



Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
International Solar Energy Society, German Section

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.
Erich-Steinfurth-Str. 8
10243 Berlin

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

Anlage: Solarpark Kirchenpingarten
49,917501°, 11,821707°
Kirchenpingarten, 95466

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

Projektnummer: A-LV23/0195

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Eng. Joris Neumann

Berlin, 29.12.2023

Vereinsregister:
Amtsgericht
Berlin-Charlottenburg
VR 7591 B

Bankverbindung:
Bank für Sozialwirtschaft
BLZ 100 205 00
Konto 30 32 403

U-ID-Nr.: DE151155798
BIC: BFSWDE33BER
IBAN: DE74 1002 0500 0003 0324 03

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	9
	5.1 Bewertungsbasis	9
	5.2 Simulationstool und Modellierung	10
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	11
6	Simulation.....	12
	6.1 PV - Anlage.....	12
	6.2 Immissionsorte.....	13
7	Ergebnisse	14
8	Schlussbemerkung	19
9	Literaturverzeichnis	20
10	Abbildungsverzeichnis.....	21

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Kirchenpingarten und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen* (kurz: LAI) der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* bewertet.

Es werden hierzu zunächst relevante Bereiche ausgemacht, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Wird für einen oder mehrere Bereiche potenzielle Blendung vermutet, kann dies anhand einer Simulation ausgeschlossen oder nachgewiesen werden. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet und eingeordnet und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

2 Beschreibung der Umgebung

Gelegen ist der geplante Solarpark in der Gemeinde Kirchenpingarten im Landkreis Bayreuth im Regierungsbezirk Oberfranken in Bayern. Der geplante Solarpark befindet sich an der Staatsstraße ST2177. Der Solarpark wird auf derzeit landwirtschaftlich genutzten Flächen erreicht. Eine Übersicht der Umgebung ist in Abbildung 1 gegeben.



Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Modulbelegungsplan des Solarparks ist in Abbildung 2 zu sehen. Der Solarpark wird auf einer Fläche von ca. 6,07 ha geplant und hat eine geplante Leistung von ca. 5,9 MWp. Die Modulflächen werden mit 155° in Richtung Süd ausgerichtet mit einem Neigungswinkel von 20°. Eine Darstellung der Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 gegeben.

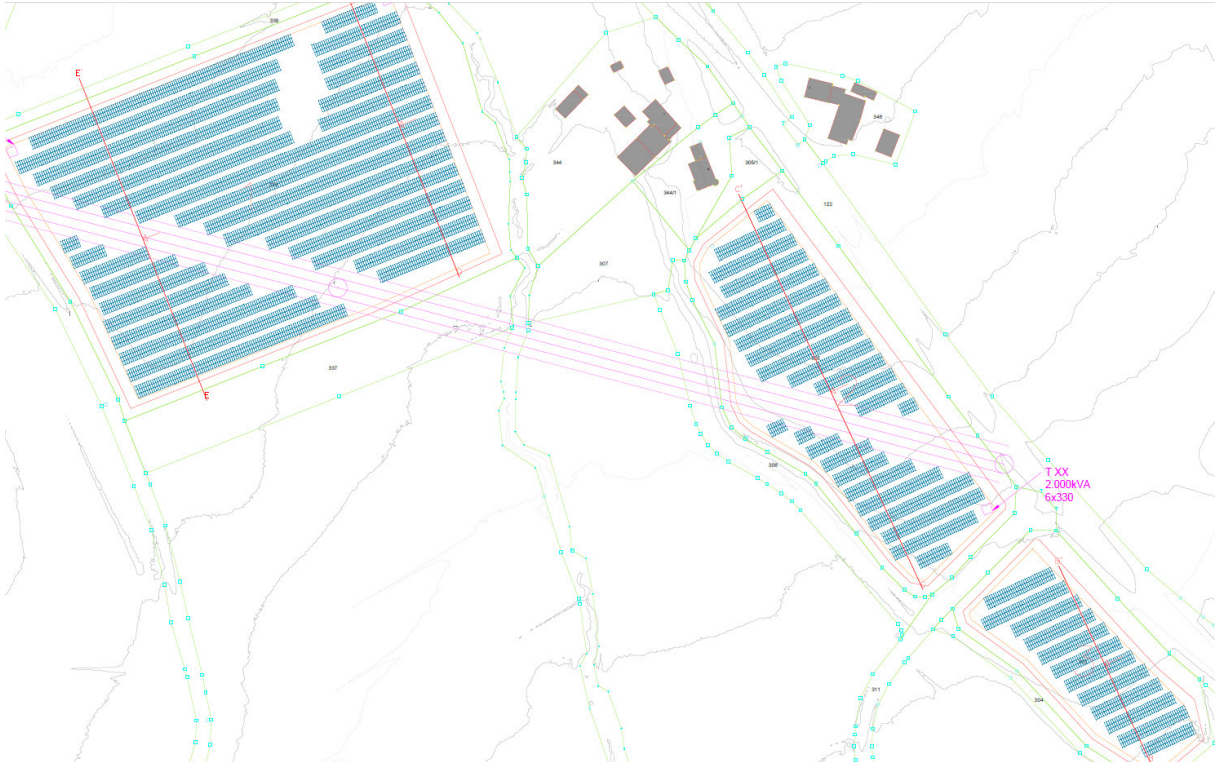


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

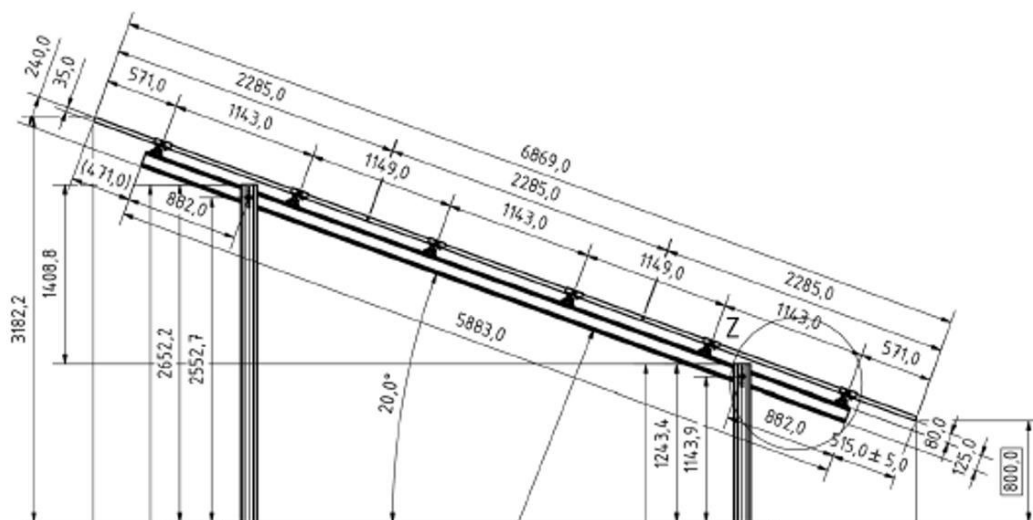


Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

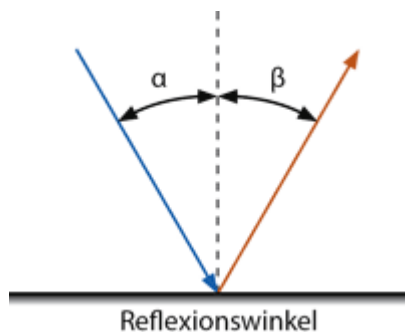


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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, eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

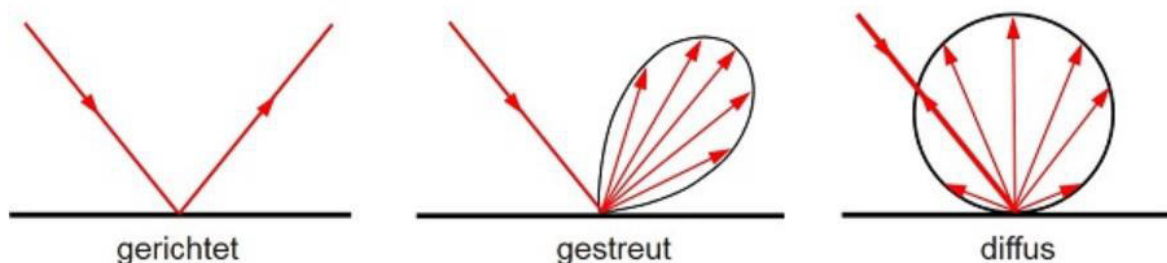


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

Bei realer Reflexion kommt 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, in Abbildung 6.

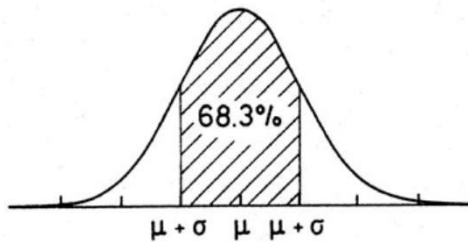


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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 texturierten Frontgläser zu sehen.

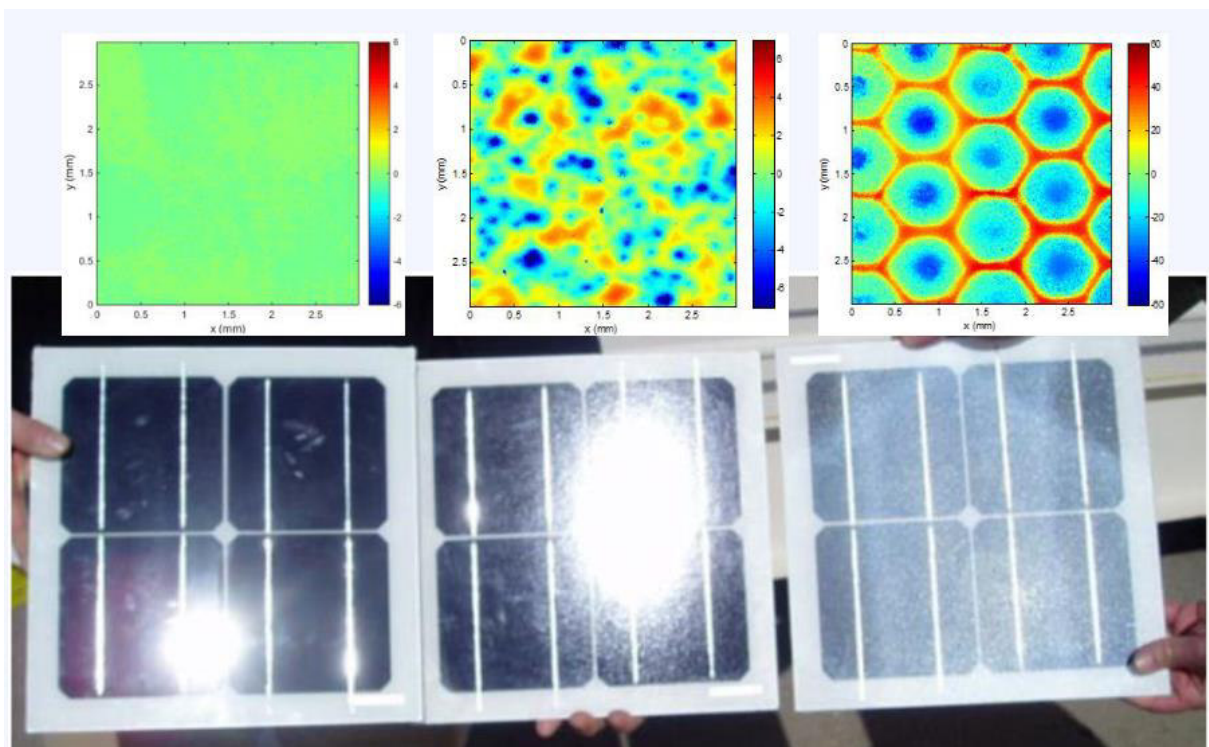


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad ($1,16^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweite von 92-184 mrad ($5,34-10,6^\circ$) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (58°) gemessen (Yellowhair und Ho 2015). Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tief-strukturiertem 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 beinahe vollständig blendfreie Module herstellen, siehe Abbildung 8.

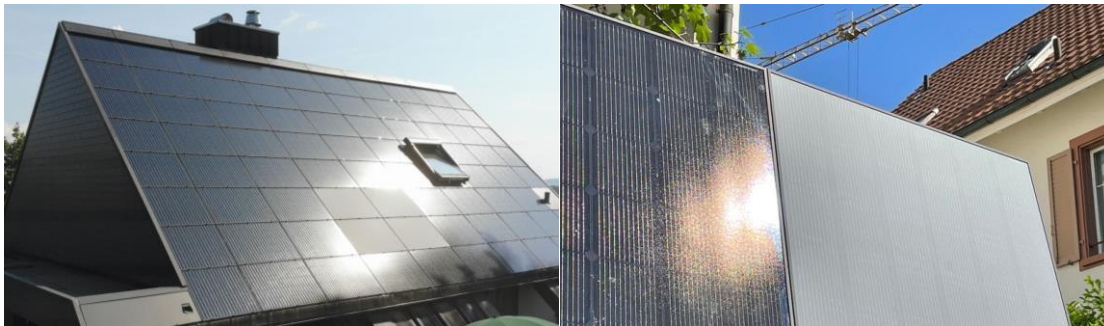


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes zu nutzen, das Frontglas also eine möglichst hohe Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläser 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 Modularten stark an, zu sehen in Abbildung 9, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

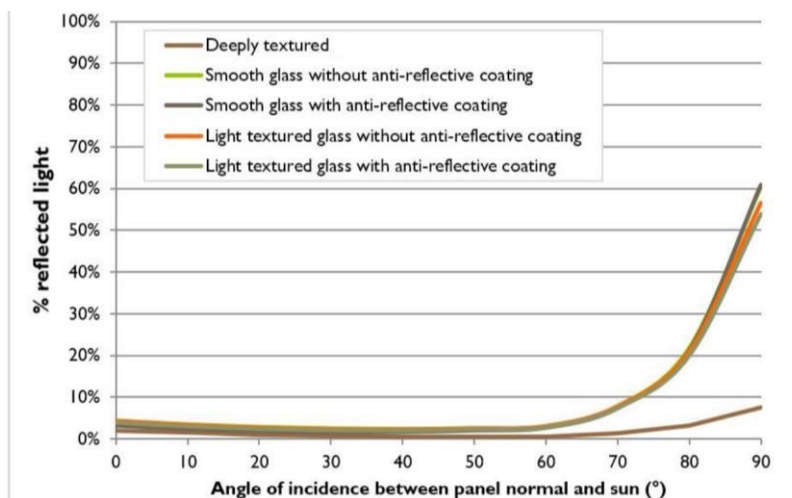


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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 welche das Auge fokussiert ist. Wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld), eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dann dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann, liegt eine Beeinträchtigung der Sicht vor. 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.

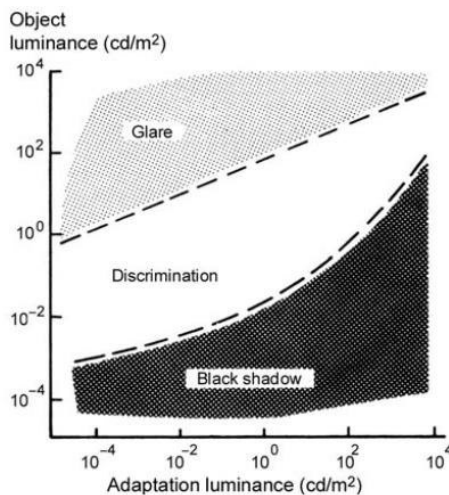


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

Es wird zwischen Blendung unterschieden, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung welche „nur“ als unangenehm empfunden wird. 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 (Boyce 2014).

5 Methodik der Untersuchung

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 (Ministerium für Umwelt 2012)

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 (Immissionsschutz 2002) 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.“* (Ministerium für Umwelt 2012)

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 (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016). 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 (Federal Aviation Administration 2013).

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 (Ministerium für Umwelt 2012) und die TU Ilmenau (Schierz 2012).
- 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 (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016).
- 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 (ForgeSolar 2022).

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.

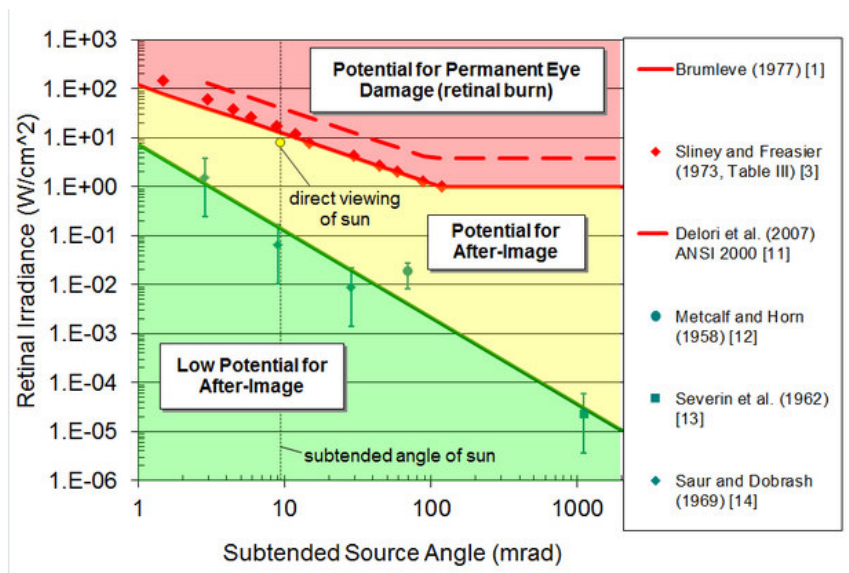


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

6 Simulation

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.

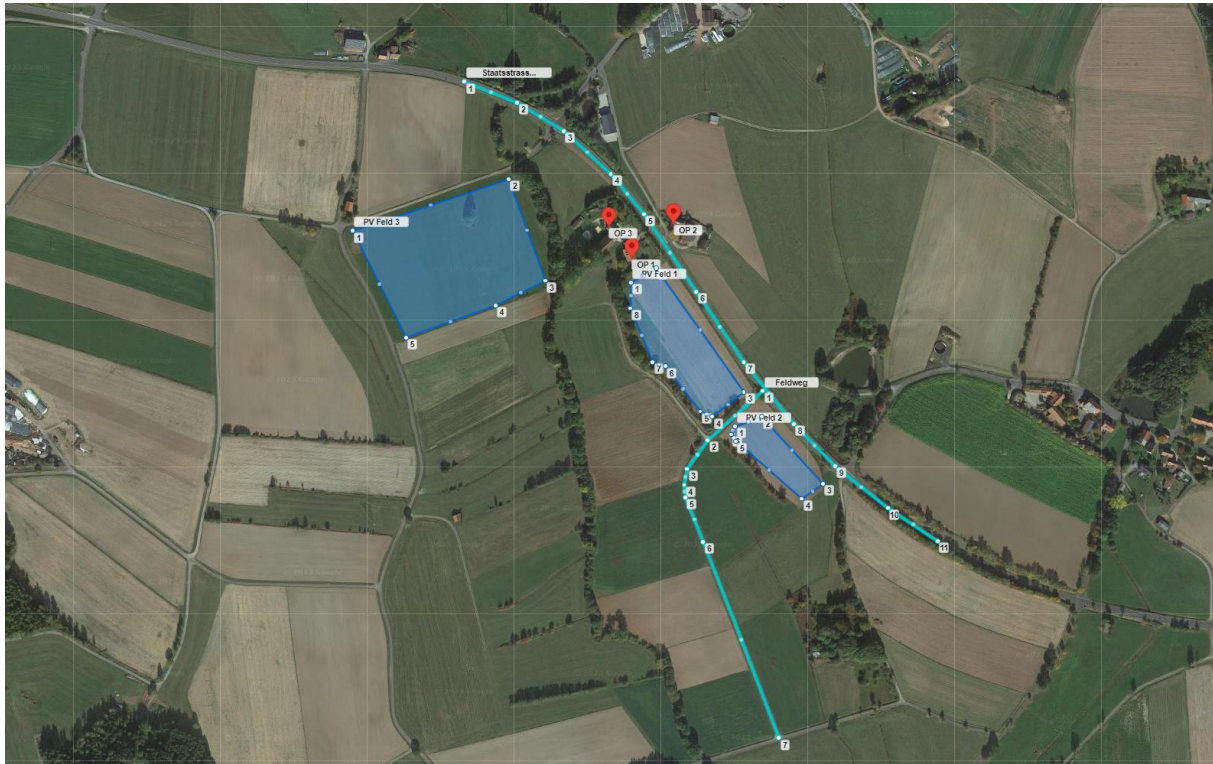


Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulation

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 155° Azimut und 20° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 2 m. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten der PV-Flächen

PV-Fläche	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV-Feld 1	1	49,91808	11,82073	520,6	2	522,6
	2	49,91825	11,82121	521,7	2	523,6
	3	49,91676	11,82285	513	2	515
	4	49,91646	11,82225	511,6	2	513,6
	5	49,91652	11,82203	511,3	2	513,3
	6	49,91707	11,82137	514,7	2	516,7

PV-Feld 2	7	49,91712	11,82114	514,3	2	516,3
	8	49,91777	11,82072	517,8	2	519,8
	1	49,91634	11,82268	510,7	2	512,7
	2	49,91647	11,82318	511	2	513
	3	49,91565	11,82432	506,1	2	508,1
	4	49,91548	11,82393	505,8	2	507,8
	5	49,91617	11,8227	509,5	2	511,5
	6	49,91625	11,82261	509,8	2	511,8
PV-Feld 3	1	49,9187	11,81553	518,7	2	520,7
	2	49,91932	11,81845	516,6	2	518,6
	3	49,9181	11,81914	513,1	2	515,1
	4	49,91783	11,8182	513,7	2	515,6
	5	49,91742	11,81653	515,4	2	517,4

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden beide Fahrrichtungen der Staatsstraße ST217 und eines Feldwegs sowie die anliegende Wohnbebauung untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder. Die Untersuchungshöhe für den Straßenverkehr wird auf 3 m über der Strecke festgelegt. Für die Straßen wird ein relevanter Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrrichtung untersucht. Die exakten Koordinaten, Höhe ü. NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

Immissions-ort	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Betrachtungshöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Staatsstraße ST2177	1	49,9205	11,81762	520,8	3	523,8
	2	49,92024	11,81861	520,5	3	523,5
	3	49,91991	11,81948	521,3	3	524,3
	4	49,91939	11,82036	521,5	3	524,5
	5	49,9189	11,82098	521,8	3	524,8
	6	49,91797	11,82195	519,8	3	522,8
	7	49,91712	11,82284	515,4	3	518,4
	8	49,91637	11,82378	511,5	3	514,5
	9	49,91587	11,82455	509,4	3	512,4
	10	49,91536	11,82554	508,6	3	511,6
	11	49,91497	11,82647	507,9	3	510,9
Feldweg	1	49,91678	11,8232	513,2	3	516,2
	2	49,91618	11,82217	507,7	3	510,7
	3	49,91584	11,82178	506,4	3	509,4
	4	49,91564	11,82173	505,7	3	508,7
	5	49,91549	11,82175	505,2	3	508,2
	6	49,91496	11,82209	503,8	3	506,8
	7	49,9126	11,8235	498,3	3	501,3
Wohnbebauung 344	1	49,91836	11,82074	521,5	1,7	523,2
Wohnbebauung 344/1	2	49,91878	11,82153	524	1,7	525,7
Wohnbebauung 346	3	49,91874	11,82032	517,5	1,7	519,2

7 Ergebnisse

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 3 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt, potenziell kritische Werte welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten oder den Verkehr betreffen sind in Rot dargestellt. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt.

Tabelle 3: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden
Staatsstraße ST2177	55
Wohnbebauung 344/1	17,3
Wohnbebauung 346	16,6
Wohnbebauung 344	12,6

Staatsstraße ST2177

Die Ergebnisse der Simulation für die Staatsstraße ST2177 in westliche Fahrtrichtung sind in Abbildung 13 dargestellt. Es kommt von Anfang Mai bis Mitte August in den Abendstunden zwischen 17:50 und 18:50 Uhr zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen 276° - 286° Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 37 Minuten ermittelt.

Gemäß einem Satellitenbild vom 06.09.2023 in Abbildung 14 besteht zwischen der Staatsstraße ST2177 und der geplanten PV-Fläche 1 bereits Bewuchs, welcher Blendungen der Verkehrsteilnehmer verhindert. Relevante Reflexionen in Richtung der Staatsstraße von PV-Fläche 2 treten nur im äußeren Bereich des relevanten Sichtfelds bei über 20° zur Fahrtrichtung auf. Das zentrale Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer ist damit nicht betroffen, eine wahrnehmungsbeeinträchtigende Blendung ist damit sehr unwahrscheinlich. Zudem ist nur ein kurzer Streckenabschnitt hiervon betroffen. Das Gutachten kommt daher zu der Einschätzung, dass durch diese Reflexionen keine Gefährdung für die Verkehrssicherheit besteht.

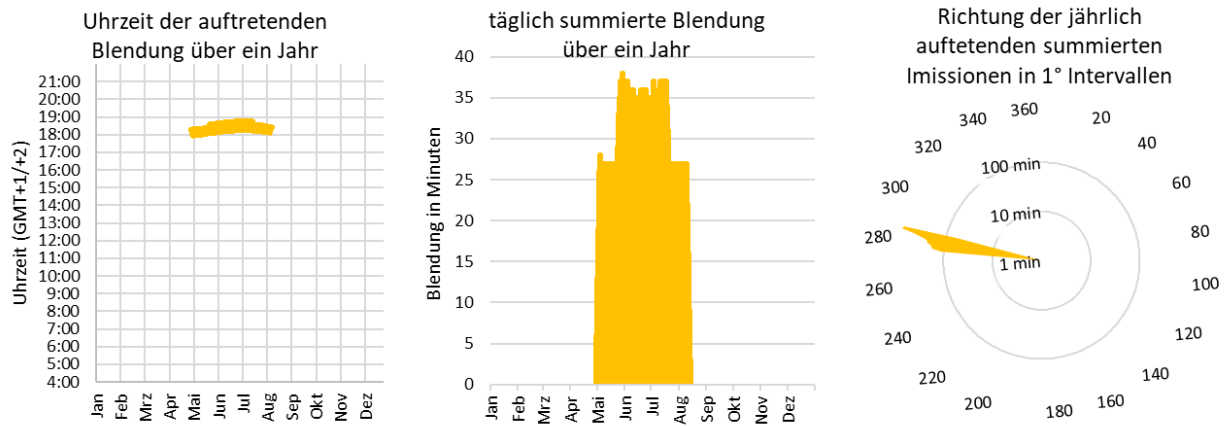


Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Staatsstraße ST2177



Abbildung 14: Betroffener Streckenabschnitt in Orange, relevante Reflexionen von PV-Feld-2 in Rot, bestehende Gehölze/Bäume in Grün (Quelle: Google Earth)



Abbildung 15: Blick auf den geplanten Solarpark von der Staatsstraße mit bestehendem Bewuchs in Grün (Quelle: Google Street View, Mai 2022)

Wohnbebauung Flurstück 344/1

Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung Flurstück 344/1 sind in Abbildung 16 dargestellt. Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung von Flurstück 344 und Flurstück 346 werden nicht separat dargestellt, da sich diese nur geringfügig unterscheiden bei niedrigerer Gesamtdauer.

Es kommt von Anfang März bis Mitte Oktober in den Abendstunden zwischen 16:50 und 18:40 Uhr zu potenzieller Blendung. Die Immissionswinkel liegen zwischen 251° - 285° Azimut und es werden tägliche Blenddauern von bis zu 27 Minuten ermittelt.

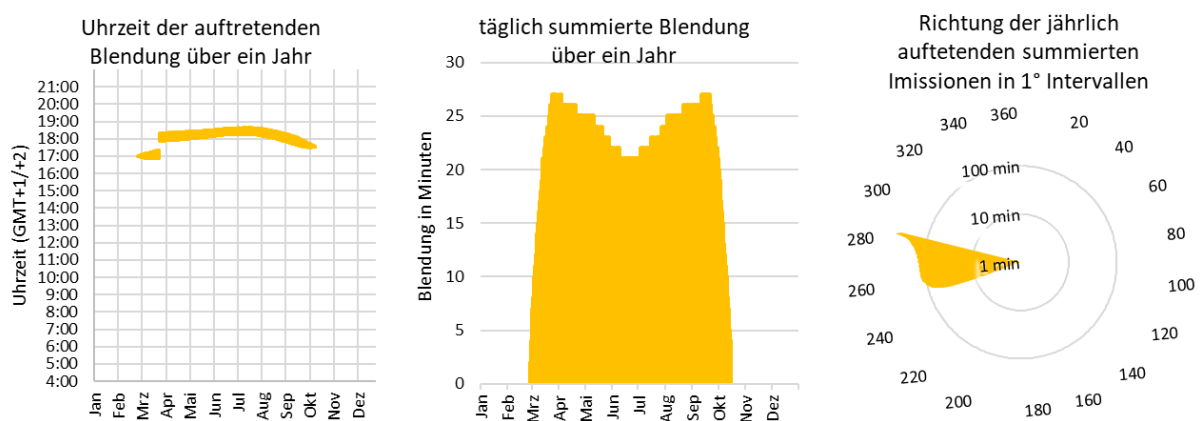


Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Flurstück 344/1

Gemäß einem Satellitenbild vom 06.09.2023 in Abbildung 17 besteht im Westen der Wohnbebauung Flurstück 344 und der geplanten PV-Fläche 3 Bewuchs in Form von Sträuchern und größeren Bäumen, in Abbildung 18 von der Staatsstraße aus zu sehen. Der Bewuchs wird als hinreichend eingestuft Blendungen im Sommerhalbjahr zu verhindern und potenzielle Blendung im Winterhalbjahr zu verringern. Setzt man den Zeitraum in welchem die Bäume als laubtragend angenommen werden vom 16.04 bis zum 16.10 so liegt die verbleibende potenzielle Blenddauer bei 16 Stunden und damit unterhalb der Grenzwerte gemäß LAI-Hinweise. Eine erhebliche Beeinträchtigung der Anwohner durch Blendung wird damit ausgeschlossen.



Abbildung 17: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld der Wohnbebauungen gemäß Simulation in Rot, bestehender Gehölzstreifen grün markiert (Quelle: Airbus, Maxar Technologies, Google Earth)



Abbildung 18: Blick auf die bestehende Sichtunterbrechung von der Staatsstraße mit bestehendem Bewuchs in Grün (Quelle: Google Street View, Mai 2022)

8 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den geplanten Solarpark Kirchenpingarten. Für die Staatsstraße ST2177 und die Wohnbebauung Flurstück 344/1, 344 und 346 wurde mittels Simulation potenzielle Blendung ermittelt.

Die auftretenden Immissionen auf der Staatsstraße liegen im Bereich des untersuchten Sichtfelds in Fahrtrichtung bei über 20° zur Fahrtrichtung. Da Reflexionen nur im äußeren Sichtfeld auftreten und es sich zudem um einen kurzen Streckenabschnitt handelt kommt das Gutachten zu der Einschätzung, dass durch diese Reflexionen keine Gefährdung für die Verkehrssicherheit besteht. Es werden keine Blendschutzmaßnahmen für nötig erachtet.

Mit dem auf Satellitenbildern ersichtlichen Sichtschutz durch Bewuchs zwischen Wohnbebauung und geplantem Solarpark wird eine Blendung der Anwohner im Sommerhalbjahr ausgeschlossen. Die verbleibende potenzielle Blenddauer im Winterhalbjahr Werte liegt unterhalb der Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung durch Blendung wird damit ausgeschlossen.

Bei einem Anstellwinkel von 15° kommt es zu einer ähnlichen Blendungssituation wie bei den hier beschriebenen 20° Anstellwinkel.

9 Literaturverzeichnis

- Boyce, Peter R. *Human Factors in Lightning*. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- Bucher, Christof. „bulletin.ch.“ *Reflexionen an Photovoltaikanlagen*. 24. September 2021.
<https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>.
- Federal Aviation Administration. „Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports.“ *Vol. 78, No. 205*. Federal Register, 23. October 2013.
- ForgeSolar. *ForgeSolar*. 29. 07 2022. <https://www.forgesolar.com/help/#ref-yel-2015>.
- Immissionsschutz, Länderausschuss für. „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung.“ 2002.
- 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.
- OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik. „Blendung durch Photovoltaikanlagen.“ Wien, 1. 11 2016.
- Schierz, Christoph. *Über die Blenbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen*. Ilmenau: TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- Trempler, J. *Optische Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Warthmann, Peter. „gebaeudetechnik.ch.“ *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem*. 15. Oktober 2021.
<https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.
- Yellowhair, Julius Yellowhair, und Clifford K. Ho. „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and GlintGlare Impacts.“ *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability*. Albuquerque, New Mexico: Laboratories, Sandia National, 2015. 49481.
- Zehndorfer Engineering GmbH . „Lichttechnisches Gutachten Reflexionen KIOTO HC Modul.“ Klagenfurt, 2022.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	5
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)	5
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	6
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 (Yellowhair und Ho 2015)	6
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)	7
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)	7
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	8
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)	11
Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulation	12
Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Staatsstraße ST2177	15
Abbildung 14: Betroffener Streckenabschnitt in Orange, relevante Reflexionen von PV-Feld-2 in Rot, bestehende Gehölze/Bäume in Grün (Quelle: Google Earth)	15
Abbildung 15: Blick auf den geplanten Solarpark von der Staatsstraße mit bestehendem Bewuchs in Grün (Quelle: Google Street View, Mai 2022).....	16
Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Flurstück 344/1	16
Abbildung 17: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld der Wohnbebauungen gemäß Simulation in Rot, bestehender Gehölzstreifen grün markiert (Quelle: Airbus, Maxar Technologies, Google Earth).....	17
Abbildung 18: Blick auf die bestehende Sichtunterbrechung von der Staatsstraße mit bestehendem Bewuchs in Grün (Quelle: Google Street View, Mai 2022)	18