

[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 Weilheim (PV-Anlage südlich Waxensteinstraße)
VERSION 1.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

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

Moorrege, 19.02.2024

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Anlagenlayout korrigiert, Änderungen im Text	19.02.2024	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	21.08.2023	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	Übersicht der angewendeten Methodiken	4
2	Anlagenbeschreibung.....	5
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	7
4	Grundlagen	8
4.1	Blendwirkung von Modulen	8
4.2	Berechnung von Reflexionen	10
4.3	Verwendete Software	10
5	Blendwirkungen auf Gebäude	11
5.1	Auswertungsmethodik	11
5.2	Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA	12
5.3	Observationspunkte	13
5.4	Ergebnisse	14
6	Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen	15
7	Literaturverzeichnis	17
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT	18

1 Einleitung

Herr Mathias Röper, freiberuflicher Sachverständiger für Photovoltaik, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabella 1: Projektübersicht

Auftraggeber	Manfred Scholz
Projektname	PVA Weilheim (PV-Anlage südlich Waxensteinstraße)
Adresse	82362 Weilheim
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand <input type="checkbox"/> Im Bau <input checked="" type="checkbox"/> 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)

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

Tabella 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA (inkl. Fotoaufnahmen)	Auftraggeber
Umliegende Straßenverläufe	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Vegetation	
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell (DGM1)	Bayerische Vermessungsverwaltung

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]

2 Anlagenbeschreibung

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	47.827010, 11.138290
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständerung	Fest aufgeständert
Gesamtfläche der Modulvorderseiten	13.157,80 m ²
Nennleistung (DC)	2.845,44 kWp
Modulausrichtung (Azimut)	+9° Süd (189°)
Modulneigung	18°
Höhe Modulunterkante	80 cm
Höhe Moduloberkante	2,92 m



Abbildung 1: Grundriss der PVA - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 2: Belegungsplan der PVA - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die geplante PVA kann Reflexionen an einem Wohngebäude westlich der PV-Fläche verursachen, die insgesamt als erhebliche Belästigungen anzusehen sind (der LAI-Grenzwert für die jährliche Gesamtblenddauer wird im ersten Obergeschoss überschritten).

Daher wird ein Sichtschutz empfohlen, der den Blick vom ersten Obergeschoss auf die PVA einschränkt oder komplett verhindert.

Im Erdgeschoss sind auch ohne Sichtschutz keine relevanten Reflexionen zu erwarten.

Das Gebäude besitzt zudem Dachfenster im zweiten Obergeschoss bzw. Dachboden. Allerdings werden mögliche Reflexionen auf die Dachfenster als nicht relevant betrachtet, da diese nicht tief in den dahinterliegenden Raum eindringen können. Reflexionen auf die Dachfenster sind gegen die dahinterliegende Decke gerichtet, zudem werden die meisten auf den Dachausschnitt treffen. Es wird daher als ausreichend angesehen, wenn das erste Obergeschoss vor übermäßigen Blendwirkungen geschützt wird.

Der Sichtschutz kann durch einen blickfesten Zaun aber auch mit geeigneten vorgezogenen Pflanzen realisiert werden.

Alternativ zu einem Sichtschutz besteht auch die Möglichkeit, direkt am Immissionsort Blendschutzmaßnahmen (Immissionsschutz) zu implementieren. So könnte beispielsweise in Absprache mit der betroffenen Partei ein modernes (automatisches) Jalousiensystem an den Fenstern im ersten Obergeschoss mit Blick auf das Photovoltaikfeld installiert werden.

4 Grundlagen

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein PV-Modul setzt sich aus zahlreichen Solarzellen zusammen, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Um Stabilität zu gewährleisten und vor Witterungseinflüssen zu schützen, sind die Solarzellen normalerweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas) angebracht. Das Modulglas ist maßgeblich für mögliche Blendwirkungen verantwortlich. Da die erzeugte elektrische Energie in direktem Verhältnis zur Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen steht, bemühen sich Modulhersteller, Reflexionen am Modulglas zu reduzieren – je weniger Reflexionen, desto höher der Ertrag. Daher verfügt das Modulglas typischerweise über eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sogenannte Antireflexschicht. Beide Elemente gewährleisten, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und Reflexionsverluste minimiert werden [2].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 3) 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 4).

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

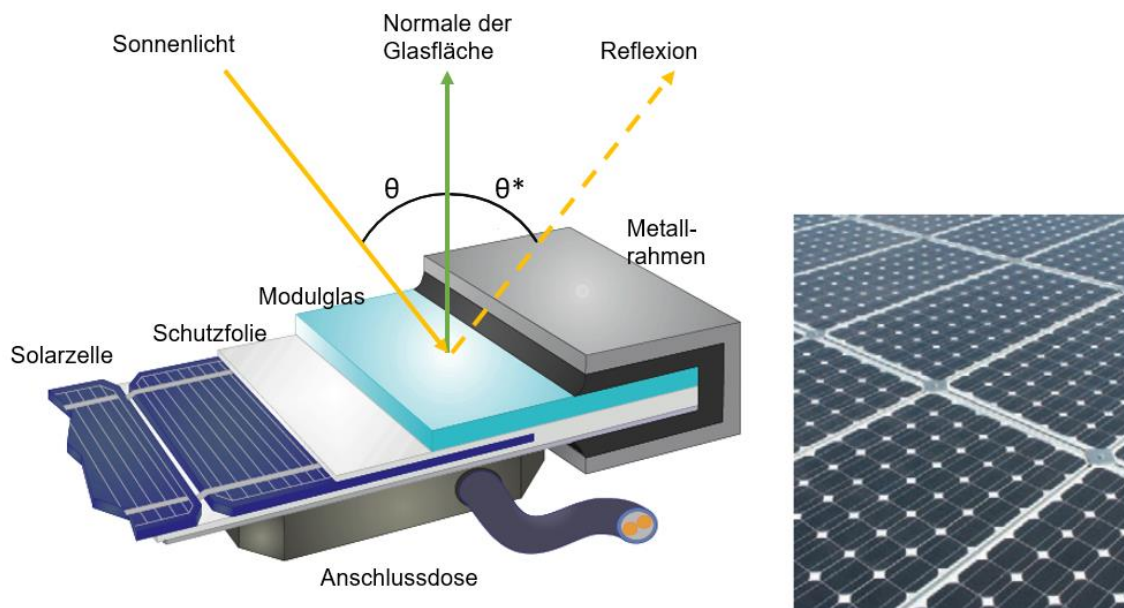


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

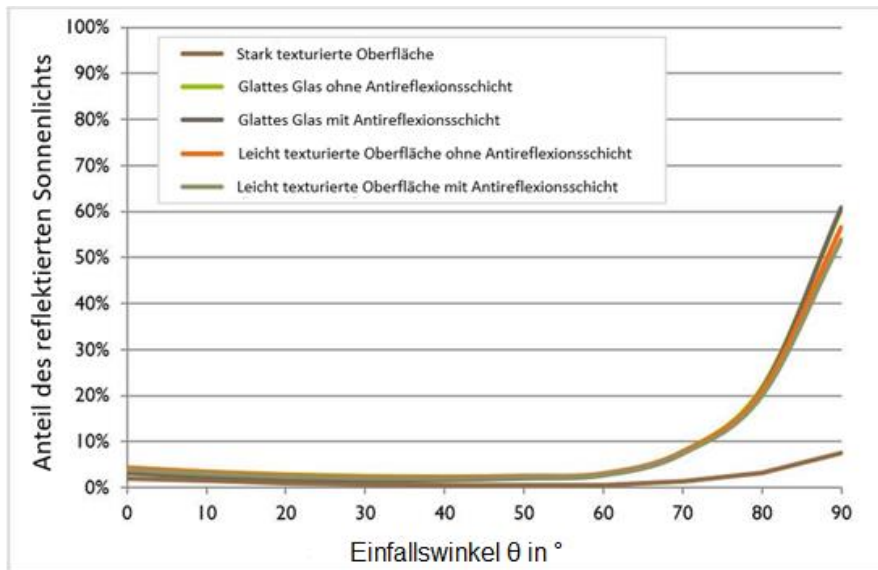


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

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



Abbildung 5: 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].

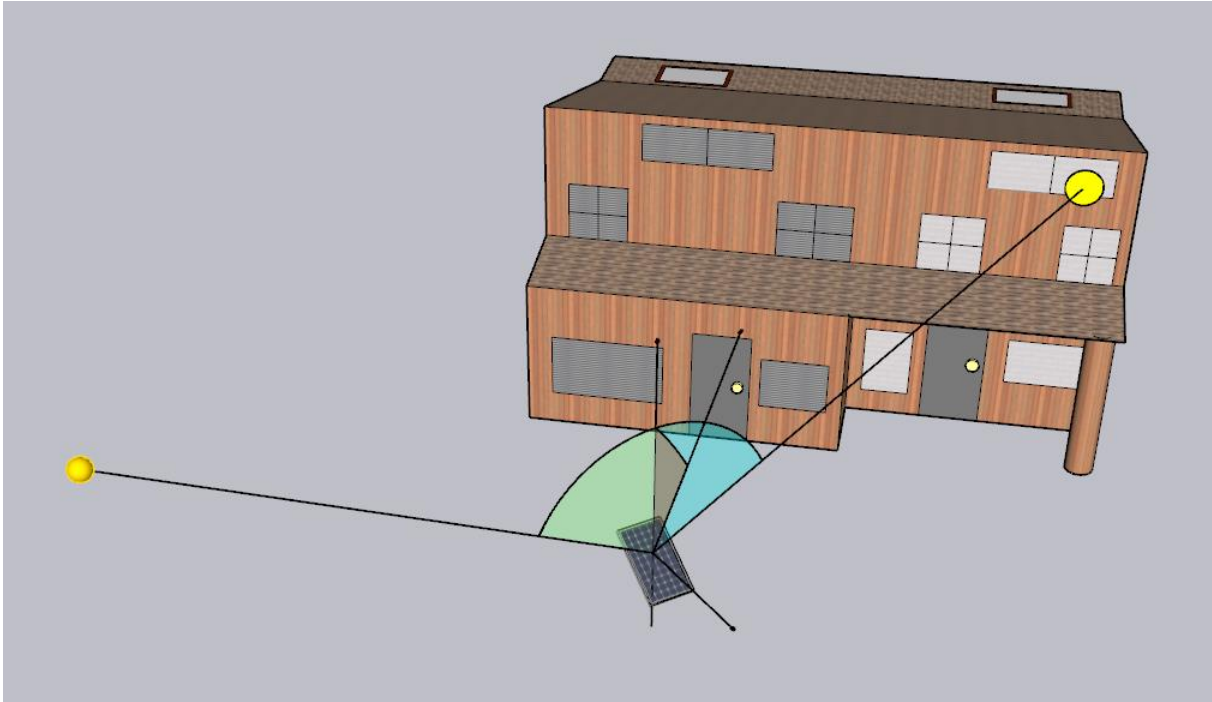


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software

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(n) sowie der Immissionsorte berücksichtigt.

Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels. Demnach wird ein abstrakter Worst-Case betrachtet.

Eine erweiterte 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 würden, 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 $\leq 10^\circ$ 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-Leitfadens 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

Erhebliche Belästigungen können i. d. R. ab einem Abstand von 100 Metern zwischen dem Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und der PVA ausgeschlossen werden [1].

Abbildung 7 veranschaulicht den Bereich, der sich 100 Meter oder näher an der Photovoltaikanlage befindet.

Es ist erkennbar, dass ein Wohnhaus westlich und das Siedlungsgebiet nördlich der PVA sich (zumindest teilweise) innerhalb der 100-Meter-Zone befinden. Da die PV-Module jedoch nach Süden ausgerichtet sind, können sie keine Reflexionen Richtung Norden (also zum Siedlungsgebiet hin) emittieren (die geringfügige Abweichung des Azimuts von $+9^\circ$ von Süden ändert den Sachverhalt nicht). Daher bleibt lediglich das Wohnhaus westlich der PVA als schutzwürdiger Bereich, der von Blendwirkungen betroffen sein könnte.

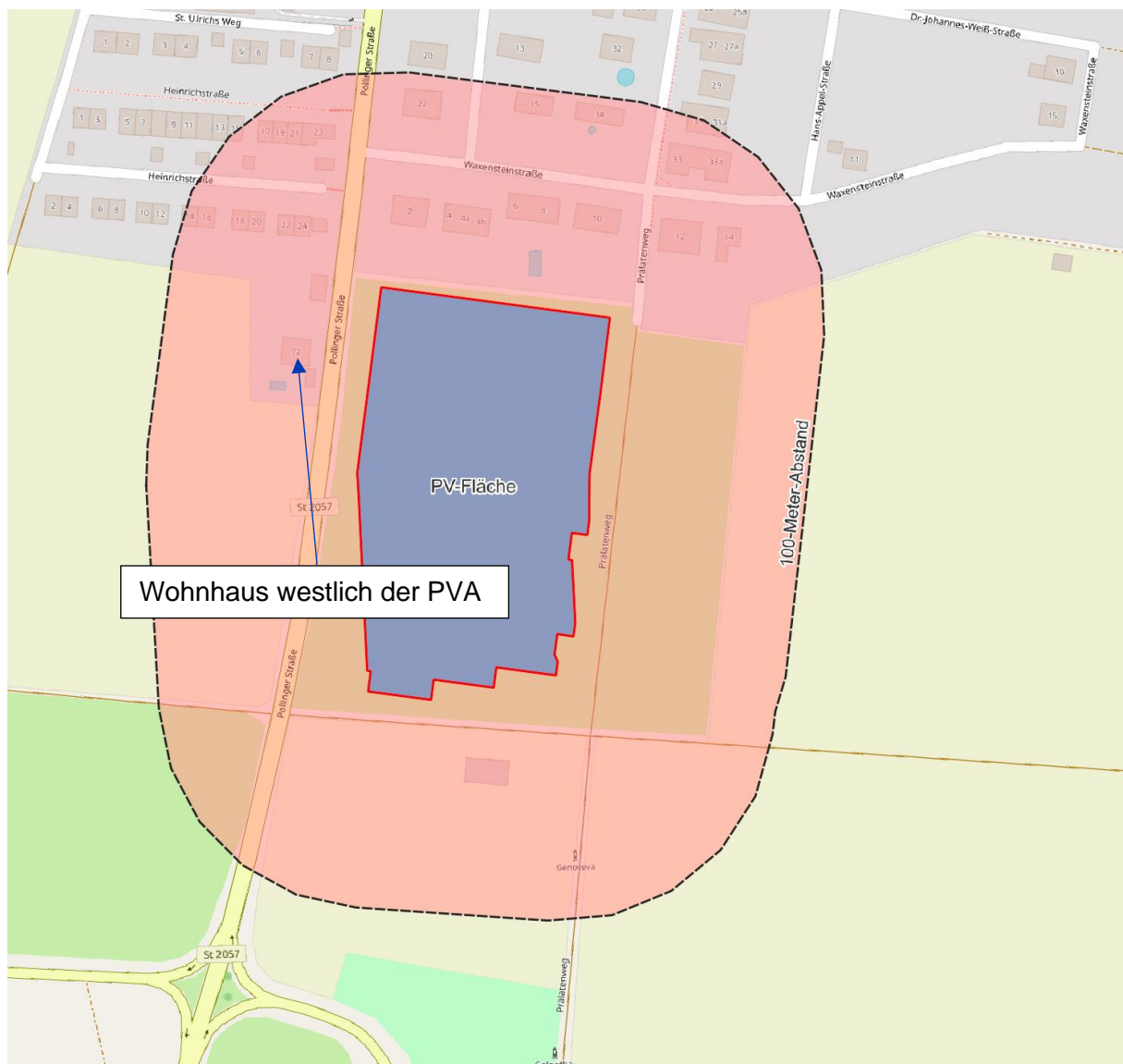


Abbildung 7: Übersicht der 100-Meter-Abstandszone – Quelle Karte: OpenStreetMap

5.3 Observationspunkte

Zur Beurteilung der Blendwirkungen auf das Wohngebäude westlich der PVA wurden zwei sogenannte Observationspunkte (OP) festgelegt. Diese OP dienen in der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen.

OP 1 ist auf einer Höhe von 1,7 m über der Geländeoberkante positioniert. Er repräsentiert eine stehende Person im Erdgeschoss hinter einem Fenster mit Blick auf die PVA.

OP 2 ist auf einer Höhe von 4,7 m über der Geländeoberkante positioniert. Er repräsentiert eine stehende Person im ersten Obergeschoss hinter einem Fenster mit Blick auf die PVA.

Das Gebäude verfügt zudem über Dachfenster. Mögliche Reflexionen zu den Dachfenstern können nicht tief in den Raum eindringen, sondern sind primär gegen die Decke gerichtet. Daher werden Lichtimmissionen bzw. Blendwirkungen an den Dachfenstern als nicht signifikant störend betrachtet und nicht weiter berücksichtigt.



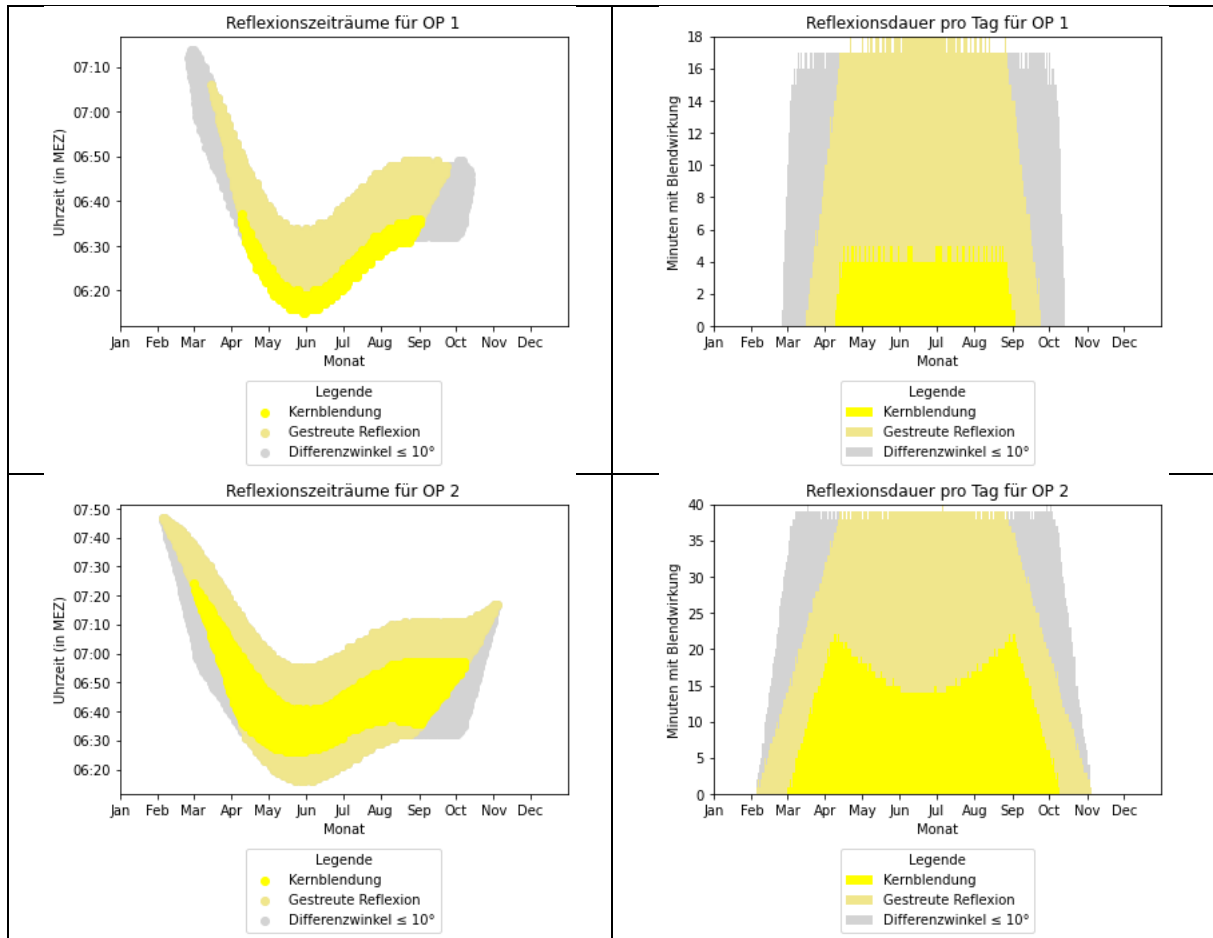
Abbildung 8: Übersicht der Positionen der definierten Observationspunkte an den umliegenden Gebäuden
- Quelle Luftbild: Bayerische Vermessungsverwaltung

5.4 Ergebnisse

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse bezüglich der Blendwirkungen (Kernblendung) an den Observationspunkten

Observationspunkt (OP)	Kernblendung in Minuten	
	maximale Dauer pro Tag	jährliche Gesamtdauer
1	5	606
2	22	3.330 (übersteigt LAI-Grenzwert)

Ergebnisdiagramme 1: Ergebnisse für die OP 1 und 2



6 Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen

Die durchgeführte Simulation zeigt, dass im Erdgeschoss des Gebäudes westlich der PVA keine übermäßigen Reflexionen oder Blendwirkungen zu erwarten sind.

Im ersten Obergeschoss hingegen könnten Blendwirkungen auftreten, die den LAI-Grenzwert für die jährliche Gesamtblenddauer übertreffen. Daher ist hier eine erhebliche Belästigung nicht auszuschließen. Besonders relevant sind Reflexionen, die von März bis Anfang Oktober in den Morgenstunden zu erwarten sind.

Um die Blendwirkungen signifikant zu reduzieren, wird die Errichtung eines relativ hohen Sichtschutzes empfohlen. Dieser sollte ca. 5 m hoch sein, um selbst einer stehenden Person im ersten Obergeschoss den Blick auf potenziell blendende Module zu verwehren. Der Sichtschutz sollte an der Anlagengrenze beginnen, auf gleicher Höhe wie die südliche Gebäudekante, und sich etwa 24 Meter in Richtung Norden erstrecken. Dieser Sichtschutz kann beispielsweise durch Bepflanzungen oder einen blickdichten Zaun umgesetzt werden. Selbst wenn die Pflanzen nur im Sommer belaubt und daher erst dann blickdicht sind, wäre dies ausreichend, um die LAI-Grenzwerte einzuhalten. Durch den Sichtschutz werden die Reflexionen zum Immissionsort unterbunden.

Mögliche Reflexionen zu den Dachfenstern werden als nicht relevant angesehen, da sie hauptsächlich gegen die Decke gerichtet wären und somit nicht tief in den Raum eindringen könnten. Dadurch ergeben sich voraussichtlich keine erheblichen Belästigungen.

Somit wird der Sichtschutz zur Verringerung/Unterbinden der Blendwirkungen im Erd- und ersten Obergeschoss als sinnvoll, aber auch als ausreichend betrachtet.

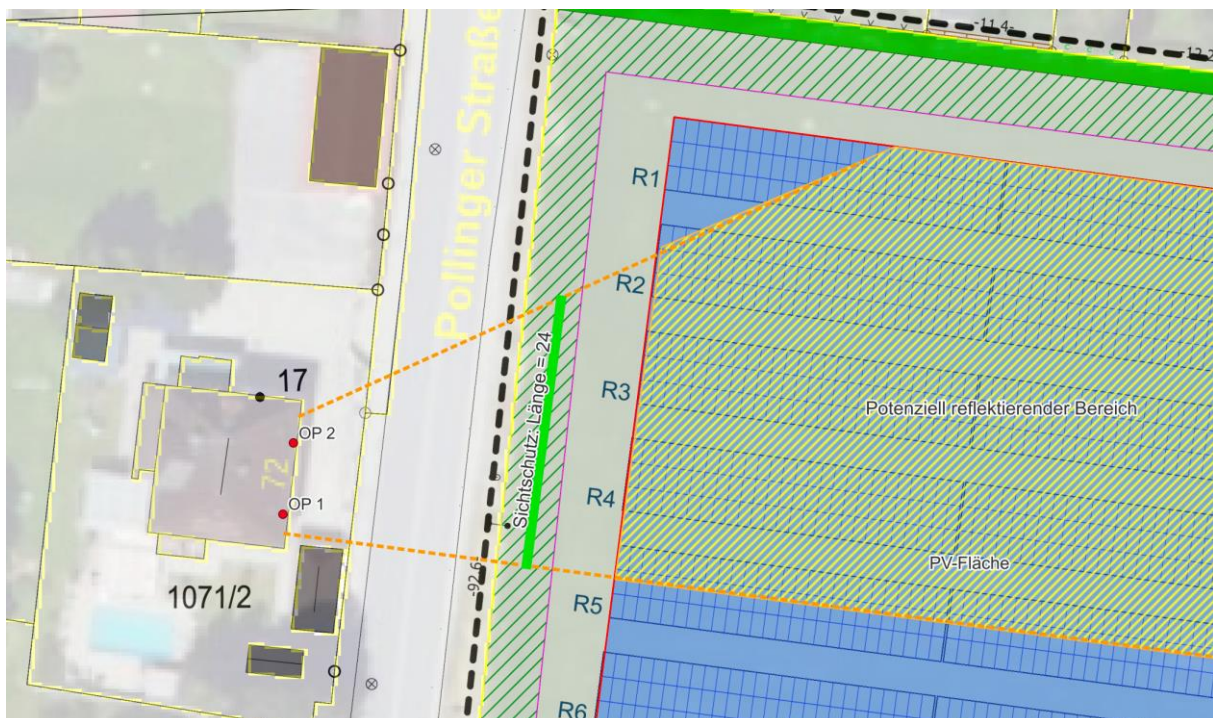


Abbildung 9: Position des Sichtschutzes

Alternativ zu einem aufwendigen Sichtschutz entlang der Anlagengrenze besteht die Möglichkeit, zur Reduzierung maßgeblicher Blendwirkungen Blendschutzmaßnahmen am Immissionsort (erstes Obergeschoss) zu realisieren. Hier besteht beispielsweise die Option, in Absprache mit dem Eigentümer, auf Projektkosten eine moderne Jalousienvorrichtung an den Fenstern im ersten Obergeschoss mit Blick auf die Anlage zu installieren. Entsprechende Absprachen sind nicht ungewöhnlich und stellen eine effektive Möglichkeit dar, Blendwirkungen nach Bedarf zu unterbinden.

Weitere Hinweise

Durch die Ausrichtung der Modultische, die nahezu im rechten Winkel zur Pollinger Straße positioniert sind, lassen sich Blendeffekte im zentralen Sichtfeld von Fahrzeugführern - sowohl für PKW- als auch für LKW-Fahrer - ausschließen. Reflexionen können lediglich seitlich auf die Straße gelangen. Demnach sind nennenswerte Beeinträchtigungen für die Verkehrsteilnehmer auf der Pollinger Straße nicht zu erwarten.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [2] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [3] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [4] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [5] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.

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