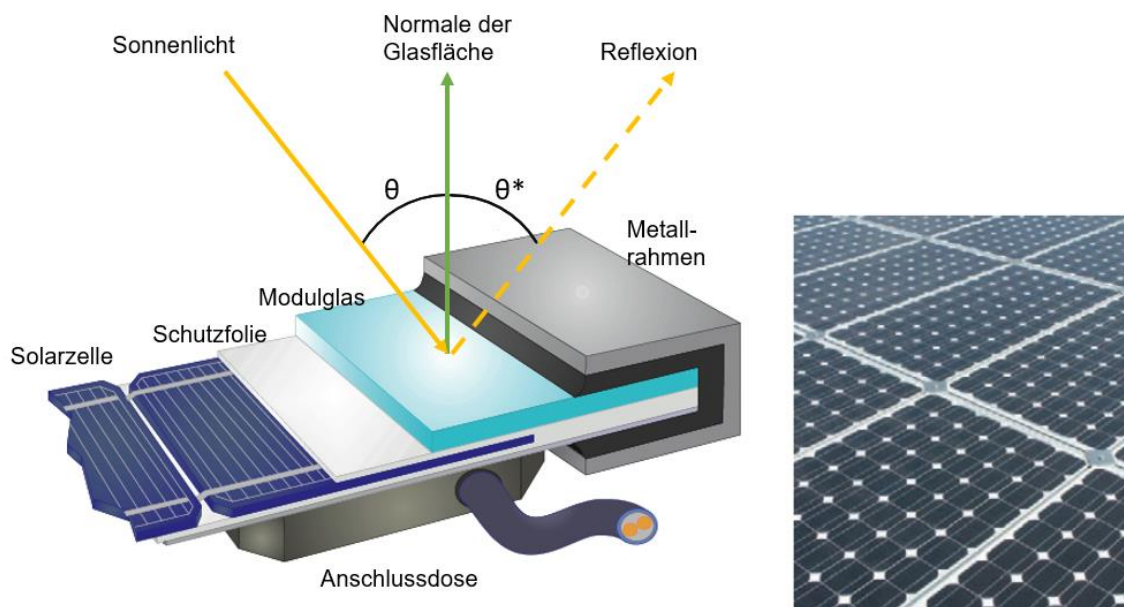


Abbildung 2: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule bei kleinen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 2) nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %). Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass trotz Texturierung und Antireflexbeschichtung der Anteil des reflektierten Sonnenlichts mit steigendem Einfallswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 3).

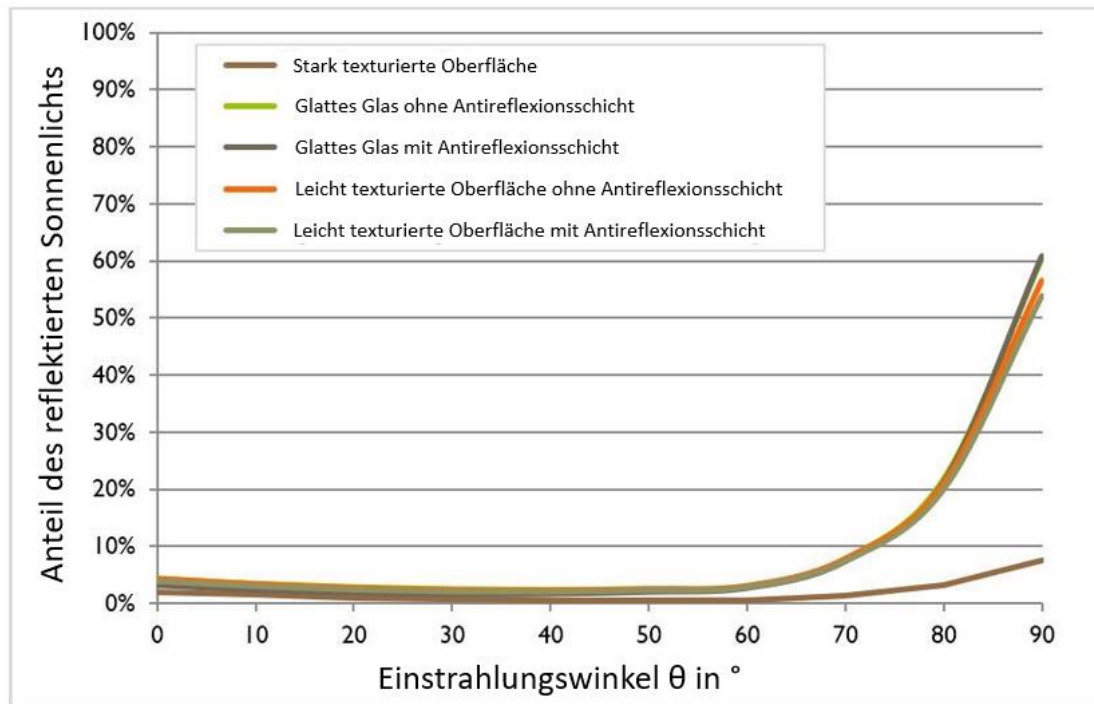


Abbildung 3: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [4], modifiziert

Da bereits Reflexionen von weniger als 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [5], müssen alle Einfallswinkel berücksichtigt werden.

Die Oberflächentexturierung des Modulglases führt dazu, dass das Sonnenlicht zwar weniger intensiv, dafür aber diffus (gestreut) reflektiert wird, d. h. der Immissionsort der Reflexion wird vergrößert. Die Intensität von Reflexionen an Solarmodulen ist daher nicht vergleichbar mit Reflexionen an z. B. glatten Fensterscheiben, bei denen das Sonnenlicht gerichteter reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen in der Regel eine Antireflexbeschichtung und zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies wird auch für die Solarmodule der geplanten PVA angenommen.



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 Modellierung der Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Dazu werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [5]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann auf Basis mathematischer Funktionen für jeden Zeitpunkt im Jahr ermittelt werden [6]. Über Winkelbeziehungen und Strahlungsgesetze kann nachvollzogen werden, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Die Berücksichtigung von modulglas-spezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch genauere Betrachtung [4].

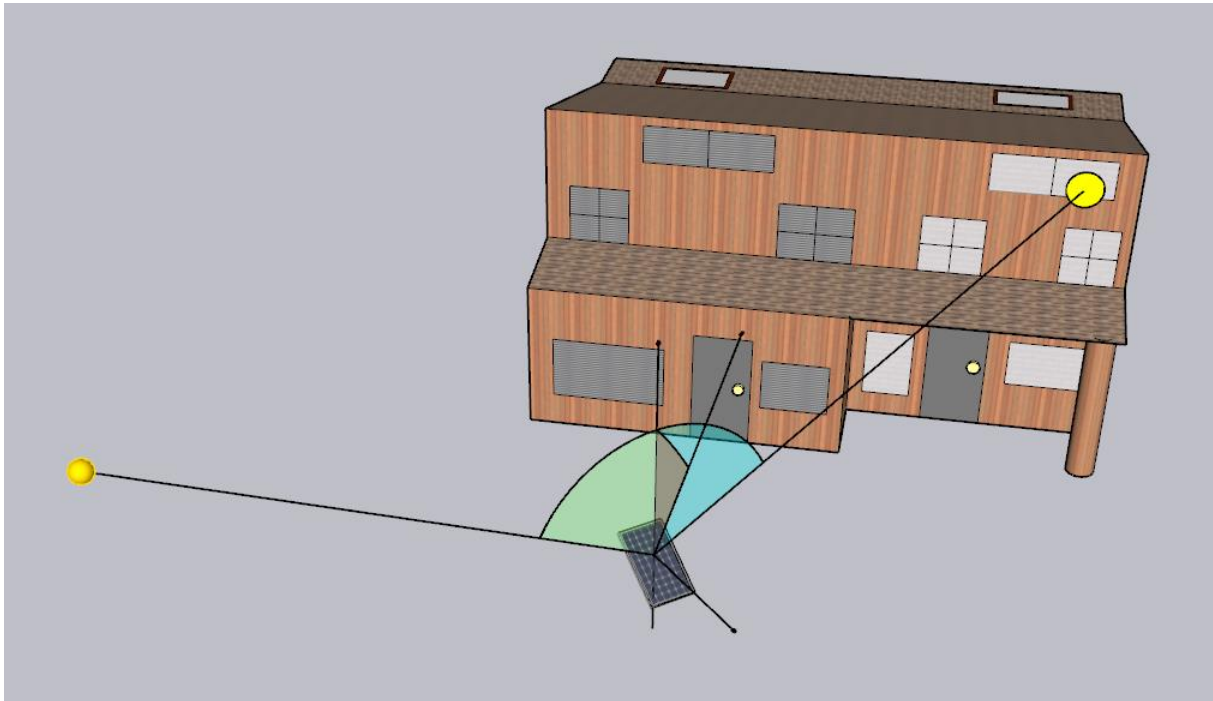


Abbildung 5: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

Im Rahmen der Simulation wird mit der Software ForgeSolar die Blendwirkung der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories. Eine Auflistung der Annahmen und Einschränkungen zur Simulation findet sich in Anhang A.

5 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

5.1 Übersicht

Im Folgenden werden die relevanten Verkehrswege aufgeführt, die aufgrund ihrer Nähe zur geplanten PVA hinsichtlich möglicher Blendwirkungen bewertet wurden. Land- und forstwirtschaftliche Wege (sog. Feldwege) sowie Straßen mit nur sporadischem Verkehr werden als nicht relevant eingestuft (und daher nicht weiter betrachtet).

Als relevanter Verkehrsweg wurde die Bundesautobahn A 6 südlich der PVA identifiziert.



Abbildung 6: Übersicht der relevanten Verkehrswege – Quelle Karte: OpenStreetMap

5.2 Erläuterung der Auswertungsmethodik

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

Für die Beurteilung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen im Verkehr ist es eine etablierte Methode, ein für Blendwirkungen relevantes (bzw. kritisches) Sichtfeld in Bezug zur Fahrtrichtung zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob in diesem Sichtfeld Reflexionen auftreten. Reflexionen im peripheren Sichtbereich einer Person führen in der Regel zu keiner maßgeblichen Beeinträchtigung. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [7] und [8] auf 60° festgelegt (je 30° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung mit der Fahrtrichtung übereinstimmt. Abbildung 8 zeigt das relevante Sichtfeld. Treten Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtfeldes auf, werden sie pauschal als vernachlässigbar angesehen (und auch simulationstechnisch nicht erfasst).

Das relevante und kritische Sichtfeld an Kreuzungen oder Bahnübergängen wird jedoch als 180°-Sichtfeld definiert, um das Umschauen in verschiedene Richtungen zu berücksichtigen.

Darüber hinaus werden PVA-bedingte Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld (das beinhaltet das kritische Sichtfeld) auch dann als vernachlässigbar eingestuft, wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne $\leq 6,5^\circ$ beträgt. Wenn beide Kriterien zutreffen, blendet die Sonne aus der gleichen Richtung und überlagert die Blendwirkung der PVA (definiert in Anlehnung an [5]) und kann tendenziell nicht mehr durch eine Blende abgeschirmt werden (Annahme). Sofern solche Blendwirkungen/Reflexionen auftreten, werden diese im Folgenden separat dargestellt.

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

Die Simulation geht immer von klarem Himmel aus - daher sind die Zeitangaben für Blendwirkungen „Worst-Case“-Betrachtungen.

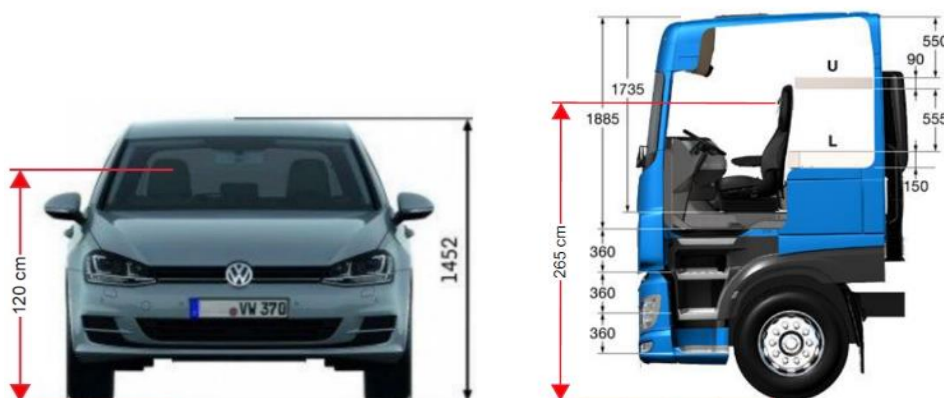


Abbildung 7: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
– Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

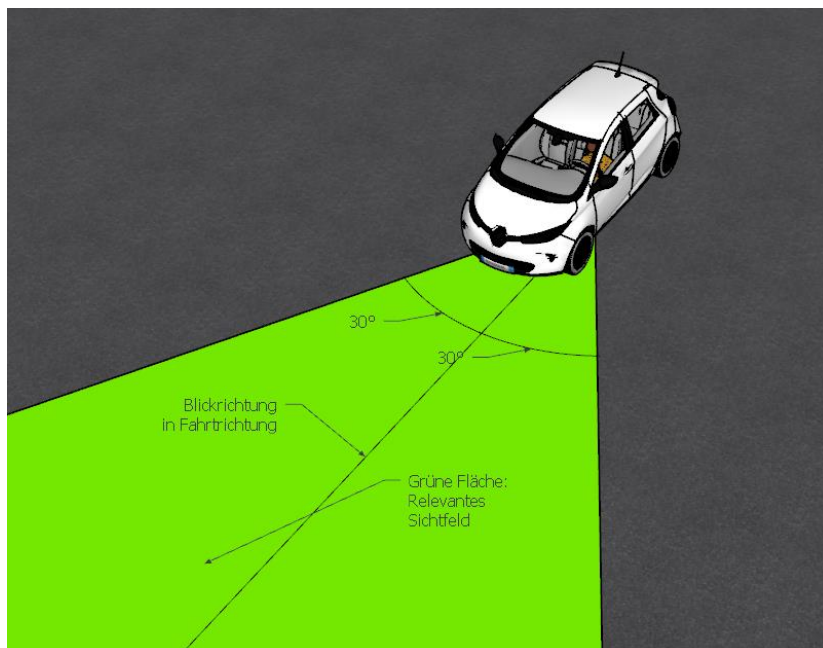


Abbildung 8: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt – Quelle: Eigene Abbildung

5.3 Ergebnisse (Bundesautobahn A 6)

Die durchgeführte Simulation hat ergeben, dass unter rein geometrischen Gesichtspunkten beeinträchtigende Blendeffekte bei Fahrtrichtung Westen auftreten könnten (siehe Abbildung 9). Allerdings ist dies nur der Fall, wenn der Vegetationsstreifen entlang der Autobahn, der als Sichtschutz dient, entfernt wird. Solange der Vegetationsstreifen vorhanden ist, wird die Situation als vertretbar eingestuft.

Es wird erwartet, dass die Vegetation von Mai bis Mitte September Blattwerk trägt und somit einen effektiven Sichtschutz darstellt. Zwar wurden Blendwirkungen auch im April berechnet (siehe Abbildung 10), jedoch hat die Simulation ergeben, dass die Blendwirkungen im April qualitativ nicht besonders stark ausfallen. Zudem stellt die Vegetation auch im blattlosen Zustand einen gewissen Sichtschutz dar (siehe Abbildung 11).

Falls erwartet wird, dass die Vegetation südlich bzw. südöstlich der PV-Anlage entfernt bzw. reduziert wird, wird empfohlen, an den notwendigen Stellen (dort, wo freie Sicht auf die PVA besteht) einen geeigneten Sichtschutz zu realisieren, der auch LKW-Fahrern die Sicht auf die PVA nimmt.

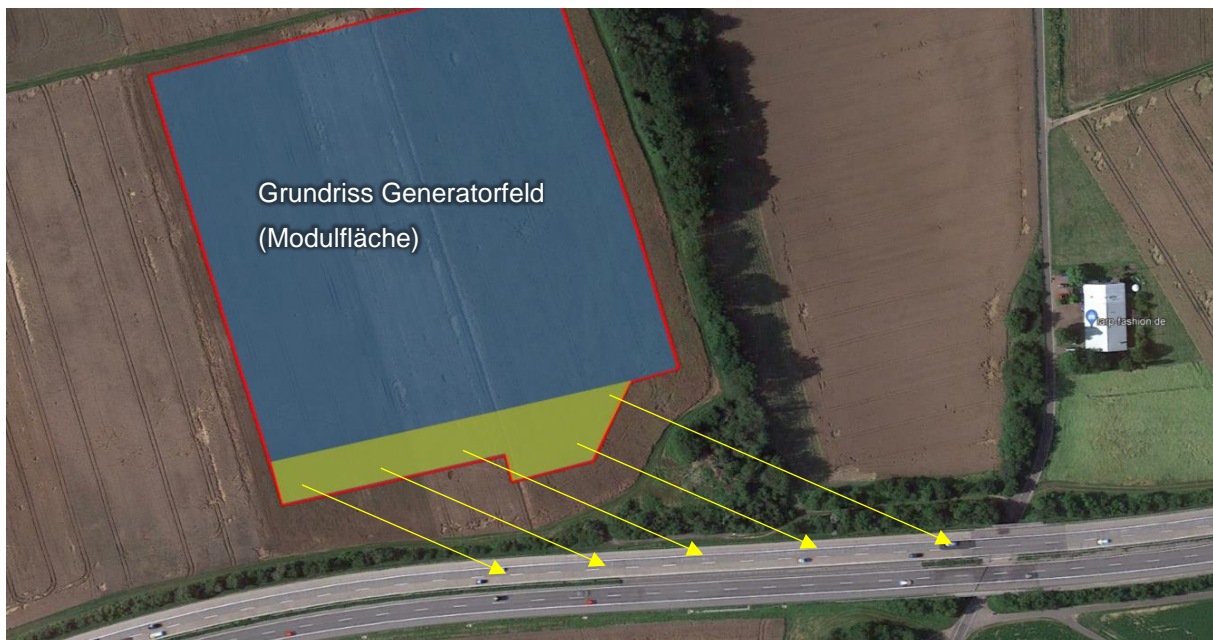


Abbildung 9: Reflektierender Bereich der PVA (Skizze)
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

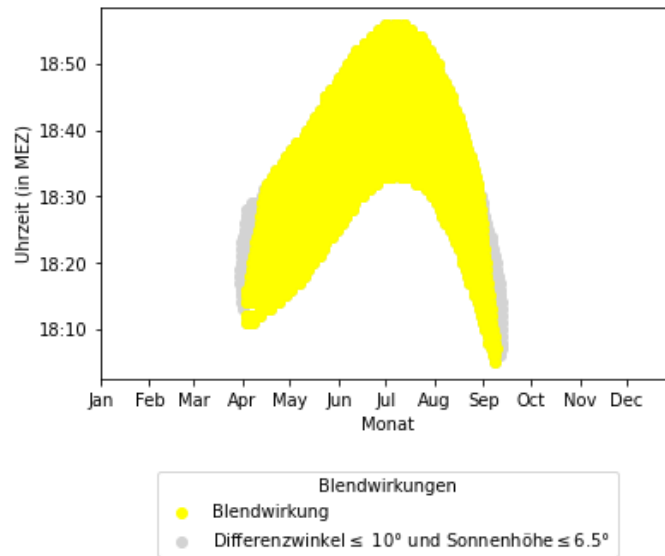


Abbildung 10: Blendzeiten (relevantes Sichtfeld) für Fahrzeugführer auf der A 6 in Fahrtrichtung Westen



Abbildung 11: Sicht von der A 6 (Fahrtrichtung Westen) in Richtung PVA: Der Vegetationsstreifen verdeckt selbst im blattlosen Zustand die Sicht auf das PVA-Gelände - Quelle: kartaview.org

6 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] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl., . 5. Aufl., Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [3] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl., . 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, San Diego, California, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [5] 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
- [6] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [7] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), „Blendung durch Photovoltaikanlagen - OVE-Richtlinie R 11-3“. 2016.
- [8] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.

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