

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

Phone +49 (0)30 29 38 12 80

Email solarservices@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

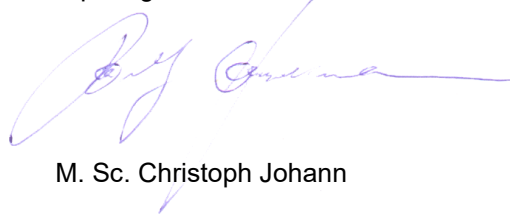
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Görike Gehren

Anlage: Solarpark Görike Gehren
52°57'19.7"N 12°13'27.4"E
16866, Görike

in Auftrag gegeben von: DEG Solarpark 40 GmbH & Co KG
Schmiedestrang 22
33415 Verl

Projektnummer: A-LV25/0236

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ralf Haselhuhn', written over the printed name.

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 27.10.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung	4
3	Beschreibung der PV-Anlage.....	5
	3.1 Südlich ausgerichtete PV-Freiflächenanlage (SO-PV).....	5
	3.2 Agri-PV Trackeranlage (SO-Agri-PV).....	5
4	Grundlagen der Optik.....	8
	4.1 Geometrische Reflexionssituation.....	8
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen.....	9
	4.3 Blendung.....	11
5	Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar	12
	5.1 Bewertungsbasis	12
	5.2 Simulationstool und Modellierung	13
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung.....	14
6	Simulation mit ForgeSolar	15
	6.1 PV-Anlage.....	16
	6.2 Immissionsorte.....	20
	6.2.1 Wohngebäude	20
	6.2.2 Verkehrswege.....	20
7	Ergebnisse mit ForgeSolar.....	24
	7.1 Gumtowers Weg.....	25
	7.2 Feldweg	26
	7.3 Wohngebäude	26
	7.3.1 OP1 – OP4	27
8	Blendschutzmaßnahmen.....	29
	8.1 Empfohlene Blendschutzmaßnahmen	29
	8.1.1 Variante A: Nutzung der Einfriedung an der Gesamtfläche	29
	8.1.2 Variante B: Umzäunung der Teilfläche Nord.....	29
	8.1.3 Variante A: Variante A: Nutzung der Einfriedung an der Gesamtfläche.....	30
	8.1.4 Variante B: Umzäunung der Teilfläche Nord.....	31
9	Zusammenfassung.....	32
10	Literaturverzeichnis	33
11	Abbildungsverzeichnis.....	34
12	Gewährleistung	35
13	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	35



1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Görike Gehren 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

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) Görike-Gehren liegt im Gemeindegebiet Gumtow, Ortsteil Görike, im Landkreis Prignitz (Brandenburg). Das Projektgebiet erstreckt sich über mehrere Flurstücke der Gemarkungen Görike und Granzow und umfasst sowohl eine südlich ausgerichtete PV-Freiflächenanlage als auch eine Agri-PV Trackeranlage im westlichen Bereich.

Die Umgebung ist ländlich geprägt und besteht überwiegend aus landwirtschaftlich genutzten Flächen, Gehölzstrukturen und vereinzelter Wohnbebauung. Südlich und westlich der Anlage verlaufen der Gumtower Weg sowie ein Feldweg, die als potenziell relevante Verkehrswege für die Blendbewertung berücksichtigt werden. In unmittelbarer Nähe befinden sich mehrere Wohnhäuser, die ebenfalls als schutzwürdige Immissionsorte gemäß den LAI-Hinweisen gelten.

Das Gelände weist eine leichte Höhenstaffelung auf. Ein vermessener Höhenpunkt im Bereich der Anlage liegt bei 61,02 m über Normalhöhennull (NHN). Die Umgebung ist durch Heckenpflanzungen und Gehölze strukturiert. Diese Gehölze sind teilweise Bestandteil der landschaftspflegerischen Maßnahmen (Maßnahme M2) und können als zusätzliche Sichtunterbrechung wirken.

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



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

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage (PVA) Görike-Gehren besteht aus zwei Teilbereichen mit unterschiedlichen technischen Ausführungen:

3.1 Südlich ausgerichtete PV-Freiflächenanlage (SO-PV)

Die südlich ausgerichtete Anlage ist als konventionelle Freiflächenanlage konzipiert. Die Modulflächen sind mit einem Azimut von 180° (Süd) und einem Neigungswinkel von 15° geplant. Die Unterkonstruktion besteht aus feststehenden Modultischen mit drei Modulreihen (3P) pro Tisch. Die verwendeten Module sind vom Typ ASTRO N7 CHSM66RN(DG)/F-BH.

Die Gesamtleistung dieses Anlagenteils beträgt rund 31,67 MWp. Der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 2,7 m geplant. Die mittlere Modulhöhe beträgt somit 1,75 m. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

3.2 Agri-PV Trackeranlage (SO-Agri-PV)

Im westlichen Bereich des Projektgebiets befindet sich die Agri-PV Trackeranlage. Diese ist als einachsige nachgeführte System mit Ost-West-Ausrichtung konzipiert. Die Tracker folgen dem Sonnenstand und erreichen dabei Neigungswinkel von bis zu maximal 72° . Die Ruhestellung (Resting Angle) sowie das Backtracking-Verhalten sind Bestandteil der Simulation. Die Trackingachse verläuft Nord/Süd und somit einem Azimut der Module mit $90/270^\circ$. Der GCR liegt bei (Ground coverage ratio) 0,3. Bei dieser Art von nachgeführten Systemen folgt der Neigungswinkel dem Sonnenstand, von hohen Neigungswinkeln bei tiefstehender Sonne, zu flachen Winkeln bei hochstehender Sonne.

Der Azimut der Modulflächen wechselt dabei von einer Ostausrichtung in der ersten Tageshälfte, zu einer Westausrichtung in der zweiten. Der Neigungswinkel wird dabei durch das sogenannte Backtracking begrenzt, wodurch eine Eigenverschattung der Module bei tiefstehender Sonne durch einen zu hohen Neigungswinkel verhindert wird. Der Azimut der Modulflächen variiert zwischen 90° Ost in der ersten Tageshälfte und 270° West in der zweiten Tageshälfte. Bei tiefstehender Sonne führt ein hoher Neigungswinkel jedoch - je nach Reihenabstand und Tischbreite - zur Eigenverschattung der Modulreihen. Dies wird meist durch ein aktives „Backtracking“ verhindert, durch welches bei auftretender Eigenverschattung der Modulreihen der Neigungswinkel reduziert wird. Im Sommer begrenzt das Backtracking demnach den maximalen Neigungswinkel in den Morgen- und Abendstunden. Mit höherem Sonnenstand kann der Neigungswinkel dann kurzzeitig auf eine maximale Neigung von 72° erhöht werden. Bis zum Mittag senkt er sich dann mit zunehmender Sonnenhöhe auf einen idealen Neigungswinkel von 0° ab. Je nach Hersteller ist auch eine Anpassung dieses Nachführverhaltens möglich, beispielsweise die Begrenzung der Absenkung des Neigungswinkels bei sehr tiefem Sonnenstand.

Die Trackeranlage verwendet ebenfalls ASTRO N7 Module, jedoch in einer vertikalen Doppelkonfiguration (2 Module übereinander). Die Modulunterkante liegt bei ca. 0,8 m, die Moduloberkante bei bis zu 5,46 m (bei 72° Neigung).

Die Trackeranlage ist gemäß Bebauungsplan von landschaftstypischen Heckenpflanzungen (Maßnahme M2) umgeben, die als Sichtunterbrechung gegenüber angrenzenden Verkehrswegen und Wohnhäusern wirken können. Abbildung 4 verdeutlicht die technische Zeichnung der Tracker-Anlage.

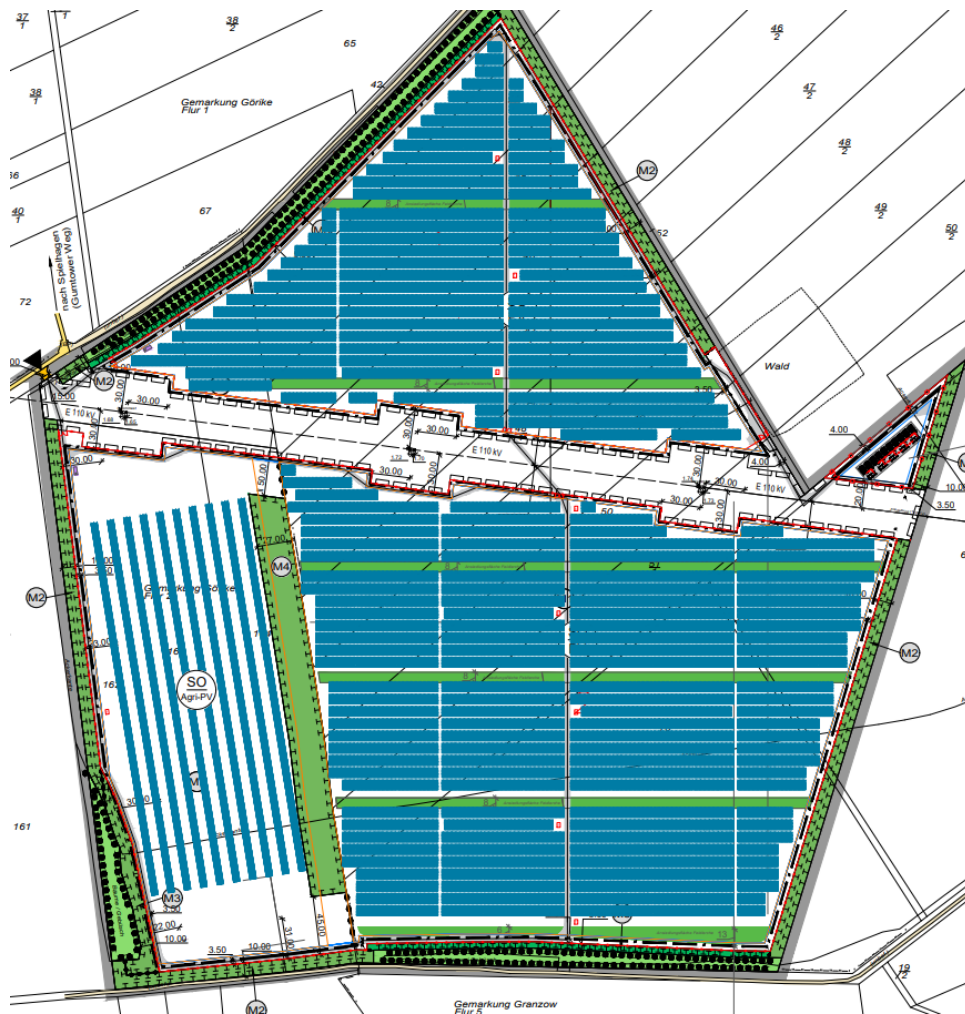
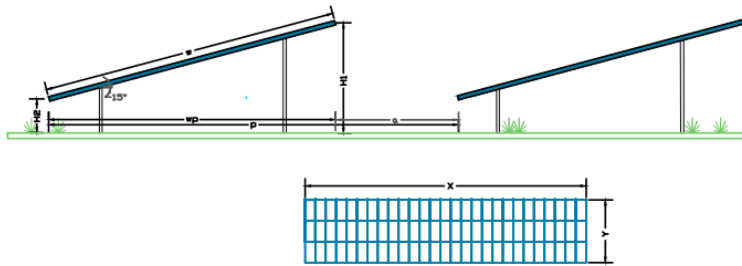


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)



Structure Details	
Orientation	3P South
Table Dimensions	27.67 x 7.2
Module Dimensions	2.38 x 1.13
Plane tilt	15°
Azimuth	0
Height 1 (m)	2.69 ± 0.2
Height 2 (m)	0.8
Pitch p (m)	9.95 ± 0.2
Aisle width a (m)	3.00
Width w (m)	7.2 ± 0.2
Proj. width wp (m)	6.95 ± 0.2
No. of Panels	

Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion Südlich ausgerichtete PV-Freiflächenanlage (SO-PV) (Quelle: Auftraggeber)

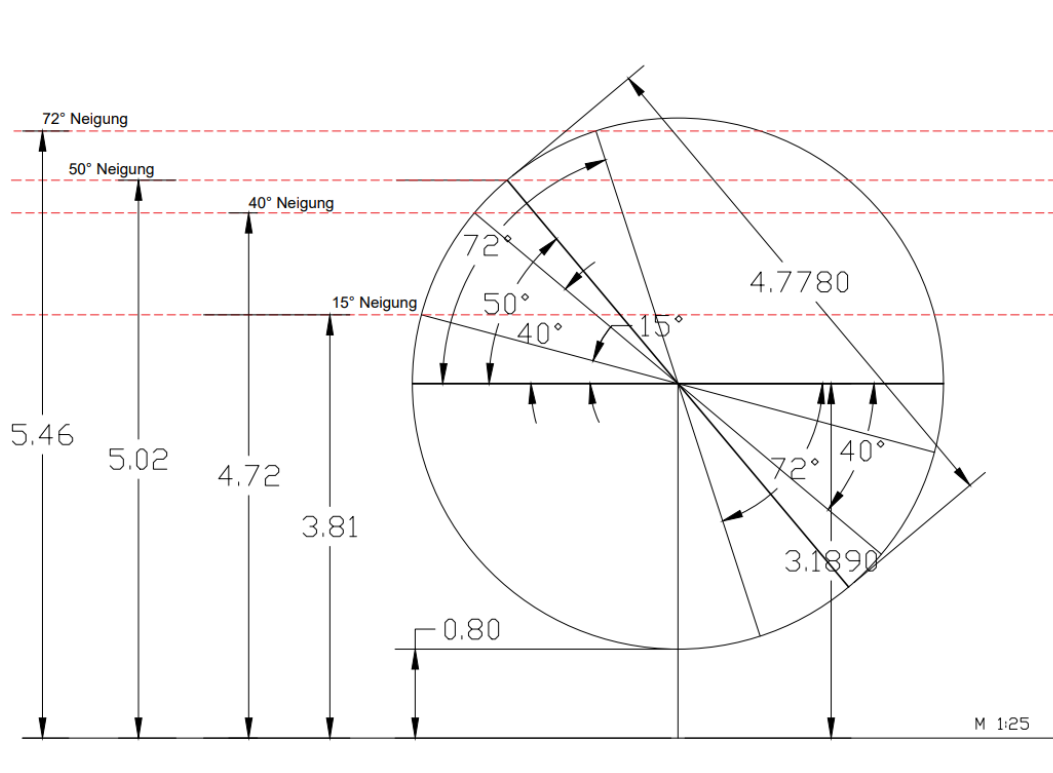


Abbildung 4: Zeichnung der Unterkonstruktion Agri-PV Trackeranlage (SO-Agri-PV) (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

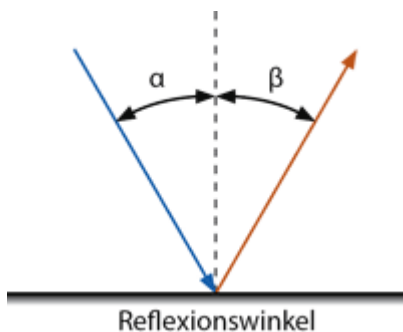


Abbildung 5: Reflexion eines Lichtstrahls

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 6 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.

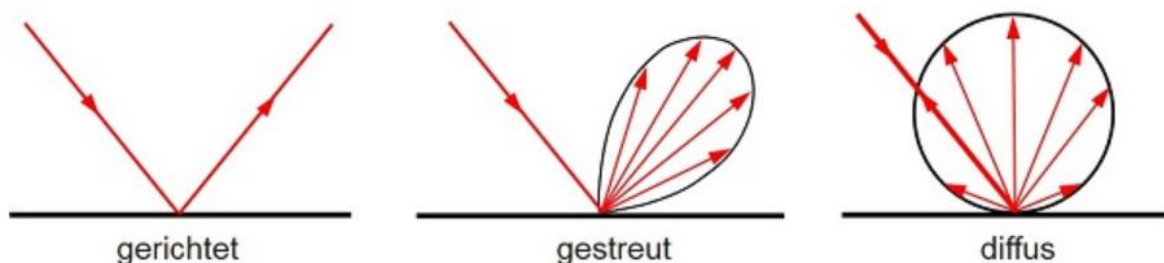


Abbildung 6: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

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 7).

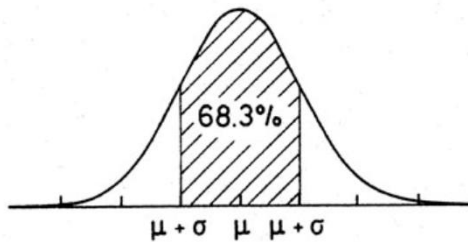


Abbildung 7: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 8 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

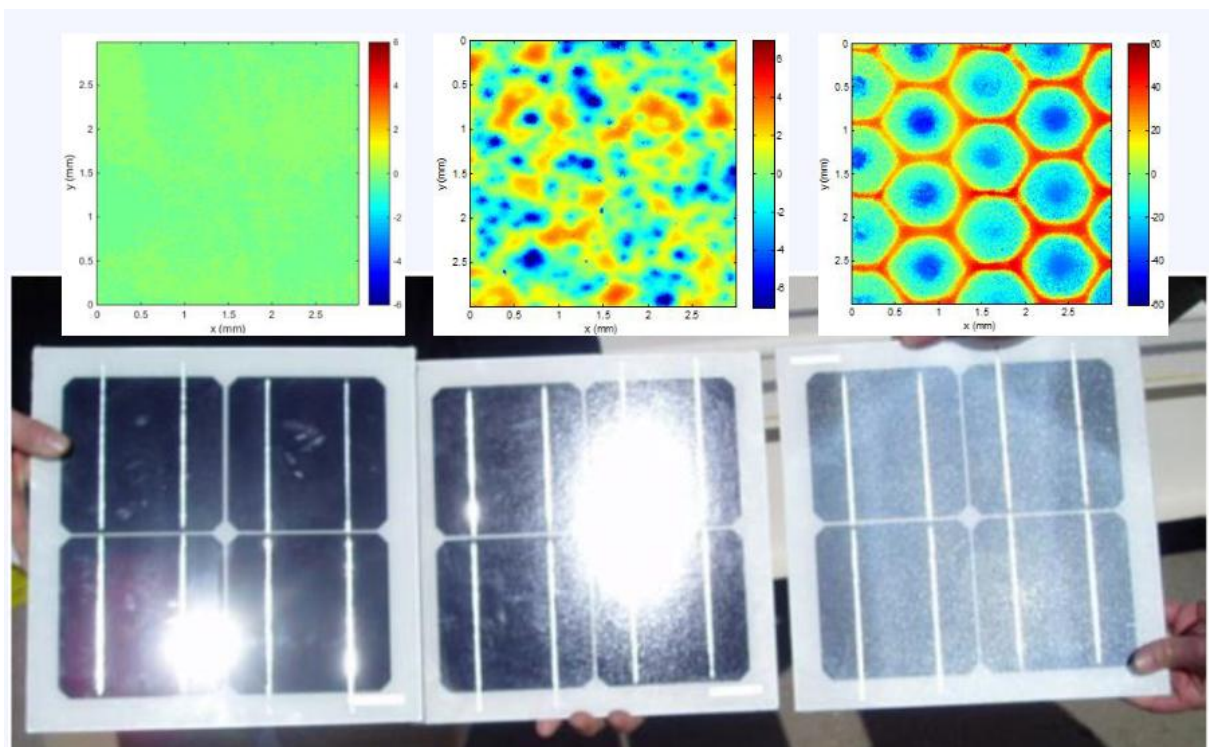


Abbildung 8: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

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 9.

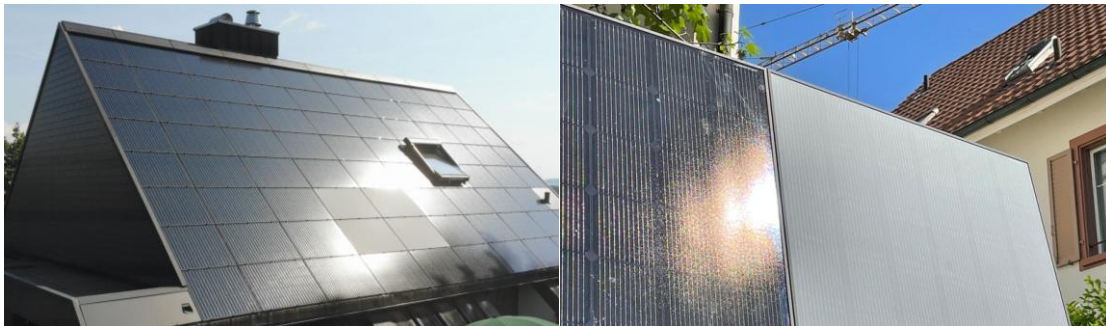


Abbildung 9: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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 10 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

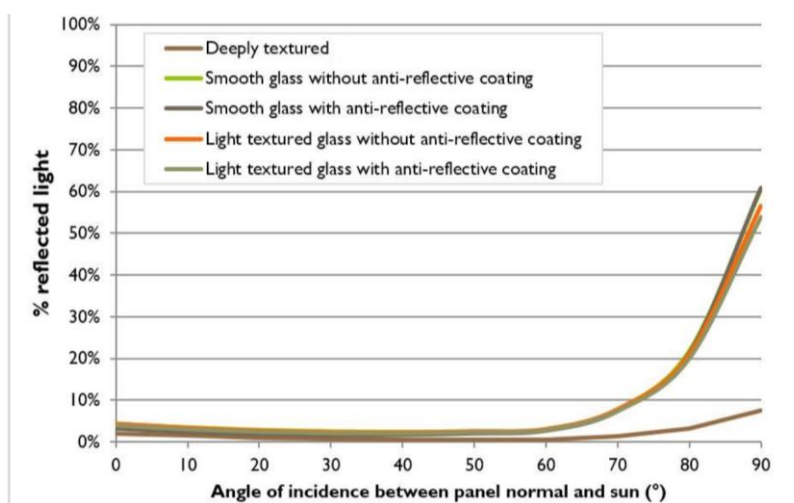


Abbildung 10 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

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 11 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.

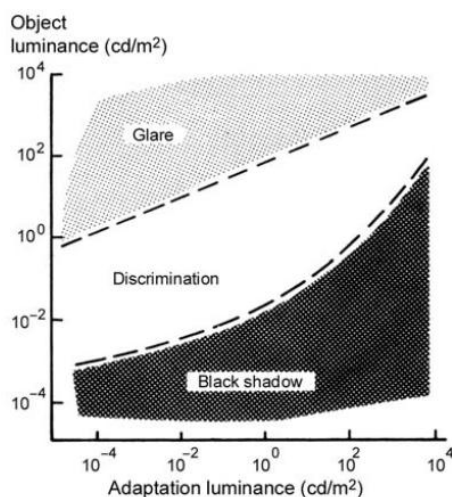


Abbildung 11: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

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 Hinweispapier 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 12 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.

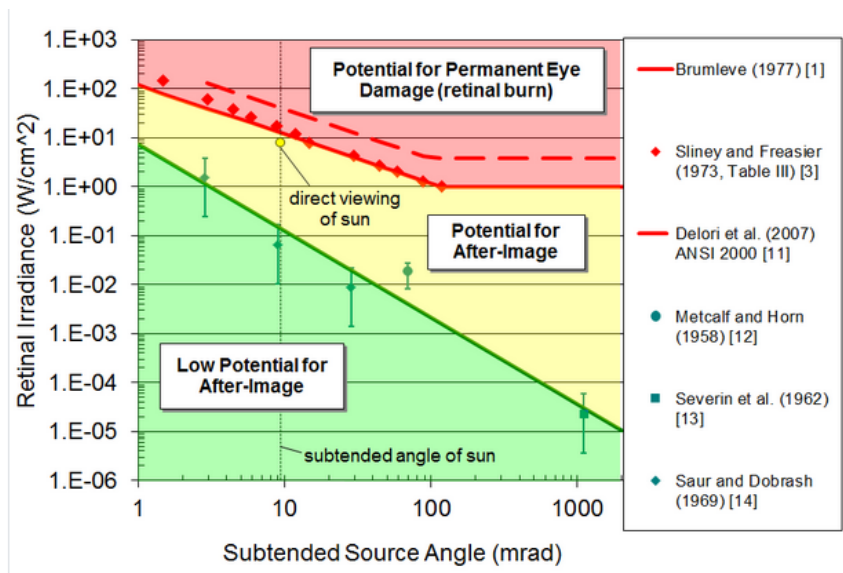


Abbildung 12: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]

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 13 sowie Abbildung 14 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 13: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar Teil 1

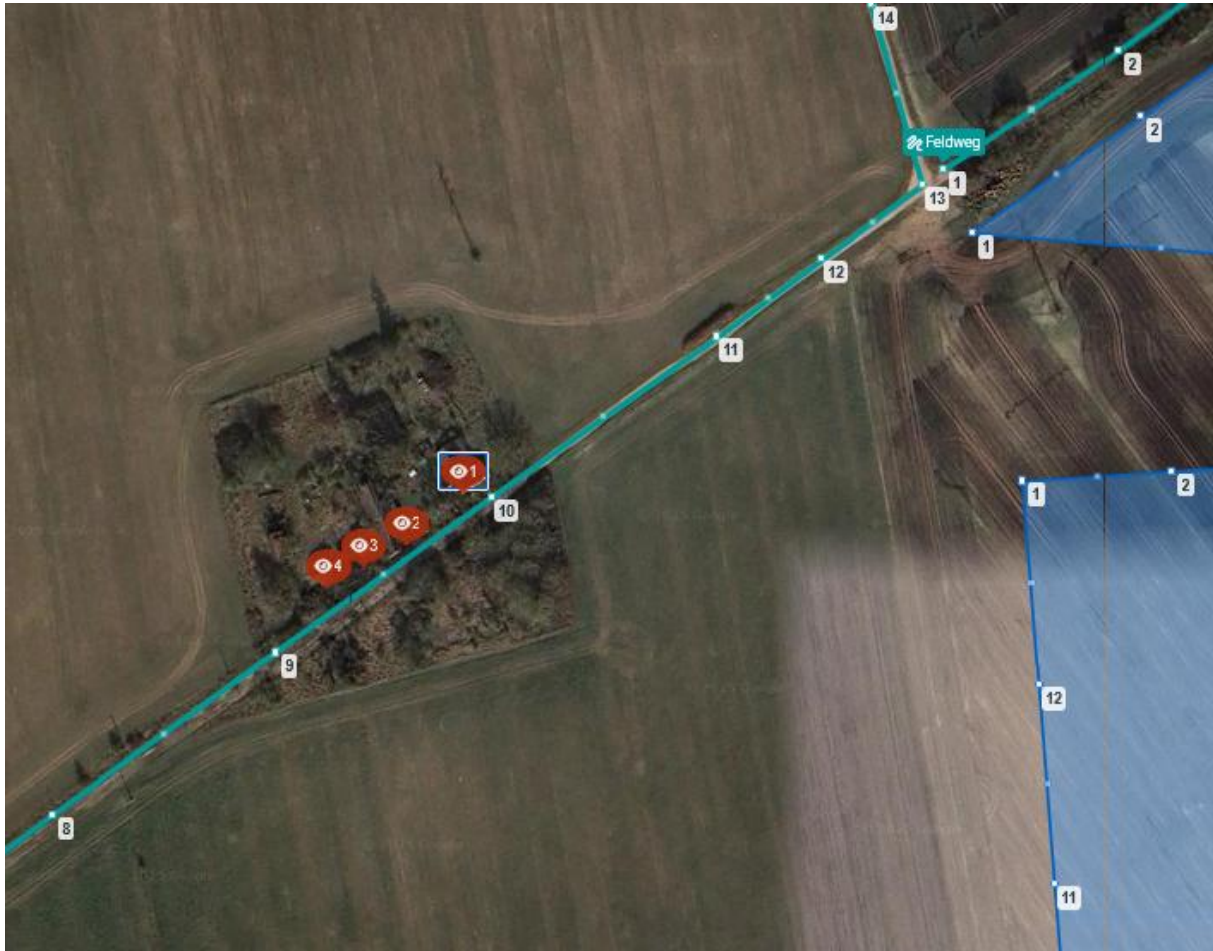


Abbildung 14: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar Teil 2

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 Nord und Süd werden mit 180° Azimut und 15° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 1,9 m. Die PV-Fläche mit der Tracker-Anlage wird entsprechend den Angaben aus Kapitel 3 simuliert. Die Modulhöhe wurde mit 3,2 m angenommen. Als maximale Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche werden 1000 W/m^2 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]
PV Nord	1	52,955852 9	12,218819 2	62,2	1,7	63,9
PV Nord	2	52,956237 5	12,219741 9	63,6	1,7	65,3
PV Nord	3	52,956622 1	12,220664 6	63,8	1,7	65,5
PV Nord	4	52,957242 5	12,221667 7	63,1	1,7	64,8
PV Nord	5	52,957850 1	12,222627 9	62,4	1,7	64,1
PV Nord	6	52,958690 3	12,223797 4	61,3	1,7	63
PV Nord	7	52,957867 9	12,224569 9	61,4	1,7	63,1
PV Nord	8	52,957084 2	12,225213 6	62,9	1,7	64,6
PV Nord	9	52,956239 1	12,226039 7	62,7	1,7	64,4
PV Nord	10	52,955432 8	12,226801 5	64,6	1,7	66,3
PV Nord	11	52,955537 9	12,224875 6	65,4	1,7	67,1
PV Nord	12	52,955642 9	12,222842 5	65,6	1,7	67,3
PV Nord	13	52,955747 9	12,220895 2	65,3	1,7	67

PV Sued	1	52,955232 5	12,221329 8	64,1	1,7	65,8
PV Sued	2	52,955111 3	12,223049	64,8	1,7	66,5
PV Sued	3	52,955028 9	12,224532 3	64,7	1,7	66,4
PV Sued	4	52,95494	12,226262 3	66	1,7	67,7
PV Sued	5	52,954877	12,227863 6	65,9	1,7	67,6
PV Sued	6	52,953484 6	12,227263 5	65,1	1,7	66,8
PV Sued	7	52,952762 6	12,226963 5	61,9	1,7	63,6
PV Sued	8	52,952092 3	12,226663 4	53,9	1,7	55,6
PV Sued	9	52,952077 7	12,225483 2	56	1,7	57,7
PV Sued	10	52,952063 2	12,224217 2	51,3	1,7	53
PV Sued	11	52,952048 7	12,222865 4	50,5	1,7	52,2
PV Sued	12	52,952034 1	12,221642 3	52,2	1,7	53,9
PV Sued	13	52,952775 5	12,221569 5	60,4	1,7	62,1
PV Sued	14	52,953594 5	12,221496 8	63,6	1,7	65,3
PV Sued	15	52,954439 4	12,221413 3	60,9	1,7	62,6

PV Tracker	1	52,955033 3	12,219099 6	62,4	3,2	65,6
PV Tracker	2	52,955065 6	12,219915	62,9	3,2	66,1
PV Tracker	3	52,955097 9	12,220708 9	63,1	3,2	66,3
PV Tracker	4	52,954449 9	12,220776	62,4	3,2	65,6
PV Tracker	5	52,953814 9	12,220843	63,5	3,2	66,7
PV Tracker	6	52,953082 9	12,220910 1	63,3	3,2	66,5
PV Tracker	7	52,952441 3	12,220977 1	57,2	3,2	60,4
PV Tracker	8	52,952415 5	12,220226 1	57,5	3,2	60,7
PV Tracker	9	52,952389 6	12,219453 6	58,8	3,2	62
PV Tracker	10	52,953008 5	12,219365 1	62,2	3,2	65,4
PV Tracker	11	52,953705	12,219276 6	62,3	3,2	65,5
PV Tracker	12	52,954362 7	12,219188 1	62,6	3,2	65,8

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

Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder von 08/2024.

Für die Bewertung der potenziellen Blendwirkung durch die geplante Photovoltaikanlage Görike-Gehren wurden mehrere relevante Immissionsorte identifiziert. Diese umfassen sowohl schutzwürdige Gebäude als auch Verkehrswege gemäß den LAI-Hinweisen und den Anforderungen an die Verkehrssicherheit.

6.2.1 Wohngebäude

In unmittelbarer Umgebung der PV-Anlage befinden sich mehrere Wohnhäuser, die als schutzwürdige Räume im Sinne der LAI-Hinweise gelten. Diese Gebäude liegen nördlich, südwestlich und östlich der Anlage und sind teilweise durch Gehölze und Heckenpflanzungen abgeschirmt. Die genaue Lage und Entfernung der Gebäude wurde anhand der bereitgestellten Immissionsort-Karte des Auftraggebers sowie der Vermessungsgrundlage ermittelt.

6.2.2 Verkehrswege

Zwei Verkehrswege wurden als potenziell relevante Immissionsorte für die Blendbewertung identifiziert:

Gumtowers Weg: Eine öffentliche Straße, die westlich am Projektgebiet vorbeiführt. Sie liegt in Sichtweite zu den geplanten PV-Flächen und ist daher besonders relevant für die Bewertung von Reflexionen im Straßenverkehr.

Feldweg: Ein landwirtschaftlich genutzter Weg, der nördlich Anlage verläuft. Aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeit und der ländlichen Nutzung wird dieser Weg als weniger kritisch eingestuft, jedoch vorerst in der Simulation berücksichtigt.

Die Untersuchungshöhe für den Straßenverkehr wird auf 3 m über der Strecke festgelegt. Für die Straßen wird ein relevanter Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung untersucht. Die exakten Koordinaten, die Höhen ü. NN, die für die Simulation angenommenen Untersuchungshöhen und die daraus resultierenden Gesamthöhen 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]
Feldweg	1	52,956058 5	12,218666	61,3	3	64,3
Feldweg	2	52,956451 2	12,219623 5	62,6	3	65,6

Feldweg	3	52,956843 8	12,220506	63,5	3	66,5
Feldweg	4	52,957457 8	12,221493	62,3	3	65,3
Feldweg	5	52,958058 9	12,222415 7	62,9	3	65,9
Feldweg	6	52,958542 8	12,223117 1	61,9	3	64,9
Feldweg	7	52,959091 3	12,223915 1	61	3	64
Feldweg	8	52,959601 1	12,224637 9	62,9	3	65,9
Feldweg	9	52,960097 9	12,225360 8	62,5	3	65,5
Gumtower Weg	1	52,949986	12,205646 5	52,8	3	55,8
Gumtower Weg	2	52,950941 1	12,207279 9	54,8	3	57,8
Gumtower Weg	3	52,95145	12,208135 4	56,5	3	59,5
Gumtower Weg	4	52,951837 9	12,208966 9	57	3	60
Gumtower Weg	5	52,952342 5	12,210131 6	57,1	3	60,1
Gumtower Weg	6	52,952847 1	12,211328 6	57,2	3	60,2
Gumtower Weg	7	52,953396 9	12,212573 8	58	3	61
Gumtower Weg	8	52,953933 8	12,213786 8	58,5	3	61,5

Gumtower Weg	9	52,954467 4	12,215007 9	59,5	3	62,5
Gumtower Weg	10	52,954981 7	12,216196 8	60	3	63
Gumtower Weg	11	52,955508 9	12,217423 2	59,8	3	62,8
Gumtower Weg	12	52,955766	12,217998 9	60,6	3	63,6
Gumtower Weg	13	52,956010 2	12,218553 1	60,8	3	63,8
Gumtower Weg	14	52,956601 2	12,218272 8	62,1	3	65,1
Gumtower Weg	15	52,957218 1	12,217960 4	61,5	3	64,5
Gumtower Weg	16	52,957812 3	12,217653 3	61,1	3	64,1
Gumtower Weg	17	52,958451 8	12,217314	59	3	62

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Beobachtungspunkte

Untersuchungs- punkt	Breitengra d [°]	Längengra d [°]	Höhe ü. NN [m]	Untersuchung s- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
1	52,955011 6	12,216034 3	60,4	5	65,4
2	52,954841 3	12,215726 5	60,2	2	62,2
3	52,954766 5	12,215495 3	60,8	2	62,8
4	52,954697 8	12,215300 9	61,4	2	63,4



5	52,961455 4	12,215462 6	62,2	5	67,2
6	52,961495 8	12,216111 7	63,2	5	68,2
7	52,953310 9	12,235284 8	52,3	5	57,3

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 für schutzwürdige Immissionsorte 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. Im Straßen- und Bahnverkehr werden erst bei sehr tiefen Sonnenständen (Höhe $\leq 5^\circ$) die Reflexionen, die weniger als 10° von der Sonnenposition entfernt sind, gefiltert, weil dann eine Sonnenblende nicht mehr effektiv zum Einsatz kommen kann.

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 4 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.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

PV-Feld	Immissionsort	Neigung (°)	Ausrichtung (°)	Jährliche Dauer der Blendung [min]	Tägliche Dauer der Blendung [min]
PV Nord	Gumtower Weg	15	180	1981	17
PV Nord	Feldweg	15	180	3059	27
PV Nord	OP1	15	180	845	11
PV Nord	OP2	15	180	1569	15
PV Nord	OP3	15	180	1328	14
PV Nord	OP4	15	180	1171	14
PV Nord	OP5	15	180	0	0
PV Nord	OP6	15	180	0	0
PV Nord	OP7	15	180	731	12
PV Süd	Gumtower Weg	15	180	0	0
PV Süd	Feldweg	15	180	0	0
PV Süd	OP1	15	180	0	0
PV Süd	OP2	15	180	0	0
PV Süd	OP3	15	180	0	0
PV Süd	OP4	15	180	0	0

PV Süd	OP5	15	180	0	0
PV Süd	OP6	15	180	0	0
PV Süd	OP7	15	180	235	14
PV Tracker	Gumtowers Weg	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	Feldweg	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP1	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP2	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP3	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP4	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP5	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP6	variabel	90/270°	0	0
PV Tracker	OP7	variabel	90/270°	0	0

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche von PV Feld Nord und Süd horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Osten zwischen 98 - 116° von April bis August und in Richtung Westen zwischen 245 - 268° von März bis September auf. Das entspricht Immissionswinkeln zwischen 278 - 296° und zwischen 65 - 88°.

7.1 Gumtowers Weg

Bei der durchgeführten Simulation wurde für den Gumtowers Weg eine potenzielle Blendwirkung festgestellt, ausgehend von den Modulflächen im nördlichen Bereich der PV-Anlage (PV-Feld Nord). Die Reflexionen treten dabei in einem relevanten Sichtwinkel von $\pm 30^\circ$ zur Fahrtrichtung auf und liegen zeitlich in Phasen mit tiefstehender Sonne.

Der Gumtowers Weg stellt nach Auswertung der Umgebung und Luftbilder eine befestigte Straße dar, die Ortschaften miteinander verbindet und somit dem öffentlichen Straßenverkehr dient. Aufgrund der Verkehrsbedeutung und der potenziellen Sichtbeeinträchtigung durch Reflexionen ist eine Blendwirkung auf Verkehrsteilnehmer nicht auszuschließen.

Zur Wahrung der Verkehrssicherheit ist es daher erforderlich, dass Blendwirkungen unterbunden werden. Dies kann durch geeignete Blendschutzmaßnahmen erfolgen, welche in Kapitel 8 beschrieben sind.

7.2 Feldweg

Bei dem untersuchten Verkehrsweg mit der Bezeichnung „Feldweg“ handelt es sich nach Auswertung aktueller Google Earth Luftbilder eindeutig um einen nicht befestigten, landwirtschaftlich genutzten Weg. Es sind keine Merkmale einer öffentlichen Straße wie Asphaltierung, Fahrbahnmarkierung oder Verkehrsinfrastruktur erkennbar.

Sollte dieser Weg dennoch gelegentlich dem Straßenverkehr dienen, ist aufgrund seiner Beschaffenheit von sehr niedrigen Fahrgeschwindigkeiten auszugehen. Damit reduziert sich das Risiko einer wahrnehmungsbeeinträchtigenden Blendwirkung erheblich, da die Reaktionszeit der Verkehrsteilnehmer bei niedriger Geschwindigkeit deutlich höher ist.

Zusätzlich ist entlang des Feldwegs ein natürlicher Bewuchs in Form von Gehölzen und Hecken vorhanden, der sich über einen breiten Streifen erstreckt. Dieser Bewuchs wirkt als Sichtunterbrechung und kann potenzielle Reflexionen der PV-Anlage wirksam abschirmen. Die genaue Wirkung wird in der Simulation berücksichtigt.

Aus Sicht des Gutachters ist daher nicht von einer relevanten Sichtbeeinträchtigung durch Reflexionen auf den Feldweg auszugehen. Es werden keine Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

7.3 Wohngebäude

Zur Bewertung potenzieller Blendwirkungen auf schutzwürdige Räume wurden insgesamt sieben Beobachtungspunkte (OP1 bis OP7) simuliert, die jeweils Wohngebäude in der Umgebung der PV-Anlage repräsentieren. Die Bewertung erfolgte gemäß den Hinweisen der LAI sowie unter Berücksichtigung der astronomisch maximalen Blenddauer.

PV-Feld Nord (Südausrichtung, 15° Neigung)

- OP1: 845 min/Jahr, 11 min/Tag
- OP2: 1569 min/Jahr, 15 min/Tag
- OP3: 1328 min/Jahr, 14 min/Tag
- OP4: 1171 min/Jahr, 14 min/Tag
- OP5 & OP6: Keine Blendung
- OP7: 731 min/Jahr, 12 min/Tag

Die tägliche Blenddauer liegt bei allen betroffenen OPs unterhalb des LAI-Grenzwerts von 30 Minuten pro Tag und 1800 Minuten pro Jahr.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Simulation eine Worst-Case-Betrachtung darstellt, bei der Bewölkung und Sichtunterbrechungen nicht berücksichtigt werden. In der Realität sind viele Tage im Winterhalbjahr bewölkt, sodass die tatsächliche Blenddauer deutlich geringer ausfallen dürfte.

Zusätzlich ist in der Umgebung der Wohngebäude natürlicher Bewuchs vorhanden, der potenzielle Reflexionen abschirmen kann. Die genaue Wirkung hängt von der Vegetation, Entfernung und Blickrichtung ab und wird in der Gesamtauswertung berücksichtigt.

Aus Sicht des Gutachters ist die Blendwirkung für OP1 bis OP4 und OP7 astronomisch nachweisbar, jedoch aufgrund der geringen täglichen Dauer und der vorhandenen Abschirmung nicht als erheblich im Sinne der LAI-Hinweise einzustufen.

Es werden keine Blendschutzmaßnahmen empfohlen, jedoch kann ein Vorgespräch mit den Anwohnern sinnvoll sein.

PV-Feld Süd und Trackeranlage

Für alle OPs wurden bei der südlichen PV-Fläche sowie der Trackeranlage keine relevanten potenziellen Reflexionen festgestellt. Die Simulation ergab 0 min/Jahr und 0 min/Tag für OP1 bis OP6. Lediglich OP7 zeigt beim PV-Feld Süd eine geringe astronomische Blenddauer von 235 min/Jahr und 14 min/Tag, was ebenfalls unterhalb der LAI-Grenzwerte liegt und als nicht erheblich einzustufen ist.

Nachfolgend ist die Analyse der einzelnen Wohngebäude in Bezug auf potenzielle Reflexionen durch die PV-Fläche Nord dargestellt.

7.3.1 OP1 – OP4

Für das PV-Feld Nord wurden Reflexionen in Richtung OP1 – OP4 festgestellt. Es kommt von Anfang April bis Mitte September zwischen 05:30 und 06:30 Uhr (UTC+1) zu potenziellen Reflexionen, siehe Abbildung 15. Die Emissionswinkel liegen zwischen 98° - 116°. Abbildung 16 verdeutlicht die PV-Fläche, welche potenzielle Reflexionen in Richtung der untersuchten Wohngebäude verursachen könnten.

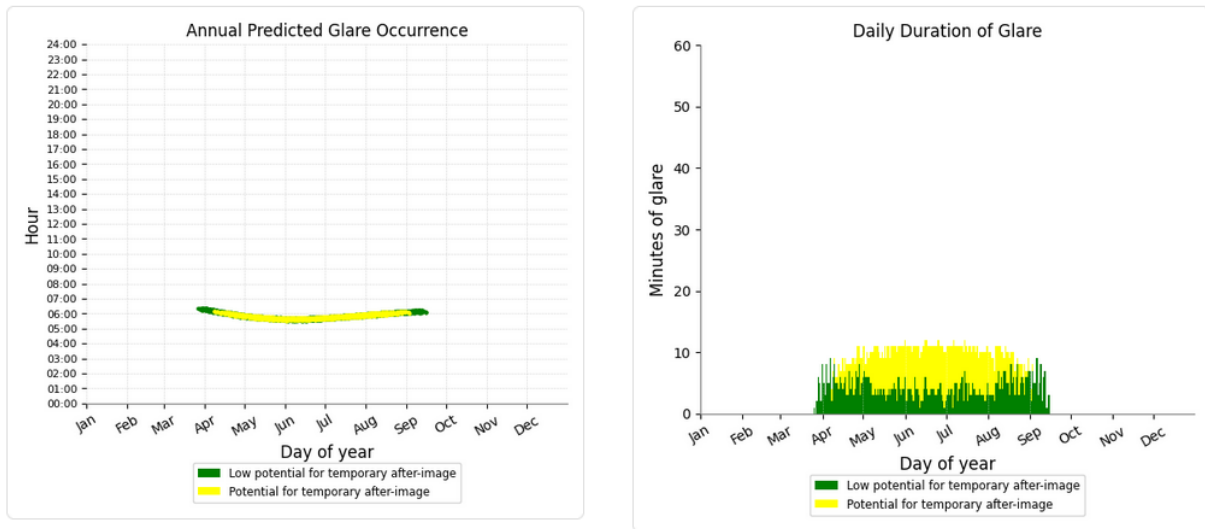


Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung von PV-Feld Nord auf OP1 – OP4

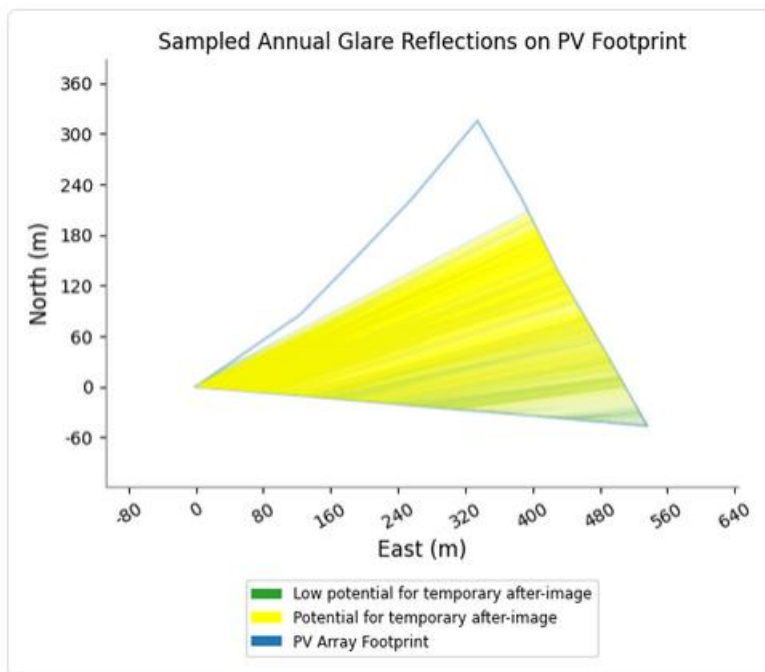


Abbildung 16: PV-Fläche PV Nord, die Reflexionen in Richtung OP1 – OP4

8 Blendschutzmaßnahmen

Im Rahmen der Simulation wurde für den Gumtowers Weg eine potenzielle Blendwirkung festgestellt, ausgehend von den Modulflächen im nördlichen Bereich der PV-Anlage. Da es sich beim Gumtowers Weg um eine öffentliche, befahrene Straße handelt, die Ortschaften miteinander verbindet, ist eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit nicht auszuschließen. Es ist daher erforderlich, geeignete Maßnahmen zur Unterbindung der Blendwirkung zu ergreifen. Weiterhin werden durch diese Maßnahme die ermittelten potenziellen Reflexionen in Richtung der Wohngebäude OP1 – OP4 weiter minimiert.

8.1 Empfohlene Blendschutzmaßnahmen

Zur Abschirmung der relevanten Reflexionsrichtungen werden Sichtunterbrechungen empfohlen, die sich an der Höhe der Moduloberkante orientieren. Die Umsetzung kann in zwei Varianten erfolgen, abhängig davon, ob eine Einfriedung der Gesamtfläche oder eine separate Umzäunung der Teilflächen vorgesehen ist:

8.1.1 Variante A: Nutzung der Einfriedung an der Gesamtfläche

- Länge der Sichtunterbrechung: entlang des betroffenen Abschnitts des Gumtowers Wegs, siehe Abbildung 17
- Höhe: mindestens 2,50 m
- Material: blickdichte Netze, feinmaschige Zäune oder Gehölzstreifen
- Positionierung: entlang der Grundstücksgrenze zur Straße

8.1.2 Variante B: Umzäunung der Teilfläche Nord

- Länge: nur entlang der nördlichen PV-Fläche, aus der die Blendwirkung resultiert
- Höhe: mindestens 2,50 m
- Material und Ausführung: wie bei Variante A

Gemäß Bebauungsplan und landschaftspflegerischen Vorgaben werden die PV-Flächen ohnehin durch Heckenpflanzungen und Gehölze eingesäumt. Diese Pflanzungen wirken langfristig als natürliche Sichtunterbrechung, benötigen jedoch eine gewisse Anwuchszeit, bis sie in den Sommermonaten blickdicht sind.

Um die Verkehrssicherheit bereits in der Zwischenzeit zu gewährleisten, wird empfohlen, temporäre Sichtschutzlösungen einzusetzen, z. B.:

- blickdichte Folien oder Netze an den vorgesehenen Zaunabschnitten
- mobile Sichtschutzwände entlang der kritischen Reflexionsbereiche

Diese Maßnahmen sollten so lange bestehen bleiben, bis der Bewuchs seine volle Abschirmwirkung entfaltet hat.

8.1.3 Variante A: Variante A: Nutzung der Einfriedung an der Gesamtfläche

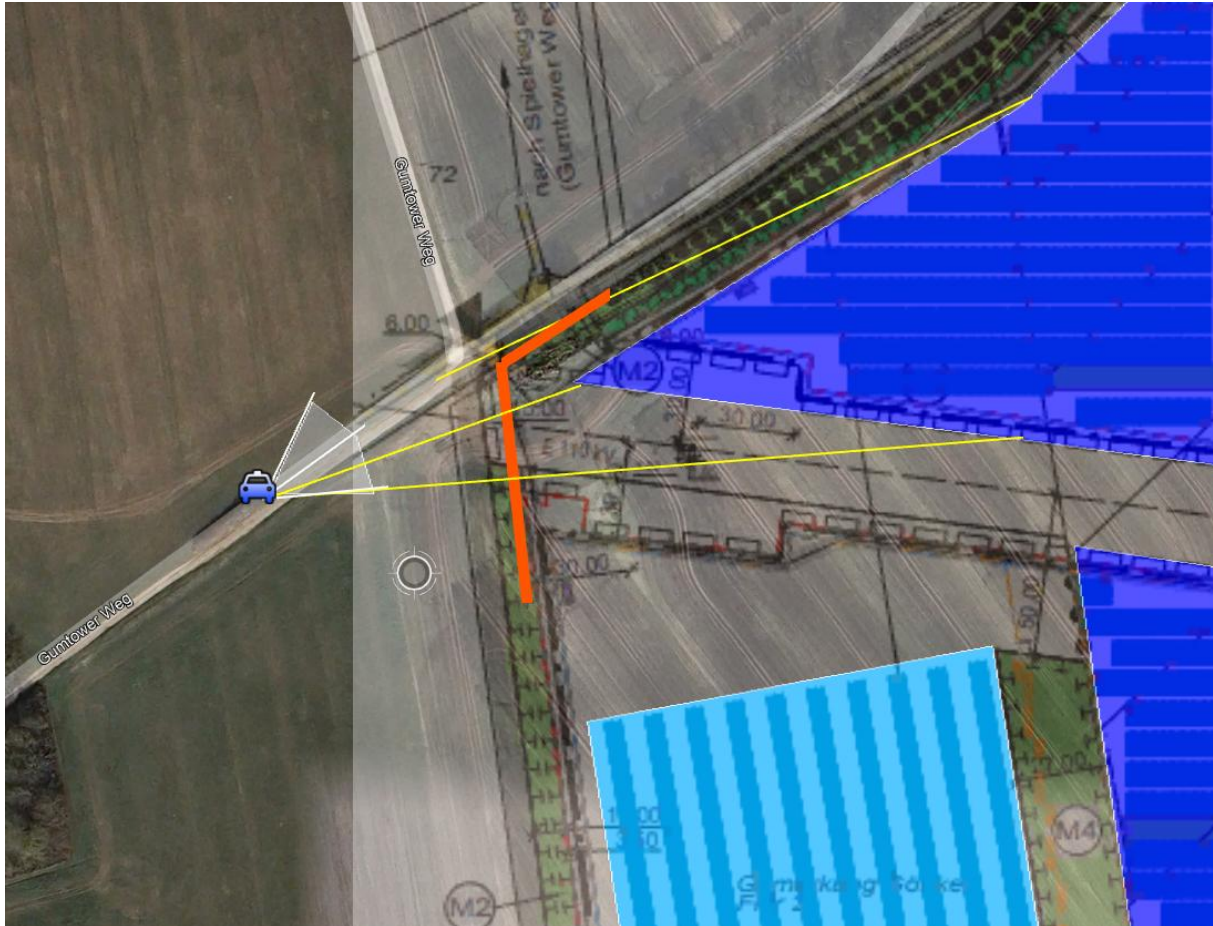


Abbildung 17: Variante A: Streckenabschnitt des GumtOWER Wegs mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth, Airbus)

8.1.4 Variante B: Umzäunung der Teilfläche Nord

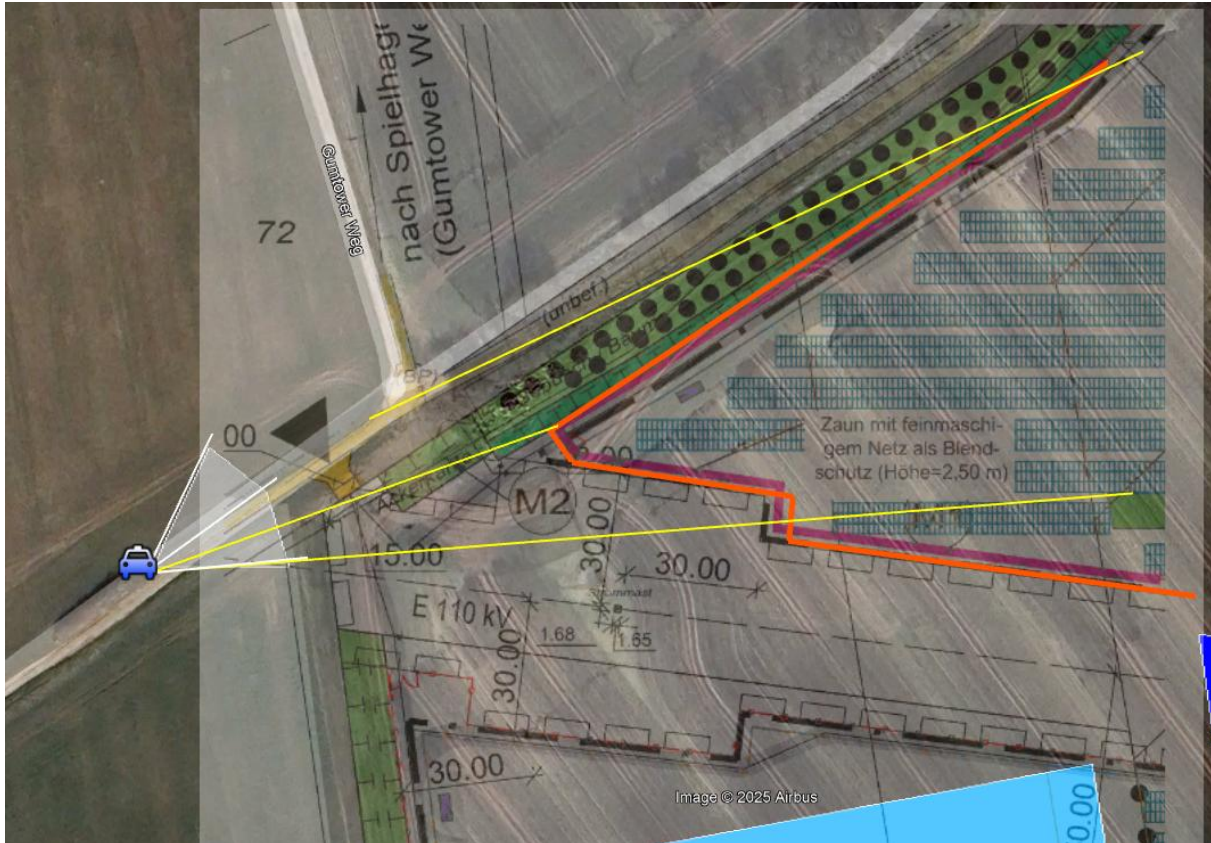


Abbildung 18: Variante B: Streckenabschnitt des Gumtowers Wegs mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth, Airbus)

9 Zusammenfassung

Im vorliegenden Gutachten wurde die potenzielle Blendwirkung durch Reflexionen an den Modulflächen der geplanten Photovoltaikanlage Görike-Gehren untersucht. Die Bewertung erfolgte auf Grundlage der Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) sowie unter Anwendung des Simulationsprogramms ForgeSolar.

Die Anlage besteht aus zwei Teilbereichen:

- einer südlich ausgerichteten PV-Freiflächenanlage mit feststehenden Modulen (Azimut 180°, Neigung 15°)
- einer Agri-PV Trackeranlage mit Ost-West-Nachführung (Rotationsachse Nord-Süd, max. Neigung 72°)

Ergebnisse der Blendbewertung

Für die südlich ausgerichtete PV-Fläche Nord wurden potenzielle Reflexionen in Richtung des Gumtowers Wegs sowie mehrerer Wohngebäude (OP1–OP4, OP7) festgestellt.

Die täglichen Blenddauern an den Wohngebäuden liegen unterhalb des LAI-Grenzwerts von 30 Minuten pro Tag.

Für den Gumtowers Weg wurde eine relevante Blendwirkung festgestellt. Da es sich um eine öffentliche Straße mit überörtlicher Verbindungsfunktion handelt, ist eine Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit nicht auszuschließen.

Für den Feldweg sowie alle weiteren Immissionsorte wurden keine kritischen Blendwirkungen festgestellt.

Empfohlene Maßnahmen

Zur Vermeidung einer Sichtbeeinträchtigung am Gumtowers Weg werden Sichtunterbrechungen empfohlen, die bei einer Höhe von 2,50 m liegen.

Die Umsetzung kann entweder entlang der gesamten Einfriedung oder gezielt entlang der PV-Fläche erfolgen, wie in Kapitel dargestellt.

Da die PV-Flächen gemäß Bebauungsplan ohnehin durch Heckenpflanzungen eingesäumt werden, wird empfohlen, bis zum vollständigen Anwuchs der Vegetation temporäre Sichtschutzmaßnahmen (z. B. blickdichte Netze oder Folien) einzusetzen.

10 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 Windnergieranlagen (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.

11 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 Südlich ausgerichtete PV-Freiflächenanlage (SO-PV) (Quelle: Auftraggeber).....	7
Abbildung 4: Zeichnung der Unterkonstruktion Agri-PV Trackeranlage (SO-Agri-PV) (Quelle: Auftraggeber)	7
Abbildung 5: Reflexion eines Lichtstrahls.....	8
Abbildung 6: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	8
Abbildung 7: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	9
Abbildung 8: 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]	9
Abbildung 9: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	10
Abbildung 10 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	10
Abbildung 11: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	11
Abbildung 12: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]	14
Abbildung 13: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar Teil 1.....	15
Abbildung 14: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar Teil 2.....	16
Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung von PV-Feld Nord auf OP1 – OP4	28
Abbildung 16: PV-Fläche PV Nord, die Reflexionen in Richtung OP1 – OP4	28
Abbildung 17: Variante A: Streckenabschnitt des Gumtowers Wegs mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth, Airbus).....	30
Abbildung 18: Variante B: Streckenabschnitt des Gumtowers Wegs mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth, Airbus).....	31

12 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.

13 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.