

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

Phone +49 (030) 29 38 12 80

Email dgs@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

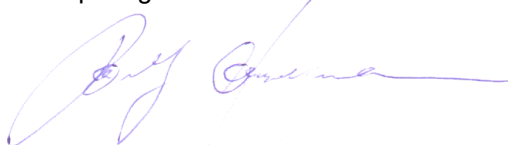
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Neidschütz / Boblas

Anlage: Solarpark Neidschütz / Boblas
51.116832°, 11.820152°
06618, Boblas

in Auftrag gegeben von: NaGa Solarpark 6 GmbH & Co. KG
Oeder Weg 113
60318 Frankfurt am Main

Projektnummer: A-LV25/0097

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Ralf Haselhuhn.

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 13.08.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung	4
3	Beschreibung der PV-Anlage.....	5
4	Grundlagen der Optik	7
	4.1 Geometrische Reflexionssituation	7
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen	8
	4.3 Blendung.....	10
5	Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar	11
	5.1 Bewertungsbasis	11
	5.2 Simulationstool und Modellierung	12
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	13
6	Simulation mit ForgeSolar	14
	6.1 PV-Anlage.....	15
	6.2 Immissionsorte.....	16
	6.3 Sichtunterbrechungen	19
	6.4 Topografie des Geländes	19
7	Ergebnisse mit ForgeSolar.....	20
8	Zusammenfassung.....	24
9	Literaturverzeichnis	25
10	Abbildungsverzeichnis.....	26
11	Gewährleistung	27
12	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	27

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Neidschütz / Boblas und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* (kurz: LAI) bewertet. Es werden Zeitraum und Immissionswinkel potenzieller Blendung ermittelt und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen erarbeitet, um eine solche zu verhindern.

2 Beschreibung der Umgebung

Der geplante Standort der Photovoltaikanlage befindet sich in Boblas, einem Ortsteil der Gemeinde Nessa im Burgenlandkreis in Sachsen-Anhalt. Die Umgebung ist überwiegend ländlich geprägt und besteht aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, einzelnen Wohngebäuden sowie kleineren Wirtschafts- und Nebengebäuden. Die Bebauung ist locker verteilt, mit vereinzelt Höfen und Gehöften in potenzieller Sichtweite der geplanten Anlage.

In unmittelbarer Nähe zur geplanten PV-Anlage verlaufen örtliche Zufahrtsstraßen sowie Feldwege, die gelegentlich von landwirtschaftlichem Verkehr genutzt werden. Eine stärker frequentierte Straße oder ein Bahnverkehr ist im direkten Umfeld nicht vorhanden. Die Topografie des Geländes ist weitgehend eben bis leicht geneigt, ohne nennenswerte natürliche Erhebungen oder Abschattungen durch umliegende Vegetation oder Bauwerke.

Die potenziellen Beobachterpositionen für eine Blendbewertung umfassen:

- Anwohner angrenzender Grundstücke
- Verkehrsteilnehmer auf nahegelegenen Straßen

Die Bewertung der Blendwirkung erfolgt unter Berücksichtigung dieser Umgebungsbedingungen sowie der spezifischen Ausrichtung und Neigung der PV-Module.

Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Ein Ortstermin fand nicht statt.

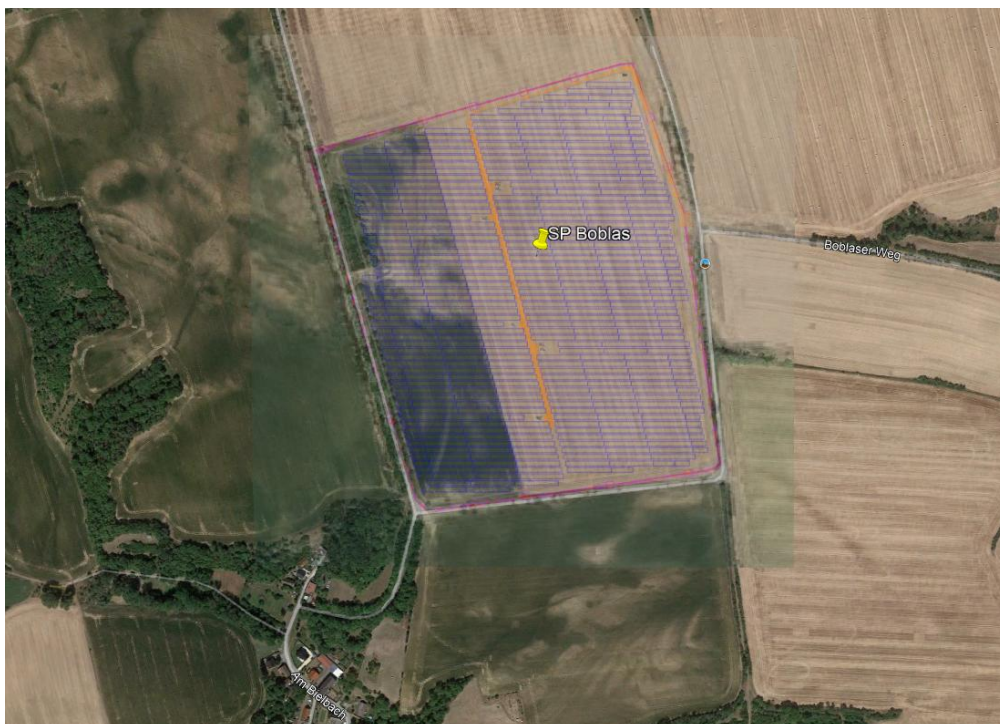


Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage befindet sich auf einer Freifläche nördlich des Ortsteils Boblas. Die Anlage ist als bodenmontierte Freiflächenanlage mit einer Gesamtleistung von 33,13 MWp (DC) und einer Wechselrichterleistung von 25,2 MW (AC) konzipiert.

Technische Eckdaten:

- **Modultyp:** JA Solar JAM72D40-570/GB
- **Anzahl der Module:** 58.131 Stück
- **Modulleistung:** 570 Wp pro Modul
- **Gesamte Modulfläche:** ca. 150.167 m²
- **Ausrichtung:** Süd (Azimut 180°)
- **Neigungswinkel:** 15°
- **Montagesystem:** Fix montierte Modulreihen
- **Anzahl der Modulreihen:** 60
- **Reihenabstand:** ca. 9,37 m
- **Bodenabstand Unterkante Modul:** ca. 0,80 m
- **Bodenabstand Oberkante Modul:** ca. 2,70 m
- **Bifaziale Auslegung:** Ja (Rückseitenwirkungsgrad ca. 80 %)
- **Geländehöhe:** ca. 212 m ü. NN

Die Anlage ist vollständig innerhalb eines definierten Projektareals geplant, das durch eine Umzäunung begrenzt ist. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

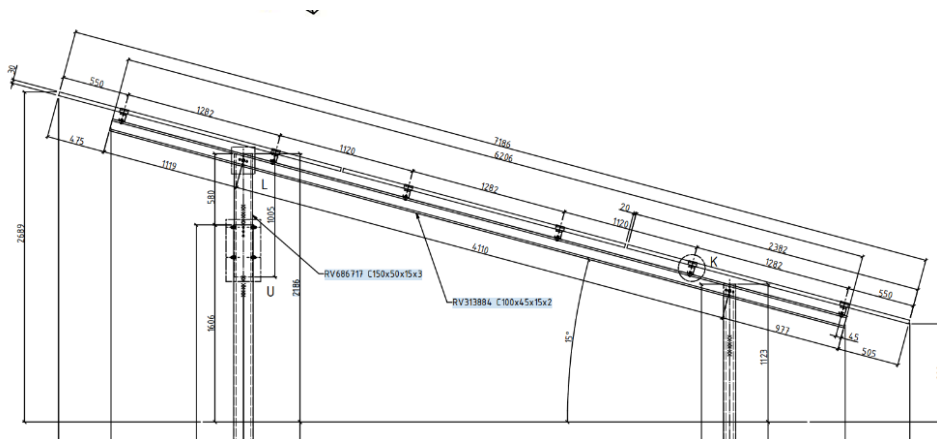


Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

4 Grundlagen der Optik

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zur Berechnung der Reflexion erläutert.

4.1 Geometrische Reflexionssituation

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Winkel des einfallenden Lichtstrahls bezogen auf die Flächennormale (Senkrechte, Lot zur Fläche) gleich dem Winkel des reflektierten Strahls zur Normalen ($\alpha = \beta$).

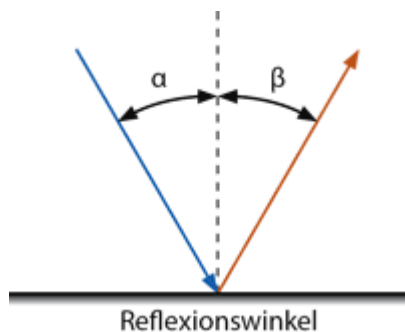


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

Das Reflexionsgesetz gilt grundsätzlich bei der Reflexion von Lichtstrahlen unabhängig davon, ob es sich bei der reflektierenden Fläche um eine ebene oder raue Oberfläche handelt. Im Fall einer rauen Oberfläche ändert sich jedoch der Einfallswinkel mit dem konkreten Einfallsort, sodass es zu einer Aufweitung des reflektierten Strahls kommt. Generell gilt, je rauer die Oberfläche, desto diffuser die Reflexion. In Abbildung 5 ist in a) die ideal gerichtete Reflexion an einer völlig glatten Oberfläche, in b) eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und in c) eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

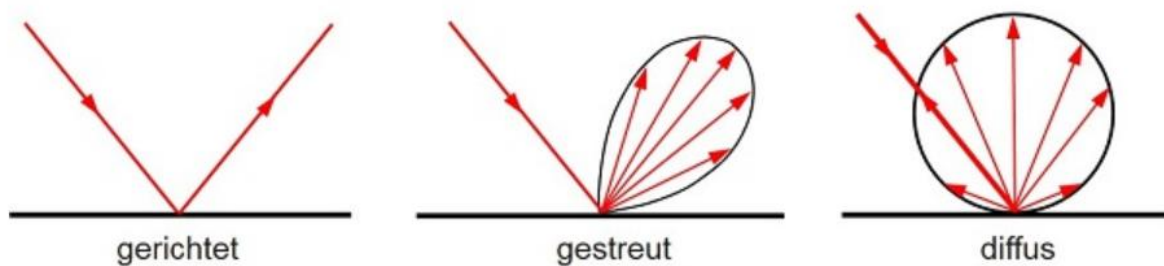


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

Bei realer Reflexion kommt es zudem zu sogenannter Bündelaufweitung, einer Streuung um den idealen Reflexionswinkel. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen idealem Reflexionswinkel und Streuwinkel nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung stark ab. Hier wird, wenn von einer Bündelaufweitung gesprochen wird, das Bogenmaß (oder der Winkel) der Standardabweichung um die Intensität der realen Reflexion verwendet (s. Abbildung 6).

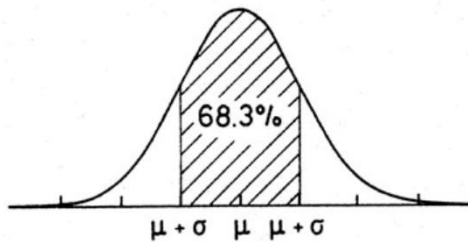


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 7 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

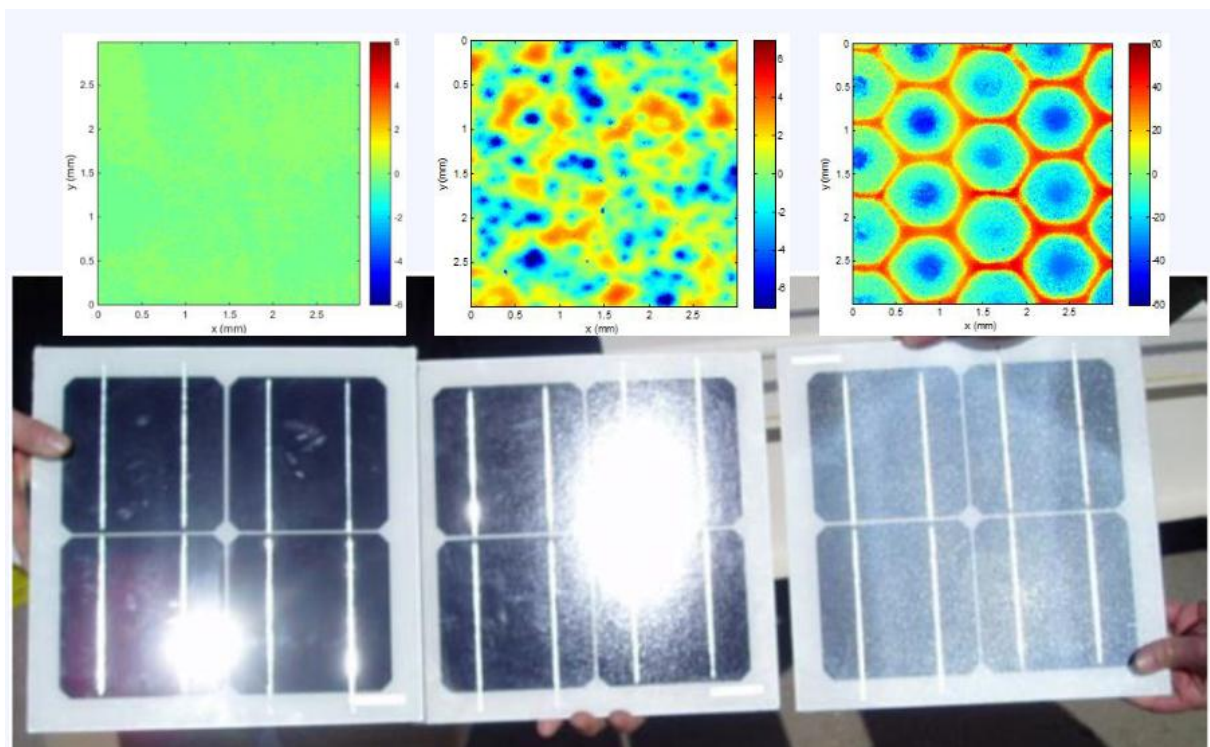


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad ($1,15^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad ($5,27-10,56^\circ$) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (57°) gemessen [2]. Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tiefstrukturiertem Glas noch nicht um Massenware, da die Herstellung mit erheblichen Mehrkosten einhergeht. Alternativ ist jedoch auch das Aufbringen geeigneter Folien oder das Verwenden von satiniertem Glas eine Möglichkeit, um beinahe vollständig blendfreie Module herzustellen, siehe Abbildung 8.

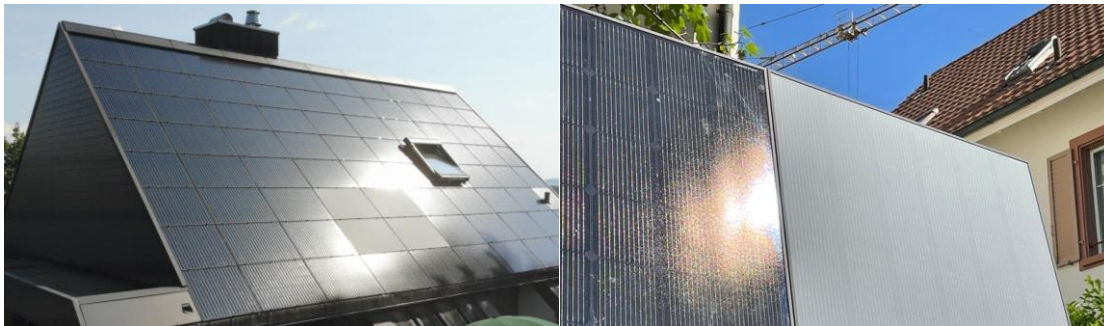


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes nutzen, das Frontglas also einen möglichst hohen Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläsern liegt typischerweise bei rund 96% bei senkrechter Einstrahlung, sodass die Reflexionsverluste etwa 4% betragen. Mit Verwendung von Anti-Reflexions-Beschichtungen sind auch Reflexionsgrade von nur 2% möglich. Mit höheren Einfallswinkeln steigt der Reflexionsgrad jedoch bei beinahe allen Modultypen stark an, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

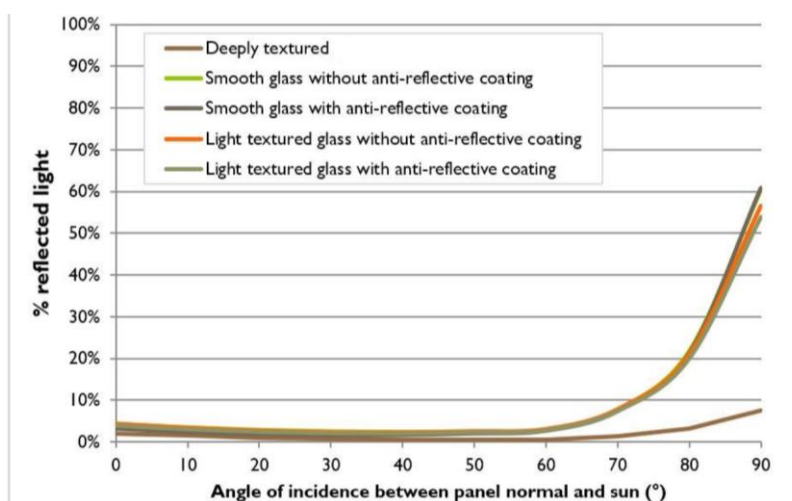


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

4.3 Blendung

Blendung wird hier definiert als eine Störung der Wahrnehmung durch eine Lichtquelle. Hierfür ist zum einen die gewichtete Helligkeit des Sichtfeldes relevant, welche zu einer entsprechenden Adaption des Auges führt, zum anderen die Helligkeit des Objekts, auf welches das Auge fokussiert ist und welches wahrgenommen werden soll.

Es wird zwischen einer Blendung, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung, welche „nur“ als unangenehm empfunden wird, unterschieden. Während eine Beeinträchtigung der Sicht in Verkehrssituationen gänzlich vermieden werden sollte, ist für ortsfeste Beobachter eine kurzzeitige Beeinträchtigung durch Blendung ein geringeres Problem als eine lang andauernde „nur“ unangenehm empfundene Blendung. Wann eine Reflexion als unangenehm empfunden wird, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. In der Literatur werden verschiedene Berechnungsmethoden vorgeschlagen, es hat sich jedoch bisher kein Standard etablieren können [5].

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld) eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann. Dies wird in Abbildung 10 verdeutlicht: Erhöht sich die adaptive Helligkeit, erhöht sich auch die minimale Helligkeit, die ein Objekt haben muss, um gut erkennbar zu sein. Das Anpassungsvermögen an die Umgebungshelligkeit endet bei einer Helligkeit zwischen $10^4 - 10^5 \text{ cd/m}^2$, was dann als Absolutblendung bezeichnet wird. Ob es durch eine Blendquelle zu einer Absolutblendung kommt, hängt somit immer auch von der Blickrichtung zu dieser ab und ist in der Regel nur bei einer Blickrichtung direkt in die Blendquelle oder in deren direkte Nähe möglich.

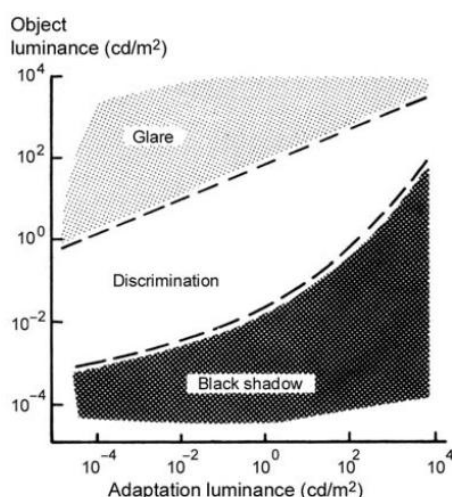


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

5 Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar

5.1 Bewertungsbasis

Um die betroffenen örtlich aufgelösten Bereiche bestimmen zu können und eine quantitative Aussage über die Reflexionsimmissionen zu treffen, wird ein Simulationstool verwendet. Dieses soll minutengenau darstellen, ob und zu welchem Zeitpunkt schutzwürdige Räume einer potenziellen Blendung ausgesetzt sind. Schutzwürdige Räume sind laut LAI-Hinweisen:

- 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 [6]

Ist einer dieser Räume von Blendung betroffen, wird überprüft, ob es zu einer erheblichen Belästigung im Sinne der LAI-Hinweise kommt. Derzeit gibt es dafür in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen, bzw. Grenzwerte. Allerdings leiten die LAI-Hinweise Bewertungsgrößen aus einem Hinweisepapier für Windenergieanlagen [7] ab. Die LAI-Hinweise definieren diese Bewertungsgrößen wie folgt:

*„[Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass...] eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegt, wenn diese **mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr** beträgt.“ [6]*

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte wird die Blendung als allgemein hinnehmbar bewertet. Auch der Österreichische Verband für Elektrotechnik veröffentlichte im November 2016 eine Richtlinie mit identischen Richtwerten für die Ermittlung von durch Blendung verursachte Belästigung [8]. Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit von folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schifffahrtsverkehr
- Flugverkehr

Tritt in einem dieser Arbeitsbereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegend Folgen haben. Es sollte deshalb beim Auftreten von Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

5.2 Simulationstool und Modellierung

Als Simulationstool zur Bestimmung der auftretenden Blendung wird das Programm *ForgeSolar* der Firma Sims Industries, LLC verwendet. Dieses basiert auf dem wissenschaftlichen Modell „Solar Glare Hazard Analysis Tool“, welches durch die Sandia National Laboratories, New Mexico entwickelt wurde. Dieses wurde 2013 in den USA von staatlicher Seite anerkannt und bis 2021 war eine Analyse mit diesem Tool verpflichtend für PV-Flächen in Flughafenumgebung [9].

Das Tool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Hierzu werden auf einer Karte die Modulflächen markiert und Neigungswinkel und Azimut der Ausrichtung eingestellt. Mit den Höhendaten des Geländes wird hieraus eine einheitliche Fläche approximiert. Es lassen sich verschiedene Modultypen mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften auswählen, welche im Wesentlichen darüber entscheiden, wie stark das reflektierte Licht gestreut wird. Die Simulation wertet nur als relevant markierte Beobachtungspunkte und Strecken aus. Die Auflösung der Simulation ist minütlich und erfolgt für ein Kalenderjahr. Bei der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Blendwirkung wird unabhängig vom Bedeckungsgrad des Himmels berechnet. Somit ergeben sich die astronomisch maximalen Blendzeiträume. Das entspricht einer „worst case“ Betrachtung der Blendsituation. Das Vernachlässigen der Wetterverhältnisse empfiehlt auch das Ministerium für Umwelt [6] und die TU Ilmenau [10].
- Zur Bewertung des Straßenverkehrs wird nur die Blendung im Bereich des Blickwinkels von $\pm 30^\circ$ berücksichtigt, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Blendung im Bereich des Blickwinkels von $\pm 20^\circ$ berücksichtigt. Zudem werden Blendungen nicht betrachtet, welche aus der gleichen Richtung wie die direkte Sonnenstrahlung kommen. Somit muss die Differenz der Richtungsvektoren von Reflexionsstrahl und Sonneneinstrahlung weniger als 10° betragen. Dies wird begründet dadurch, dass die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen wird und die Reflexion in diesen Fällen keine zusätzliche Blendungsquelle darstellt [8].
- Der Immissionsort im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 3 m festgelegt, was in etwa der Sichthöhe von Lastkraftwagen entspricht. Grund hierfür ist, dass in der Regel höhere Beobachtungspositionen auch einer stärkeren Blendung ausgesetzt sind. In Situationen, in denen das nicht zutrifft, weil eine Blendung von oben stattfindet, wird die Sichthöhe stattdessen auf 1,5 m über dem Boden festgelegt, um in diesem Fall einen PKW abzubilden. Der Immissionsort von Bahntrassen wird typischerweise auf 3 m über dem Boden festgelegt.

Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Webseite von ForgeSolar verwiesen [11].

5.3 Simulationsausgabe und -bewertung

Die Simulation wertet jede PV-Fläche und jeden Beobachtungspunkt bzw. Strecke einzeln aus. Es werden dabei folgende Werte für jede Minute, jeweils für die betreffende Position berechnet:

- Die Einstrahlungsstärke der Sonne in Abhängigkeit der Uhrzeit [W/m^2]
- Der berechnete Reflexionsgrad des PV-Fläche [-]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der Raumwinkel des blendenden Bereichs der PV-Fläche aus Sicht des Beobachters [rad]
- Die Bestrahlungsstärke der Reflexion auf der Netzhaut [W/cm^2]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [cd/m^2]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 11 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle (angegeben als Sichtwinkel in Milli-rad), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

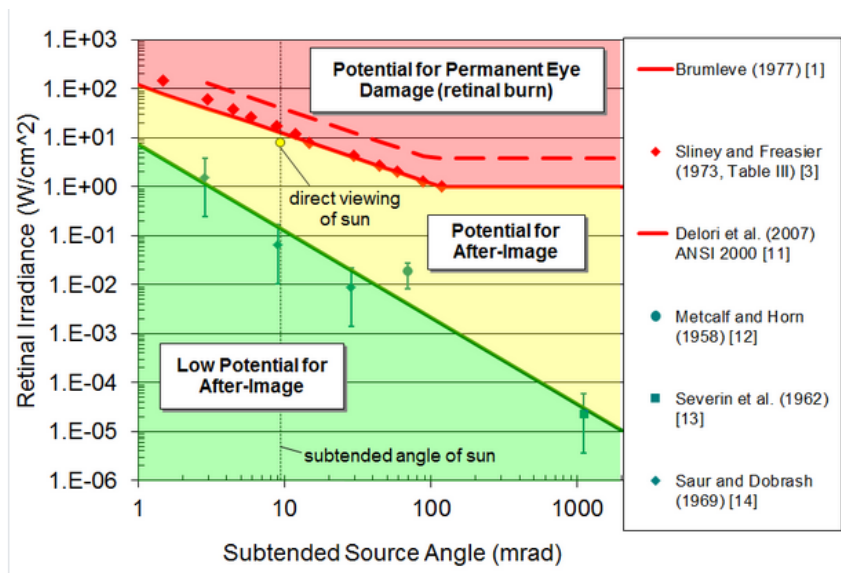


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]

6 Simulation mit ForgeSolar

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 12 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 12: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar

6.1 PV-Anlage

Für die Simulation werden die Eingabedaten der PV-Anlage mit den Koordinaten und der Höhe über Normalhöhennull ermittelt. Die Nachstellung im Simulationsprogramm basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen, sowie Satellitendaten. Die PV-Flächen werden mit 180° Azimut und 15° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 1,75 m. Als maximale Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche werden 1000 W/m² angesetzt. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten der PV-Flächen

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
SP Boblas	1	51,1137511	11,8179876	196,9	1,7	198,6
SP Boblas	2	51,1150914	11,8174458	201,2	1,7	202,9
SP Boblas	3	51,1164586	11,8169039	209,4	1,7	211,1
SP Boblas	4	51,1166944	11,8174189	211,7	1,7	213,4
SP Boblas	5	51,1173847	11,8170166	215,9	1,7	217,6
SP Boblas	6	51,1181962	11,8165499	219,3	1,7	221
SP Boblas	7	51,1184656	11,81795	219,3	1,7	221
SP Boblas	8	51,1187215	11,8192857	218,7	1,7	220,4
SP Boblas	9	51,1189976	11,8208146	218,7	1,7	220,4
SP Boblas	10	51,1192737	11,8222791	216	1,7	217,7

SP Boblas	11	51,118371 3	11,822719	210,1	1,7	211,8
SP Boblas	12	51,117273 6	11,822904	207,8	1,7	209,5
SP Boblas	13	51,116243 1	11,823089 1	200,7	1,7	202,4
SP Boblas	14	51,115185 7	11,823284 9	198,7	1,7	200,4
SP Boblas	15	51,114168 7	11,823459 3	198,6	1,7	200,3
SP Boblas	16	51,114064 3	11,822112 8	199,8	1,7	201,5
SP Boblas	17	51,113959 9	11,820702	199,6	1,7	201,3
SP Boblas	18	51,113855 5	11,819376 9	197,9	1,7	199,6

Für die optischen Eigenschaften der Moduloberfläche wurde für die Simulation mit Straßen ein glattes Glas mit einer Rauigkeit (auf Englisch: slope error) von 6,55 mrad gewählt. Dies ist hinsichtlich der resultierenden Leuchtdichte als worst-case Szenario anzusehen, da die meisten handelsüblichen Module leicht texturiert sind und eine Antireflexionsbeschichtung aufweisen.

Für die optischen Eigenschaften der Moduloberfläche wurde für die Simulation mit Beobachtungspunkten ein glattes Glas mit einer Rauigkeit (auf Englisch: slope error) von 0 mrad gewählt, um den Ansatz der LAI [7] (ideale Verspiegelung) nachzubilden.

6.2 Immissionsorte

Im Rahmen der Blendbewertung wurden alle potenziell betroffenen Immissionsorte identifiziert, die sich in unmittelbarer Nähe zur geplanten Photovoltaikanlage befinden. Die Analyse erfolgt über Satellitenbilder. Ein Vor-Ort-Termin fand nicht statt. Die Auswahl der Beobachtungspunkte erfolgte unter Berücksichtigung der Sichtbeziehungen, der Entfernung zur Modulfläche sowie der Nutzung der betroffenen Flächen.

Straßenverkehr:

Folgende öffentliche Verkehrswege wurden als relevante Immissionsorte berücksichtigt:

- Westlich angrenzende Straße: Verläuft parallel zur westlichen Begrenzung der PV-Fläche. Sie dient als Zufahrtsstraße zu landwirtschaftlichen Flächen.
- Südlich angrenzende Straße: Verbindet Boblas mit umliegenden Ortsteilen.
- Östlich angrenzende Straße: Verläuft parallel zur östlichen Begrenzung der PV-Fläche.

Für alle Straßenabschnitte wurde ein Beobachtungswinkel von 30° sowie eine Beobachtungshöhe von 3,00 m (Fahrzeughöhe) angesetzt.

Wohngebäude:

Zusätzlich wurden die nächstgelegenen Wohngebäude im Ortsteil Boblas als statische Beobachtungspunkte berücksichtigt. Diese befinden sich:

Südlich der PV-Fläche, in einer Entfernung von teils unter 200 m und sind Wohnlagen mit Aufenthaltsqualität (z. B. Gärten, Terrassen, Fensterbereiche). Für diese Punkte wurde eine Beobachtungshöhe von 5,00 m angesetzt, um auch Sichtbeziehungen aus Obergeschossen zu erfassen.

Die exakten Koordinaten, die Höhe ü. NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 2: Koordinaten der zu untersuchenden Verkehrsstrecken

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Sitzhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Straße 1	1	51,1208204	11,8145277	229,1	3	232,1
Straße 1	2	51,1199325	11,8149186	227	3	230
Straße 1	3	51,119031	11,8153095	224,4	3	227,4
Straße 1	4	51,1172011	11,8160913	217,5	3	220,5
Straße 1	5	51,115351	11,8168946	204,7	3	207,7
Straße 1	6	51,114473	11,8172747	200,5	3	203,5
Straße 1	7	51,1135277	11,8176549	196,7	3	199,7
Straße 2	1	51,1135344	11,8178051	196,2	3	199,2

Straße 2	2	51,1136455	11,8192884	197,3	3	200,3
Straße 2	3	51,1137567	11,820836	199,5	3	202,5
Straße 2	4	51,1138678	11,8224265	199,8	3	202,8
Straße 2	5	51,1139789	11,8239527	198,2	3	201,2
Straße 3	1	51,121859	11,8214455	228,6	3	231,6
Straße 3	2	51,1190218	11,8227855	214	3	217
Straße 3	3	51,1187659	11,8228982	211,8	3	214,8
Straße 3	4	51,1184965	11,8230484	210,9	3	213,9
Straße 3	5	51,1181564	11,8231825	209	3	212
Straße 3	6	51,1177288	11,8233327	207,6	3	210,6
Straße 3	7	51,1175133	11,8234186	206,8	3	209,8
Straße 3	8	51,1168432	11,8235312	202,8	3	205,8
Straße 3	9	51,1139915	11,8240478	198	3	201

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Beobachtungspunkte

Untersuchungs- punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Untersuchungs- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
1	51,1130817	11,8156617	182,6	5	187,6
2	51,1125782	11,8154874	176,2	5	181,2
3	51,1128965	11,8153559	178,3	5	183,3
4	51,1116566	11,8153561	167,2	5	172,2
5	51,111325	11,8158903	168,4	5	173,4
6	51,1109916	11,8165233	169	5	174

6.3 Sichtunterbrechungen

Im Rahmen der Blendbewertung wurde in der Simulationssoftware eine Sichtunterbrechung modelliert, die durch den natürlichen Bewuchs zwischen der geplanten PV-Anlage und den angrenzenden Wohngebäuden im Süden von Boblas entsteht. Zwischen der südlichen Begrenzung der PV-Fläche und der nächstgelegenen Wohnbebauung befindet sich ein dichter Baum- und Strauchbestand, der als natürliche Sichtschutzwand fungiert. Die Vegetation besteht überwiegend aus laubtragenden Gehölzen mit einer geschätzten Höhe von 5 bis 10 Metern. Die Breite des Bewuchses beträgt stellenweise mehr als 20 Meter, was eine vollständige optische Abschirmung der Modulflächen aus bodennahen und mittleren Blickwinkeln ermöglicht.

In der Simulationssoftware wurde dieser Bewuchs als lineares Hindernis (Obstruction) mit einer Höhe von 5,00 m modelliert. Die Sichtunterbrechung wurde so positioniert, dass sie die direkte Sichtlinie zwischen den PV-Modulen und den betroffenen Wohngebäuden vollständig unterbricht.

Dadurch werden potenzielle Reflexionen durch Sonnenlicht in Richtung der Wohnbebauung effektiv abgeschirmt. Aufgrund der Position, Höhe und Dichte des Bewuchses ist davon auszugehen, dass keine Blendwirkung auf die südlich angrenzenden Wohngebäude auftreten kann.

Die Sichtunterbrechung stellt somit eine natürliche und wirksame Schutzmaßnahme gegen mögliche visuelle Beeinträchtigungen dar.

Tabelle 4: Verortung der Sichtunterbrechung

Index	Breitengrad	Längengrad	Geländehöhe (m)	Hindernishöhe (m)	Gesamthöhe (m)
1	51.1178	11.8205	200	5	205
2	51.1180	11.8210	201	5	206
3	51.1182	11.8215	202	5	207
4	51.1184	11.8220	203	5	208
5	51.1186	11.8225	204	5	209

6.4 Topografie des Geländes

Die geplante Photovoltaikanlage befindet sich nördlich des Ortsteils Boblas, in einer Entfernung von weniger als 200 Metern zur bestehenden Wohnbebauung. Die Fläche liegt in einem leicht geneigten, offenen Gelände. Die Topografie ist überwiegend eben bis leicht geneigt, mit einem gleichmäßigen Gefälle in südlicher Richtung. Es sind keine markanten natürlichen Erhebungen oder Senken innerhalb der Projektfläche erkennbar.

7 Ergebnisse mit ForgeSolar

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Simulation bezüglich der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. Die Simulationsergebnisse werden aufgrund der technischen Limitierung der Simulationssoftware einer weiteren Korrektur unterzogen. So ist gemäß LAI-Hinweisen keine Blendung gegeben, wenn die Richtung des Vektors der Lichtreflexion und die des Vektors der Sonnenstrahlung weniger als 10° auseinander liegen. Das bedeutet, dass die Sonne aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexion der Sonne an den PV-Modulen. Somit wird die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen. Die Reflexion wird sozusagen von der Sonne überstrahlt und erscheint nicht als zusätzliche Blendung. Auch Sichtunterbrechungen werden durch die Simulation nicht ermittelt und müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. In Tabelle 5 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt. Werte, welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten und einen schutzbedürftigen Ort betreffen oder eine kritische Blendung im Verkehr betreffen, sind in Rot dargestellt. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt. Es wurden potenzielle

Reflexionen in Richtung des Straßenverkehrs der untersuchten „Straße 2“ festgestellt. Es wurde keine potenzielle Blendung durch Reflexionen festgestellt, zum einen bedingt durch die Berücksichtigung der Sichtunterbrechungen und durch Berücksichtigung des Blickwinkels im Straßenverkehr. Aus gutachterlicher Sicht werden keine Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

Tabelle 5: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

Beobachtungspunkt	Jährliche Blendung [min]	Tägliche Dauer der Blendung [min]
Straße 2	5664	60
Straße 1	0	0.0
Straße 3	0	0.0
OP 1	0	0.0
OP 2	0	0.0
OP 3	0	0.0
OP 4	0	0.0
OP 5	0	0.0

Straße 2:

Die Ergebnisse der Blendungssimulation für den Verkehrsbereich „Straße 2“ sind in Abbildung 13 dargestellt. Im Zeitraum von Mitte März bis Ende September treten potenzielle Blendungen auf – insbesondere in den Zeitfenstern zwischen 05:30 und 06:30 Uhr sowie zwischen 18:00 und 19:00 Uhr. Die maximale tägliche Blenddauer beträgt bis zu 60 Minuten. Dies ist aufgrund des kurzen Abstands zwischen PV-Flächen und Straße zu erklären. Die Reflexionen können in unmittelbarer Nähe zur Hauptblickrichtung der Verkehrsteilnehmer auftreten und sind daher in der Erstbewertung als potenziell sichtbeeinträchtigend einzustufen. Der betroffene Streckenabschnitt ist in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. Die Analyse zeigt, dass entlang des Straßenabschnitts sichtbare Reflexionen in Fahrtrichtung auftreten können, was grundsätzlich als sicherheitsrelevant gewertet werden muss. Jedoch ergibt sich aus der ergänzenden Bewertung der örtlichen Gegebenheiten folgendes Bild:

- Es handelt sich um eine selten befahrene, ländliche Erschließungsstraße.
- Es fehlen verkehrsregelnde Elemente wie Fahrbahnmarkierungen, Verkehrszeichen oder Geschwindigkeitsregelungen.
- Die Straße verläuft gerade und bietet gute Einsehbarkeit über die gesamte Länge.
- Aufgrund der baulichen Ausführung und des ländlichen Charakters ist von einer niedrigen Fahrgeschwindigkeit auszugehen.
- Trotz der rechnerisch ermittelten Blendzeiten ergibt sich aus der Kombination von geringer Verkehrsdichte, niedriger Geschwindigkeit, guten Sichtverhältnissen und geringer Komplexität im Straßenverlauf ein niedriges tatsächliches Risiko für Verkehrsteilnehmer.

Gutachterliche Einschätzung:

Die Blendwirkung entlang der Straße 2 wird als nicht sicherheitsrelevant eingestuft. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

Hinweis:

Sollte sich wider Erwarten herausstellen, dass es sich bei der Straße 2 um eine viel befahrene Verkehrsstraße handelt, sind Maßnahmen zur Vermeidung einer Gefährdung durch potenzielle Reflexionen bzw. Blendung umzusetzen. Da es sich bei der betrachteten Fläche um eine gerade Fläche ohne nennenswerte Neigung handelt, müssten entsprechende Maßnahmen auf Höhe der Moduloberkante erfolgen und am südlichen Teil der Anlage umgesetzt werden. Geeignete Optionen wären beispielsweise:

- Blickdichte Folierung an der Einfriedung,
- Blickdichter Bewuchs (z. B. Hecken oder Sträucher),
- oder andere abschirmende bauliche Maßnahmen, die eine Sichtverbindung zwischen Verkehrsfläche und reflektierender Moduloberfläche unterbrechen.

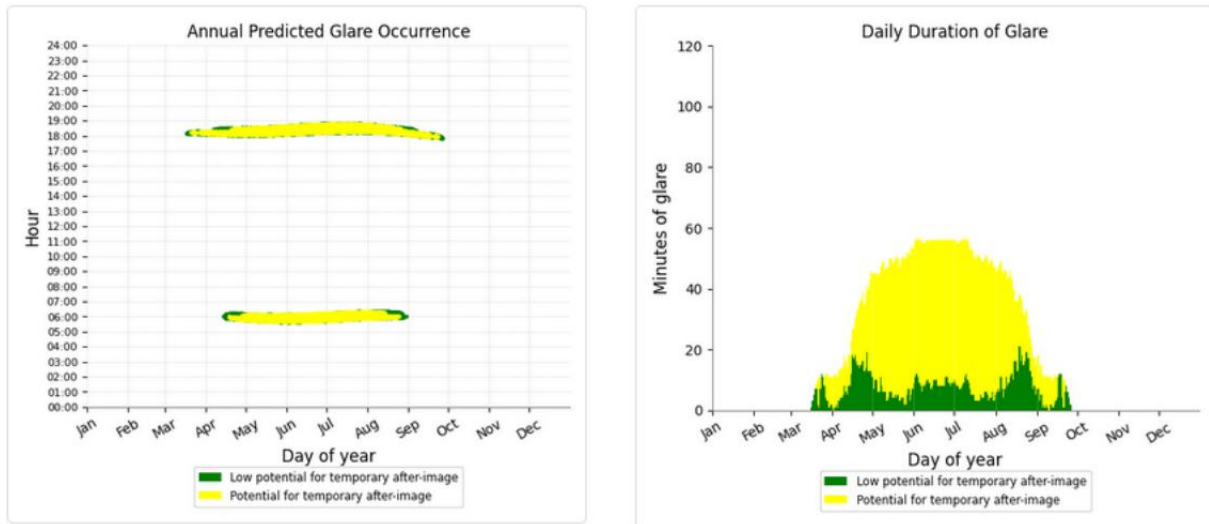


Abbildung 13: Zeitraum und Dauer der potenziellen Blendung auf "Straße 2"

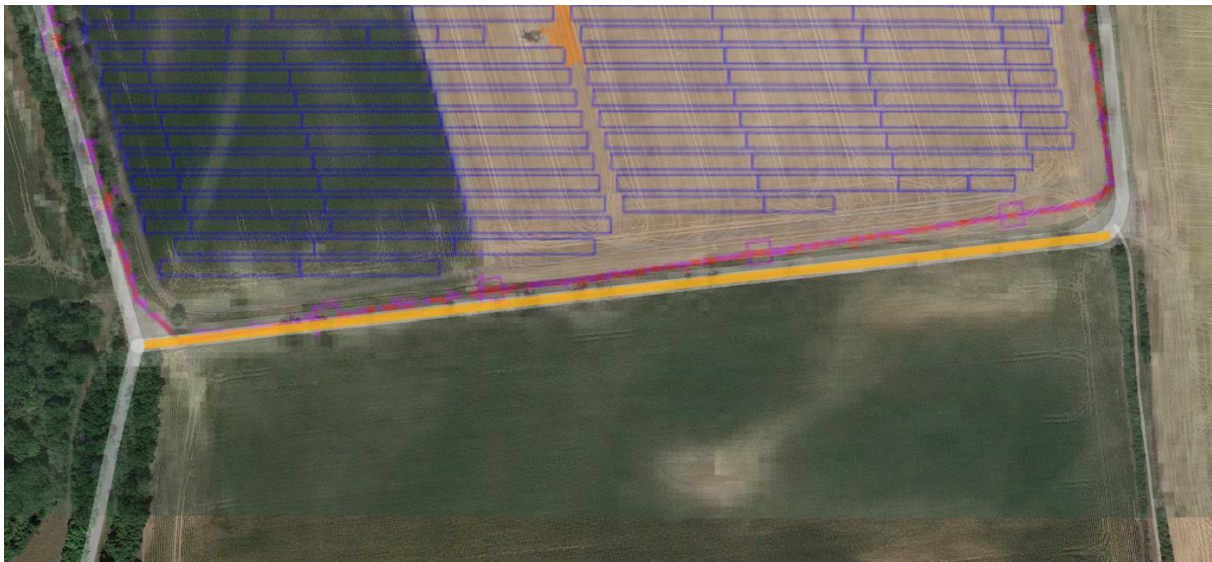


Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt in Orange



Abbildung 15: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Straße

8 Zusammenfassung

Für die nächstgelegenen Wohngebäude südlich der PV-Fläche wurde im Rahmen der Blendbewertung keine relevante Blendwirkung festgestellt (OP 1 bis OP 6). Gemäß den Hinweisen der LAI zur Bewertung von Lichtimmissionen liegt somit keine relevante Beeinträchtigung der Wohnnutzung vor. Straße 1 und Straße 3: Für beide Straßenabschnitte wurde in der Simulation keine Blendung im Blickwinkelbereich festgestellt. Es besteht daher kein Risiko für Verkehrsteilnehmer, und keine Maßnahmen sind erforderlich. Straße 2: Es handelt sich um eine gerade, wenig befahrene ländliche Straße ohne Markierungen oder Beschilderung. Aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit und der guten Sichtverhältnisse wird das Risiko einer potenziellen Blendwirkung als sehr niedrig eingestuft. Die ausführliche Bewertung ist Kapitel 7 zu entnehmen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] J. Trempler, *Optische Eigenschaften*, Carl Hanser Verlag, 2015.
- [2] J. Yellowhair und C. K. Ho, *Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts*, Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability, 2015.
- [3] C. Bucher, <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>, 2021.
- [4] P. Warthmann, <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem>, 2021.
- [5] P. R. Boyce, *Human Factors in Lighting*, CRC Press, 2014.
- [6] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vorsitzland der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)*, 2012.
- [7] Länderausschuss für Immissionsschutz, *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)*, 2002.
- [8] OVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik), *Blendung durch Photovoltaikanlagen*, Wien, 2016.
- [9] Federal Aviation Administration, *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, Federal Register, 2013.
- [10] C. Schierz, *Über die Blendbewertung von reflektierendem Sonnenlicht bei Solaranlagen*, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- [11] ForgeSolar, <https://www.forgesolar.com/help/#assumptions>.
- [12] European Union Aviation Safety Agency, *Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN, Issue 6)*, 2022.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	4
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	6
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	6
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	7
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	7
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	8
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]	8
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	9
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	9
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	10
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]	13
Abbildung 12: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar	14
Abbildung 13: Zeitraum und Dauer der potenziellen Blendung auf "Straße 2"	22
Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt in Orange	22
Abbildung 15: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld entlang der Straße	23

11 Gewährleistung

Unsere Fachgutachten werden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Messungen, Bewertungen, Berechnungen und Simulationen werden entsprechend dem Stand der Wissenschaft und Technik und den anerkannten Regeln der Technik mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen.

Die Fachgutachten erfolgen auf Basis der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Planungsunterlagen. Diese werden einer fachkritischen Wertung unterzogen. Die Informationen zu den technischen Parametern der einzelnen Komponenten werden soweit möglich mit Herstellerangaben abgeglichen. Dabei wird die Eignung der Komponenten anhand der entsprechenden Zertifikate oder anderer Nachweise geprüft. Der Gutachter unterstellt dabei, dass die für die Komponenten geltenden anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Für Fehlangaben des Auftraggebers sowie modellbedingte Abweichungen hat der Gutachter nicht einzustehen. Die in den Fachgutachten verwendeten Messungen sind mit Messunsicherheiten behaftet. Die Bewertungen anhand von Berechnungen sind mit Unsicherheiten in der Modellierung verbunden. Somit können Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Werten zu den tatsächlichen Werten nicht ausgeschlossen werden. Der Gutachter ist bestrebt, die Abweichungen gering zu halten.

Für einfache und grobe Fahrlässigkeit gilt eine Haftungsbegrenzung auf folgende Beträge:

1. Die Haftung für einfache Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 100.000 € beschränkt.
2. Die Haftung für alle sonstigen Fälle der Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 200.000 € begrenzt.
3. Die Haftung für Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit wird durch die vereinbarten Haftungsbegrenzungen nicht berührt. Das gleiche gilt für die Haftung wegen Vorsatz.

12 Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens

Der Auftraggeber ist nicht berechtigt, das Gutachten ohne die ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Auftragnehmers an Dritte weiterzugeben oder zu veröffentlichen, mit Ausnahme der Weitergabe an dafür vorgesehene Behörden. Eine Veröffentlichung im Internet oder die Weitergabe an andere Dritte muss schriftlich angefragt werden. Es ist wichtig, dass alle Parteien die vertraglichen Vereinbarungen respektieren, um rechtliche Konflikte zu vermeiden.