

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

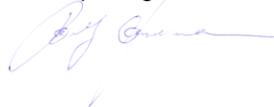
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Günzach

Anlage: Solarpark Günzach
47.833824° 10.404365°
87634, Obergünzburg

in Auftrag gegeben von: Greenovative GmbH
Fürther Str. 252
90429 Nürnberg

Projektnummer: A-LV25/0078

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

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

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 28.03.2025

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung	3
3	Beschreibung der PV-Anlage.....	4
4	Grundlagen der Optik	5
	4.1 Geometrische Reflexionssituation.....	5
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen	6
	4.3 Blendung.....	8
5	Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar	9
	5.1 Bewertungsbasis	9
	5.2 Simulationstool und Modellierung	10
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	11
6	Simulation mit ForgeSolar	12
	6.1 PV-Anlage.....	13
	6.2 Immissionsorte.....	14
	6.3 Topologie des Geländes.....	16
7	Ergebnisse mit ForgeSolar.....	17
8	Zusammenfassung.....	19
9	Literaturverzeichnis	20
10	Abbildungsverzeichnis.....	21
11	Gewährleistung	22
12	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	22

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Günzach 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 PVA ist in der schwäbischen Gemeinde Günzach geplant und erstreckt sich über die Grundstücke FINrn. 96, 97, 98, 101 und 102. Günzach ist eine Gemeinde im schwäbischen Landkreis Ostallgäu. Östlich des Solarparks verläuft der Straßenverkehr der Verbindungsstraße St 2377 (Kemptener Straße). Weiterhin grenzen Wohngebäude des Ortsteils Immentahl (Günzach) südöstlich an die PVA. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin.

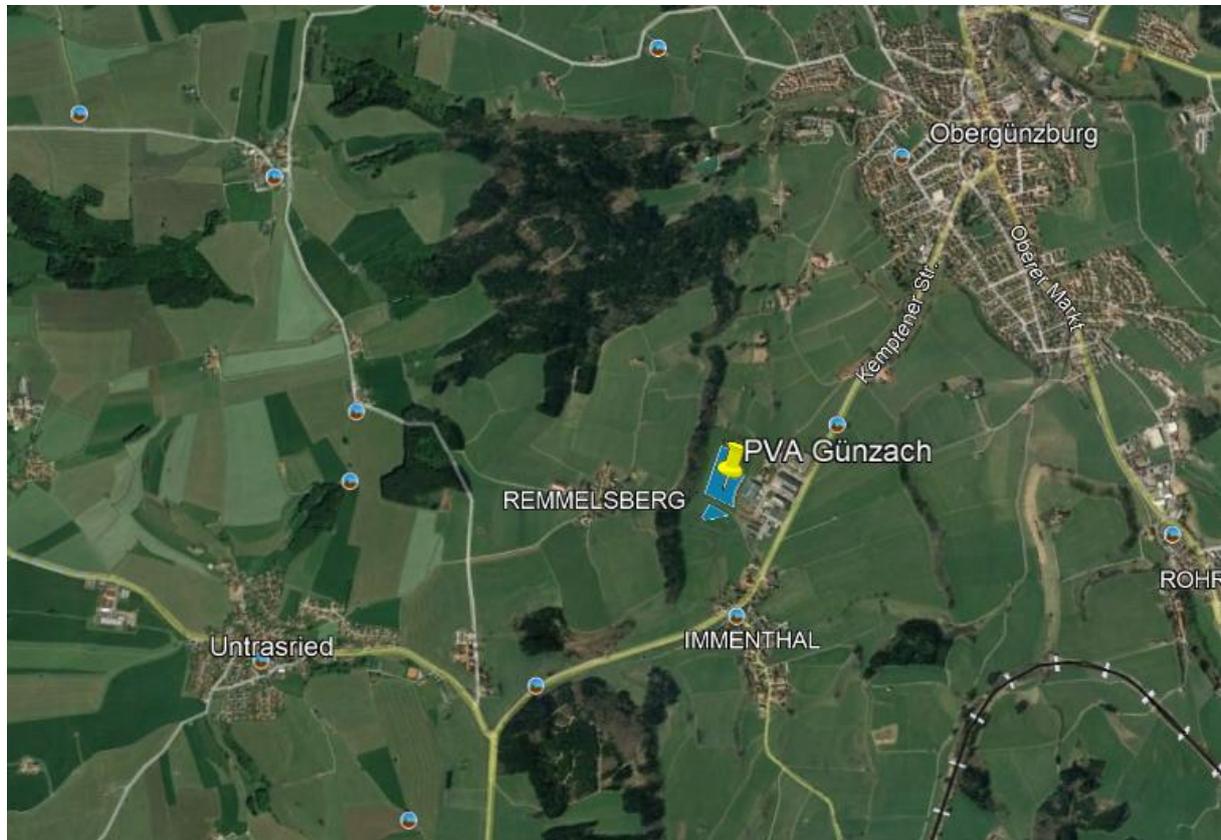


Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist auf einer Fläche von ca. 7,42 ha und mit einer DC-Leistung von 3.632,58 kWp geplant. Vorgesehen ist eine Süd-Ausrichtung mit 179° Azimut für die nördliche PV-Fläche und 170° für die südliche PV-Fläche mit einem bisher noch nicht definierten Neigungswinkel. Somit werden die Neigungswinkel 15° , 18° und 20° untersucht. Der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit drei hochkant ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante maximal 3,3 m geplant. Eine Zeichnung der Unterkonstruktion wurde nicht zur Verfügung gestellt.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan (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 ($\alpha = \beta$).

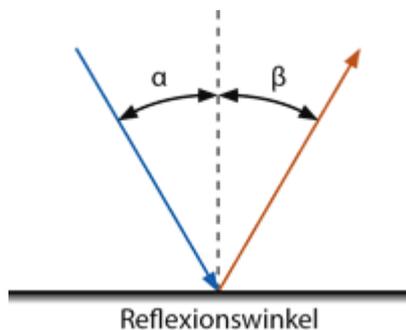


Abbildung 3: Reflexion eines Lichtstrahls

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 4 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.

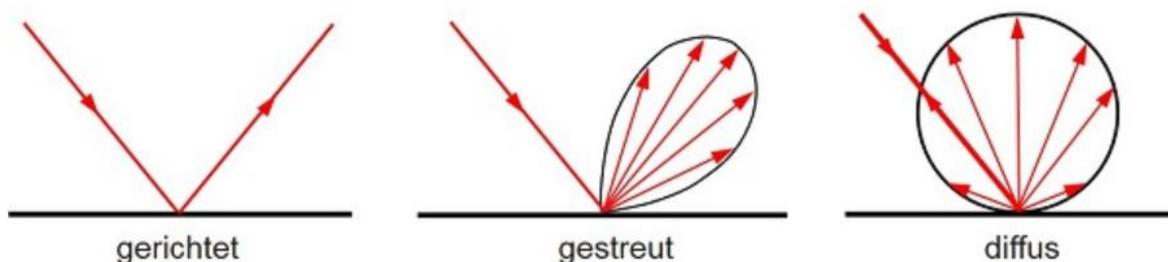


Abbildung 4: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

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 5).

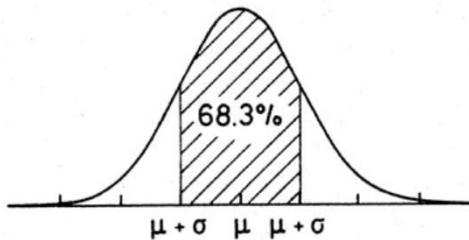


Abbildung 5: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 6 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

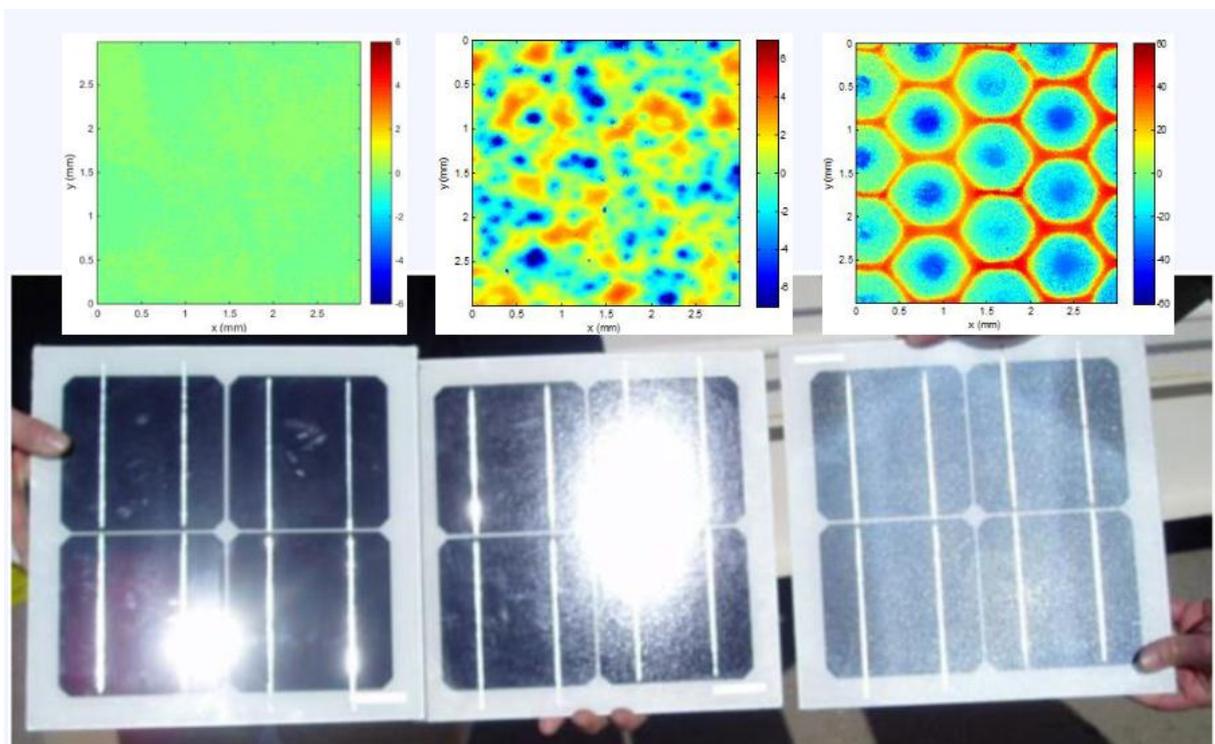


Abbildung 6: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad (1,15°), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad (5,27-10,56°) 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 7.

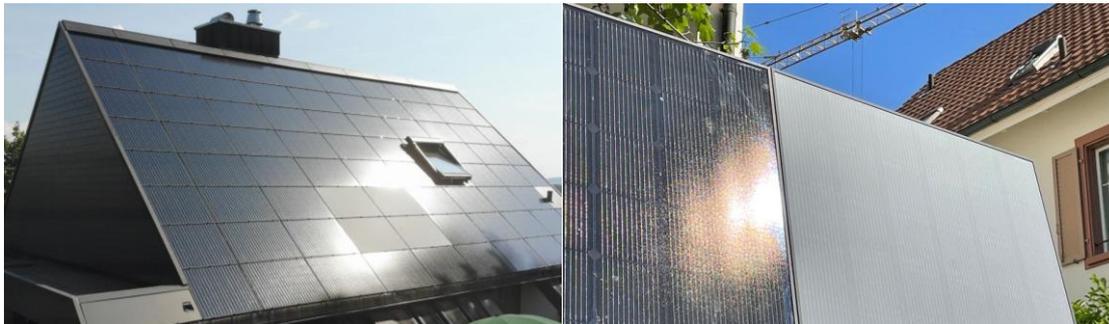


Abbildung 7: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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

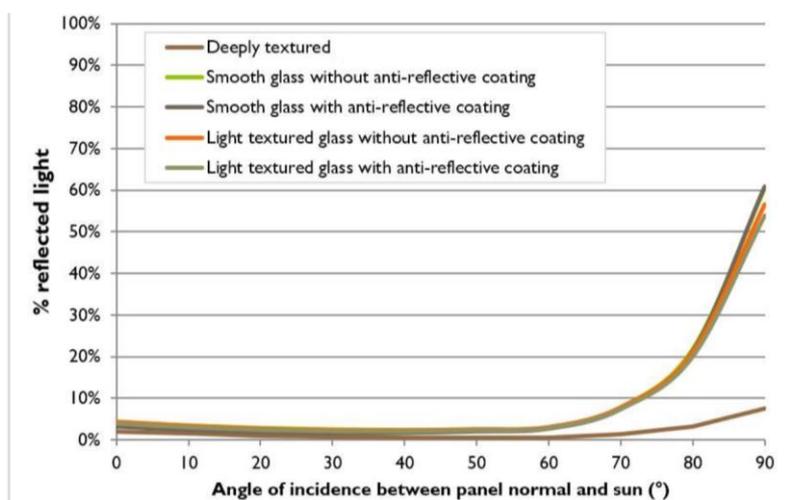


Abbildung 8 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

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 9 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 $10^4 - 10^5$ cd/m², 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.

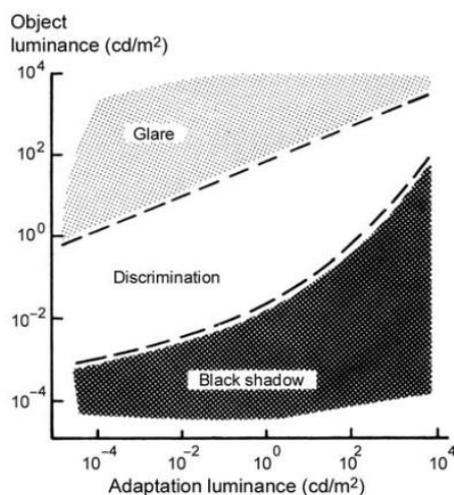


Abbildung 9: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

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/m²]
- 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/cm²]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [cd/m²]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 10 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.

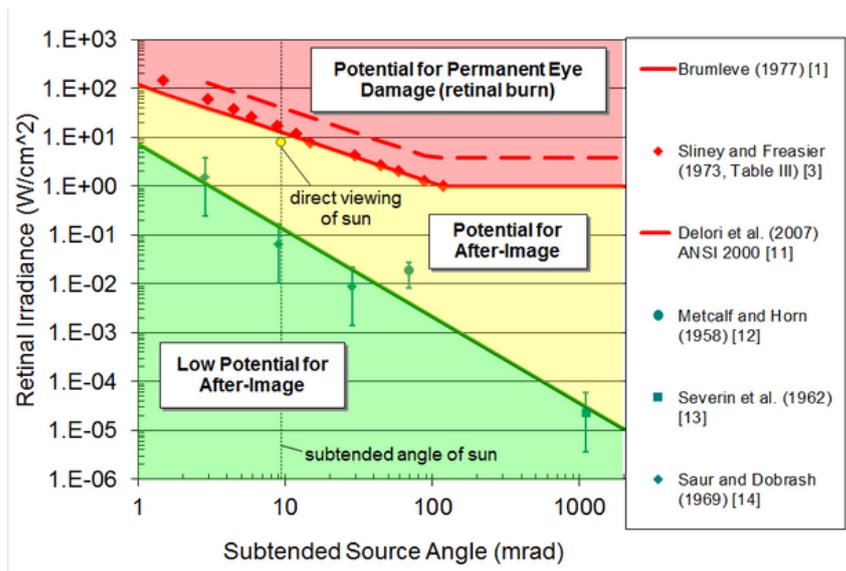


Abbildung 10: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]

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 11 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 11: Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar I



Abbildung 12: Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar II

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 20° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 2 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]
PV 1	1	47,8354035	10,4041315	808,9	2	810,9

PV 1	2	47,8353819	10,4049577	798,2	2	800,2
PV 1	3	47,8346833	10,4046358	796,3	2	798,3
PV 1	4	47,8343737	10,405655	784,5	2	786,5
PV 1	5	47,8336967	10,4050971	784,8	2	786,8
PV 1	6	47,8330197	10,4048933	785,7	2	787,7
PV 1	7	47,8335022	10,4038311	797,2	2	799,2
PV 1	8	47,833603	10,403241	802,4	2	804,4
PV 2	1	47,8327892	10,4031123	799,3	2	801,3
PV 2	2	47,8333366	10,4035951	798,2	2	800,2
PV 2	3	47,8330845	10,4043139	790,3	2	792,3
PV 2	4	47,8329404	10,4045285	789	2	791
PV 2	5	47,8326523	10,4033162	798,3	2	800,3

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.

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden der Straßenverkehr der St 2377 und der angrenzenden Wohnbebauungen des Ortsteil Immenthal untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers. 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 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]	Angenommen Höhe der Sichtunterbrechung [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
St 2377	1	47,8378452	10,4117756	769,2	3	772,2
St 2377	2	47,8373195	10,4113035	775,3	3	778,3
St 2377	3	47,8366209	10,4107778	778,8	3	781,8
St 2377	4	47,8354301	10,4098963	780,3	3	783,3
St 2377	5	47,8344072	10,4091613	780,7	3	783,7
St 2377	6	47,8332028	10,4082988	784,2	3	787,2
St 2377	7	47,832	10,4073761	784,7	3	787,7
St 2377	8	47,8311357	10,406786	786,4	3	789,4
St 2377	9	47,8305019	10,406314	786,9	3	789,9
St 2377	10	47,8298825	10,4057132	789,1	3	792,1
St 2377	11	47,8296016	10,405402	789,6	3	792,6
St 2377	12	47,8294071	10,4047798	791,2	3	794,2
St 2377	13	47,8287084	10,4030739	801,8	3	804,8

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Beobachtungspunkte

Untersuchungs- punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Untersuchungs- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
1	47,830846	10,4056288	787,8	2	789,8
2	47,8303247	10,4048958	788,8	5	793,8
3	47,830015	10,4043003	792,9	5	797,9
4	47,8299754	10,4051693	789,9	5	794,9
5	47,8296711	10,4050191	791,4	5	796,4
6	47,8296515	10,4040267	795,3	2	797,3

7	47,8306027	10,4065493	788,6	2	790,6
8	47,8303722	10,4065547	788	2	790
9	47,8300691	10,4062194	788,6	5	793,6
10	47,8298116	10,4061014	789,7	5	794,7
11	47,829853	10,4058385	789,7	5	794,7
12	47,8294743	10,4054533	790,1	2	792,1

6.3 Topologie des Geländes

Die geplante Fläche weist eine Hangneigung von West nach Ost auf, siehe Abbildung 13.



Abbildung 13: Hangneigung der geplanten PV-Fläche

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 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. Abbildung 14 verdeutlicht die auftretenden Reflexionswinkel in gelb. Gemäß den Simulationsergebnissen treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Osten zwischen 92° - 114° von April bis August und in Richtung Westen zwischen 246° - 262° von April bis August auf. Das entspricht Immissionswinkeln zwischen 272° - 294° und zwischen 66° - 82° .

Es wird deutlich, dass diese nicht in den relevanten Blickwinkelbereich im Straßenverkehr fallen. Weiterhin wird deutlich, dass die angrenzenden Wohnbebauungen nicht von potenzieller Blendung betroffen sein werden. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich. Die Ergebnisse sind für die Modulneigungswinkel 15° , 18° und 20° untersucht worden.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

Immissionsort	Blenddauer [min/a]	Blendminuten [min/d]	Blenddauer [min/a]	Blendminuten [min/d]
	PV 1		PV 2	
St 2377	0	0	0	0
OP1	0	0	0	0
OP2	0	0	0	0
OP3	0	0	0	0
OP4	0	0	0	0
OP5	0	0	0	0
OP6	0	0	0	0
OP7	0	0	0	0

OP8	0	0	0	0
OP9	0	0	0	0
OP10	0	0	0	0
OP11	0	0	0	0
OP12	0	0	0	0



Abbildung 14: Auftretende Reflexionen in gelb und Blickwinkelberücksichtigung im Straßenverkehr



8 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Günzach für den Verkehr der anliegenden Verbindungsstraße ST 2377 (Kemptener Straße) und der angrenzenden Wohnbebauungen des Ortsteils Immenthal untersucht.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass es auf Basis der Strahlengeometrie zu keinen Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten der St 2377 kommen kann. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird damit ausgeschlossen. Weiterhin wurden für die angrenzenden Wohnbebauungen keine relevanten Reflexionen festgestellt. Es sind somit keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

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 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.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Reflexion eines Lichtstrahls.....	5
Abbildung 4: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	5
Abbildung 5: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	6
Abbildung 6: 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]	6
Abbildung 7: links: Module mit satiniertes Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	7
Abbildung 8 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2].....	7
Abbildung 9: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	8
Abbildung 10: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]	11
Abbildung 11: Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar I.....	12
Abbildung 12: Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar II.....	13
Abbildung 13: Hangneigung der geplanten PV-Fläche	16
Abbildung 14: Auftretende Reflexionen in gelb und Blickwinkelberücksichtigung im Straßenverkehr	18

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.