



Gesellschaft für Solarenergie Berlin mbH
Unternehmen des DGS Landesverbandes Berlin Brandenburg e.V.

DGS Gesellschaft für Solarenergie Berlin mbH
Erich-Steinfurth-Str. 8
10243 Berlin

Phone +49 (030) 29 38 12 60

Fax +49 (030) 29 38 12 61

Email dgs@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

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

Anlage: Solarpark Maxdorf
Maxdorf
Ortschaft Mahlsdorf
Ortsteil Salzwedel
29410

in Auftrag gegeben von: Buß Solar
Andre Buß
Nordring 82
46325 Borken

Projektnummer: A-LV230024

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 02.03.2023

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	4
3	Beschreibung der PV – Anlage	5
4	Grundlagen der Optik	6
	4.1 Geometrische Reflexionssituation	6
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen	7
	4.3 Blendung.....	9
5	Methodik der Untersuchung	10
	5.1 Bewertungsbasis	10
	5.2 Simulationstool und Modellierung	11
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	12
6	Simulation.....	13
	6.1 PV - Anlage.....	13
	6.2 Immissionsorte.....	16
	6.1 Ergebnisse.....	19
7	Auswertung	20
8	Blendschutzmaßnahmen.....	22
9	Schlussbemerkung.....	25
10	Literaturverzeichnis	26
11	Abbildungsverzeichnis.....	27



1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Maxdorf 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. Hierbei werden 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

Das Gebiet der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage befindet sich östlich der Gemeinde Maxdorf und südwestlich von Mahlsdorf. Der Solarpark unterteilt sich in mehrere Flächen, siehe Abbildung 1. Die Flächen sind in die Plangebiete A – C eingeteilt. Die Kreisstraße 1411 zwischen Maxdorf und Mahlsdorf (tangiert Plangebiet C nördlich) und der asphaltierte Verbindungsweg von Maxdorf zur Bundesstraße 71 (kurz: B71; tangiert Plangebiet B nördlich und Plangebiet C südlich) grenzen an den Solarpark.

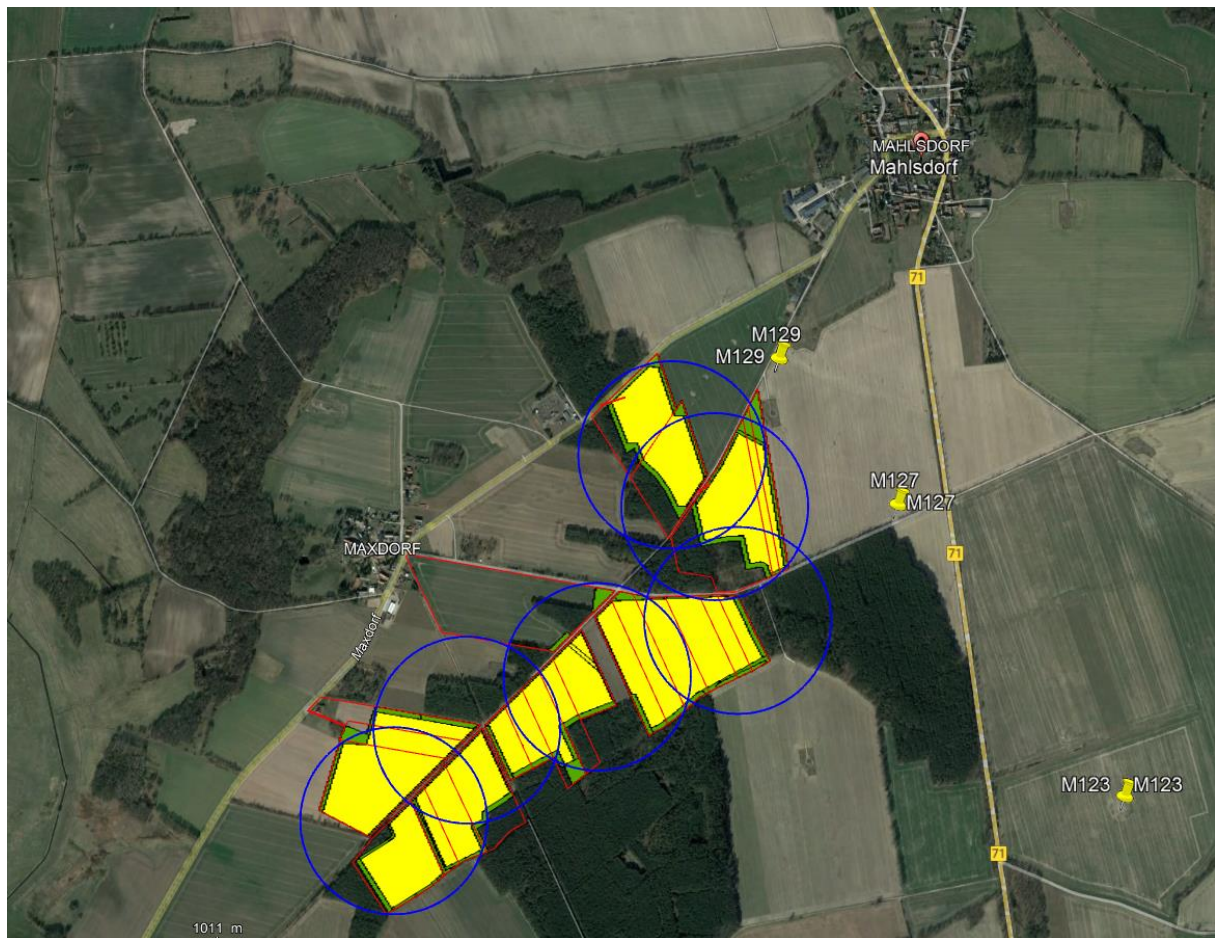


Abbildung 1: Das Gebiet der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage (gelb) und angrenzenden Ortschaften Maxdorf und Mahlsdorf sowie die die Kreisstraße 1411 und der Verbindungsweg von Maxdorf zur B71

3 Beschreibung der PV – Anlage

Die Unterkonstruktion wird nach Angaben des Auftraggebers voraussichtlich einen Modulneigungswinkel von 15° betragen. Die untere Modulkante liegt auf einer Höhe von 0,8 m und die obere Modulkante auf einer Höhe 2,61 m, siehe Abbildung 2. Der Abstand der Modultische wird voraussichtlich 2,3 m betragen. Die mittlere Modulhöhe liegt somit bei 1,7 m.

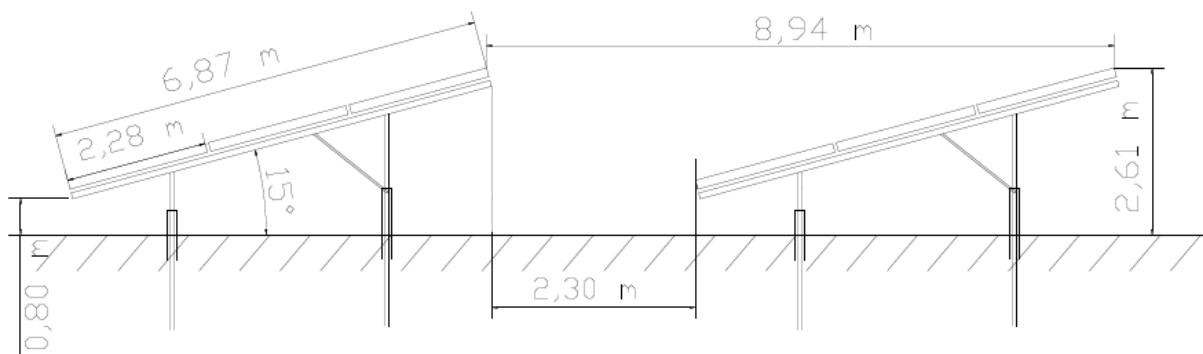


Abbildung 2: Geplante Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

4 Grundlagen der Optik

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

4.1 Geometrische Reflexionssituation

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

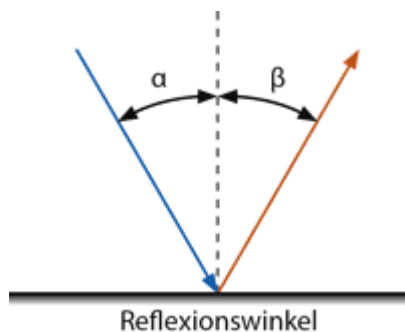


Abbildung 3: Reflexion eines Lichtstrahls

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

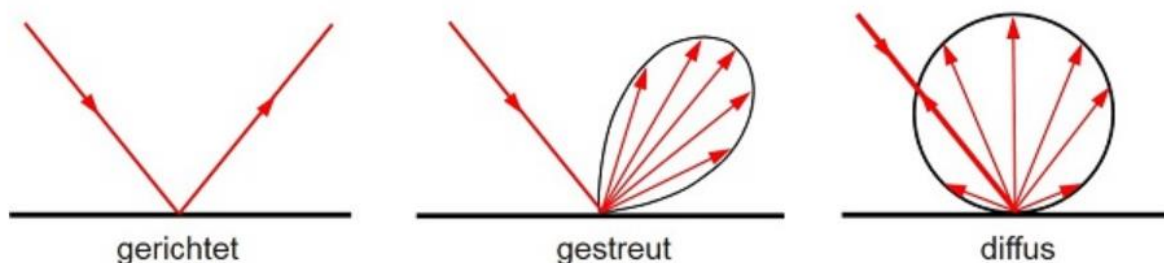


Abbildung 4: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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 5.

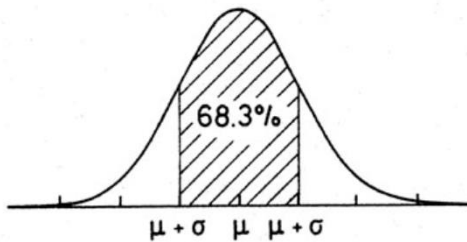


Abbildung 5: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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 texturierten Frontgläser zu sehen.

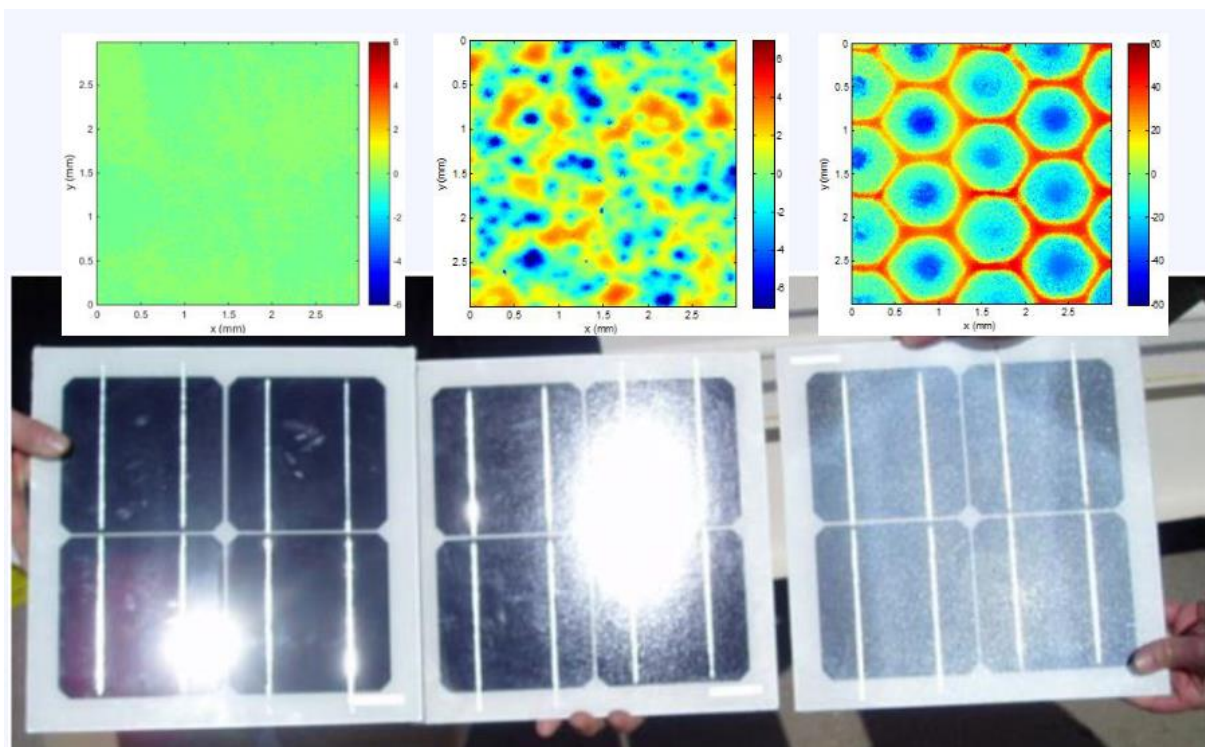


Abbildung 6: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad (1,16°), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweite von 92-184 mrad (5,34-10,6°) 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 7.

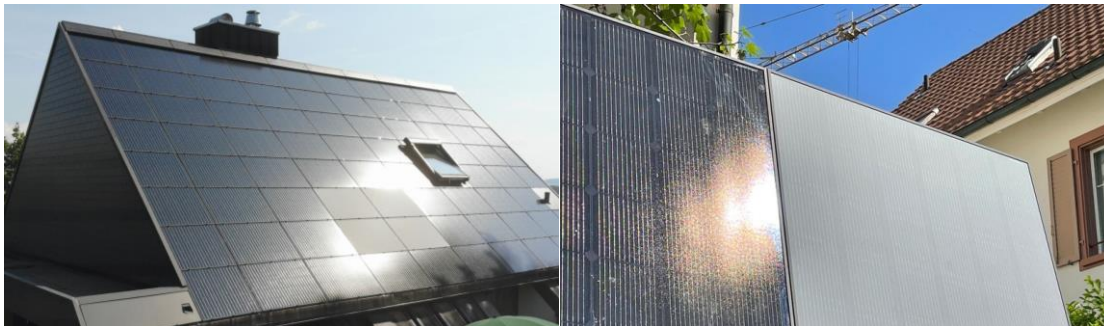


Abbildung 7: links: Module mit satinierter Folie (Buchner 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

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 8, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

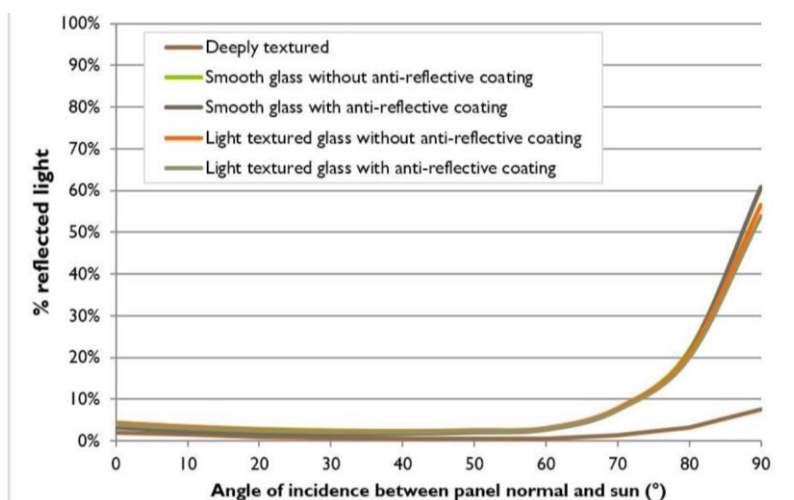


Abbildung 8 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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 9 verdeutlicht: Erhöht sich die Adaptive Helligkeit, erhöht sich auch die minimale Helligkeit, die ein Objekt haben muss, um gut erkennbar zu sein.

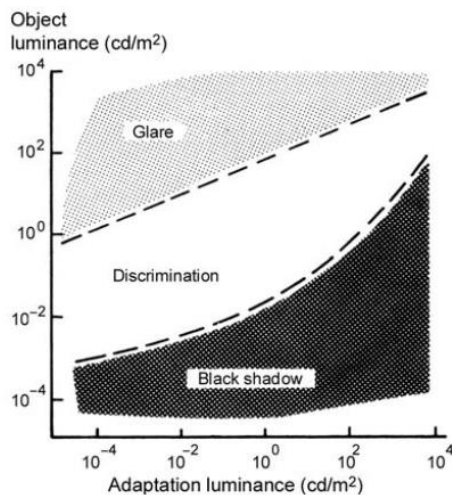


Abbildung 9: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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 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.

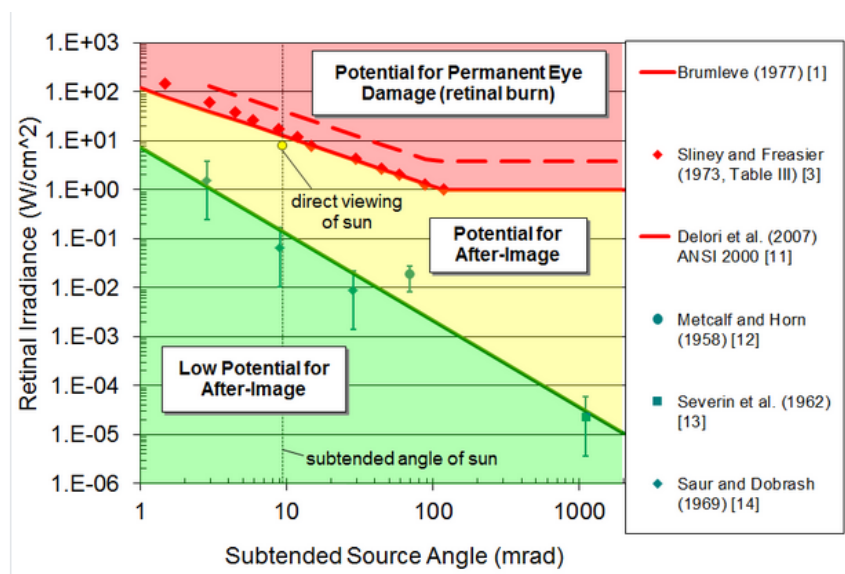


Abbildung 10: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

6 Simulation

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt.

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 Sattelitendaten und ist in Abbildung 11 zu sehen. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Felder sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Ausrichtung aller PV-Flächen beträgt 180° bei einem Neigungswinkel von 15° .

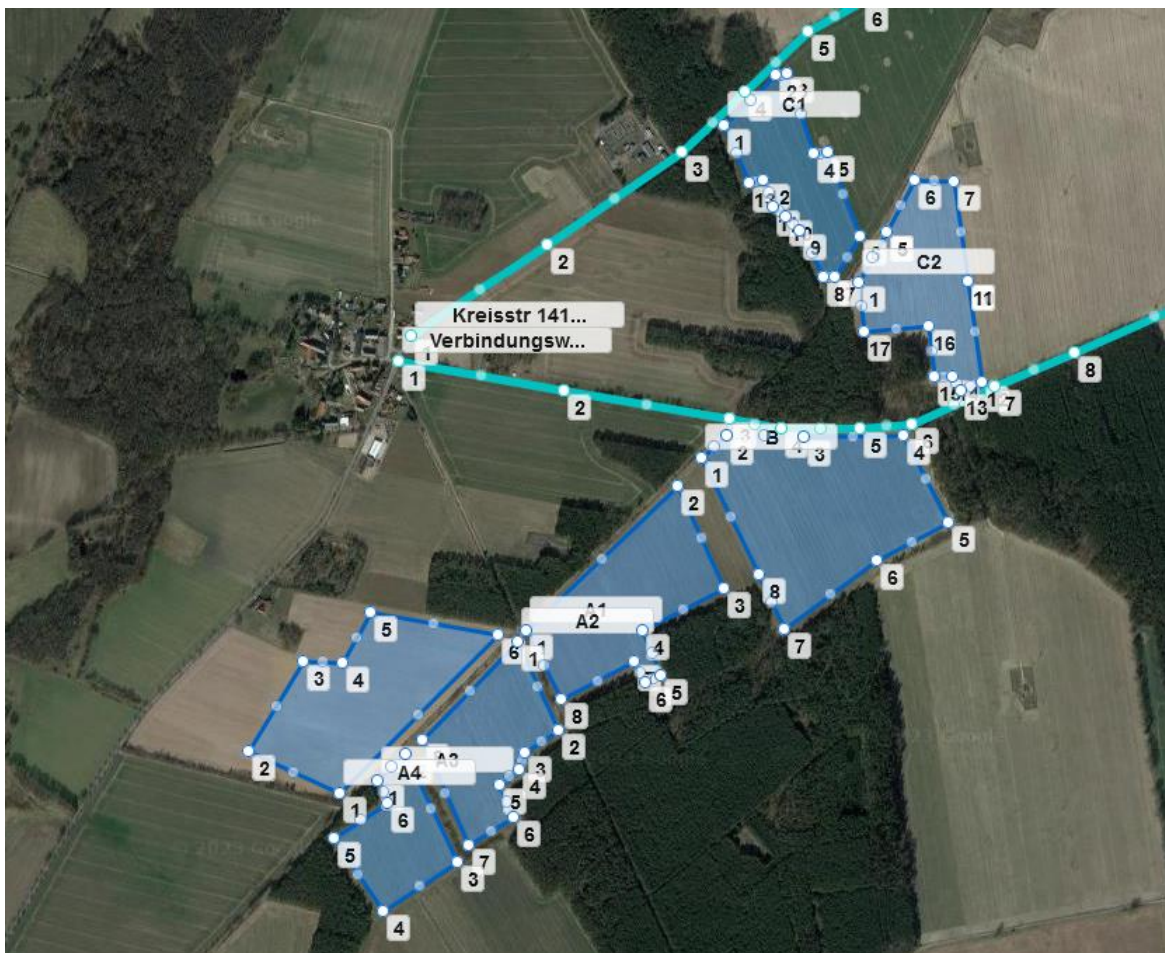


Abbildung 11: Anlage der geplanten PV-Freiflächenanlage in der Simulationssoftware ForgeSolar

Tabelle 1: Koordinaten, Höhe ü. NN, die Untersuchungshöhe und die Gesamthöhe über NN der Plangebiete A, B und C

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Plangebiet Teil A1	1	52,7763	11,2114	39	1,7	40,7
Plangebiet Teil A1	2	52,7789	11,2160	40	1,7	41,7
Plangebiet Teil A1	3	52,7770	11,2174	41,2	1,7	42,9
Plangebiet Teil A1	4	52,7763	11,2149	41,9	1,7	43,6
Plangebiet Teil A1	5	52,7754	11,2155	44,2	1,7	45,9
Plangebiet Teil A1	6	52,7753	11,2150	43,8	1,7	45,5
Plangebiet Teil A1	7	52,7757	11,2147	42,4	1,7	44,1
Plangebiet Teil A1	8	52,7750	11,2125	41,5	1,7	43,2
Plangebiet Teil A2	1	52,7760	11,2111	38,8	1,7	40,5
Plangebiet Teil A2	2	52,7744	11,2124	40,7	1,7	42,4
Plangebiet Teil A2	3	52,7740	11,2113	39	1,7	40,7
Plangebiet Teil A2	4	52,7737	11,2112	39,2	1,7	40,9
Plangebiet Teil A2	5	52,7734	11,2105	39	1,7	40,7
Plangebiet Teil A2	6	52,7728	11,2110	42,2	1,7	43,9
Plangebiet Teil A2	7	52,7723	11,2096	39,1	1,7	40,8
Plangebiet Teil A2	8	52,7742	11,2082	36,1	1,7	37,8
Plangebiet Teil A3	1	52,7735	11,2068	36	1,7	37,7
Plangebiet Teil A3	2	52,7740	11,2077	35,7	1,7	37,4
Plangebiet Teil A3	3	52,7720	11,2093	38,7	1,7	40,4
Plangebiet Teil A3	4	52,7711	11,2070	38,1	1,7	39,8
Plangebiet Teil A3	5	52,7724	11,2055	35,7	1,7	37,4
Plangebiet Teil A3	6	52,7731	11,2071	36	1,7	37,7
Plangebiet Teil A4	1	52,7732	11,2056	35,2	1,7	36,9

Plangebiet Teil A4	2	52,7740	11,2029	31,6	1,7	33,3
Plangebiet Teil A4	3	52,7757	11,2046	33,7	1,7	35,4
Plangebiet Teil A4	4	52,7757	11,2058	33,9	1,7	35,6
Plangebiet Teil A4	5	52,7766	11,2066	32,9	1,7	34,6
Plangebiet Teil A4	6	52,7762	11,2105	38,4	1,7	40,1
Plangebiet Teil B	1	52,7794	11,2168	40	1,7	41,7
Plangebiet Teil B	2	52,7799	11,2175	41,1	1,7	42,8
Plangebiet Teil B	3	52,7798	11,2199	43,7	1,7	45,4
Plangebiet Teil B	4	52,7799	11,2229	45,5	1,7	47,2
Plangebiet Teil B	5	52,7783	11,2243	41,3	1,7	43
Plangebiet Teil B	6	52,7776	11,2221	40,2	1,7	41,9
Plangebiet Teil B	7	52,7763	11,2193	45,6	1,7	47,3
Plangebiet Teil B	8	52,7773	11,2185	40,9	1,7	42,6
Plangebiet Teil C1	1	52,7856	11,2174	41,7	1,7	43,4
Plangebiet Teil C1	2	52,7865	11,2190	36,3	1,7	38
Plangebiet Teil C1	3	52,7866	11,2194	35,2	1,7	36,9
Plangebiet Teil C1	4	52,7851	11,2202	34,7	1,7	36,4
Plangebiet Teil C1	5	52,7851	11,2206	34,4	1,7	36,1
Plangebiet Teil C1	6	52,7836	11,2216	38,5	1,7	40,2
Plangebiet Teil C1	7	52,7828	11,2208	40,7	1,7	42,4
Plangebiet Teil C1	8	52,7828	11,2205	40,9	1,7	42,6
Plangebiet Teil C1	9	52,7837	11,2198	39,5	1,7	41,2
Plangebiet Teil C1	10	52,7839	11,2193	39,3	1,7	41
Plangebiet Teil C1	11	52,7841	11,2189	39,4	1,7	41,1
Plangebiet Teil C1	12	52,7846	11,2186	38,4	1,7	40,1
Plangebiet Teil C1	13	52,7846	11,2182	39,6	1,7	41,3

Plangebiet Teil C2	1	52,7827	11,2216	40	1,7	41,7
Plangebiet Teil C2	2	52,7836	11,2224	38,3	1,7	40
Plangebiet Teil C2	3	52,7836	11,2224	38,3	1,7	40
Plangebiet Teil C2	4	52,7836	11,2224	38,3	1,7	40
Plangebiet Teil C2	5	52,7836	11,2224	38,3	1,7	40
Plangebiet Teil C2	6	52,7846	11,2233	37,7	1,7	39,4
Plangebiet Teil C2	7	52,7846	11,2245	37	1,7	38,7
Plangebiet Teil C2	8	52,7827	11,2249	38,1	1,7	39,8
Plangebiet Teil C2	9	52,7827	11,2249	38,1	1,7	39,8
Plangebiet Teil C2	10	52,7827	11,2249	38,1	1,7	39,8
Plangebiet Teil C2	11	52,7827	11,2249	38,1	1,7	39,8
Plangebiet Teil C2	12	52,7809	11,2253	41	1,7	42,7
Plangebiet Teil C2	13	52,7807	11,2247	42,9	1,7	44,6
Plangebiet Teil C2	14	52,7810	11,2244	42,8	1,7	44,5
Plangebiet Teil C2	15	52,7810	11,2239	44,4	1,7	46,1
Plangebiet Teil C2	16	52,7819	11,2237	40	1,7	41,7
Plangebiet Teil C2	17	52,7818	11,2217	44	1,7	45,7

6.2 Immissionsorte

Die Bestimmung der Immissionsorte erfolgte anhand der vom Auftragsgeber zur Verfügung gestellten textlichen Stellungnahme von der Immissionsschutzbehörde. Die Verortung der Kreisstraße 1411 und dem Verbindungsweg zwischen Maxdorf und der B71 ist nachfolgend dargestellt, siehe Abbildung 12.



Abbildung 12: Verortung der Kreisstraße 1411 von Maxdorf zu Mahlsdorf und der Verbindungsweg Maxdorf und B71

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, Höhe ü. NN, die Untersuchungshöhe und die Gesamthöhe über NN des Straßenverkehrs der Kreisstraße 1411 und der Verbindungsweg Maxdorf und B71

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Sitzhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Kreisstr 1411 Maxdorf Mahlsdorf	1	52,7817114	11,2078736	34,9	3	37,9
Kreisstr 1411 Maxdorf Mahlsdorf	2	52,78341	11,2120068	36,7	3	39,7
Kreisstr 1411 Maxdorf Mahlsdorf	3	52,7851086	11,2161294	42,3	3	45,3

Kreisstr	1411	Maxdorf	4	52,7862283	11,2180606	39,8	3	42,8
Mahlsdorf								
Kreisstr	1411	Maxdorf	5	52,7873479	11,219981	32,5	3	35,5
Mahlsdorf								
Kreisstr	1411	Maxdorf	6	52,7879031	11,2216118	31	3	34
Mahlsdorf								
Kreisstr	1411	Maxdorf	7	52,7884323	11,2231997	29,6	3	32,6
Mahlsdorf								
Verbindungsweg Maxdorf B71			1	52,7812484	11,2074818	34,3	3	37,3
Verbindungsweg Maxdorf B71			2	52,7807098	11,2125404	36,9	3	39,9
Verbindungsweg Maxdorf B71			3	52,7801711	11,2175776	42	3	45
Verbindungsweg Maxdorf B71			4	52,7800089	11,2191762	43,5	3	46,5
Verbindungsweg Maxdorf B71			5	52,7800024	11,2216037	44,9	3	47,9
Verbindungsweg Maxdorf B71			6	52,7800868	11,2231915	46,2	3	49,2
Verbindungsweg Maxdorf B71			7	52,7807752	11,2257111	41,6	3	44,6
Verbindungsweg Maxdorf B71			8	52,7814118	11,2281448	41,6	3	44,6
Verbindungsweg Maxdorf B71			9	52,7827237	11,2330765	36,6	3	39,6

6.1 Ergebnisse

Tabelle 3 stellt die Simulationsergebnisse der potenziellen Blendung der Plangebiete auf die Kreisstraße und den Verbindungsweg dar. Für die Plangebiete A1, A2, A3, A4 und B wurde keine potenzielle Blendwirkung auf den Straßenverkehr festgestellt. Für Plangebiet C1 und C2 wurde potenzielle Blendung in Richtung der Kreisstraße und dem Verbindungsweg ermittelt. Die über ein Jahr auftretenden Blendminuten sind aus der Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3: Simulationsergebnisse (potenzielle Blendung) der einzelnen Plangebiete auf die Kreisstraße 1411 und den Verbindungsweg Maxdorf und B71

	Blendminuten (min)	Blendminuten (min)
Plangebiet	Kreisstraße 1411 Maxdorf und Mahlsdorf	Verbindungsweg Maxdorf und B71
A1	0	0
A2	0	0
A3	0	0
A4	0	0
B	0	0
C1	2160	0
C2	0	851

7 Auswertung

Dieses Kapitel wertet die Simulationsergebnisse hinsichtlich auftretender Blendung und unter Berücksichtigung der Grenzwerte aus. Nachfolgend ist die Auswertung der Blendwirkung der einzelnen Plangebiete auf den Straßenverkehr dargestellt. Die Auswertung bezieht auf die Plangebiete C1 und C2. Die Plangebiete, für die keine Blendung ermittelt wurden, werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Plangebiet C1

Abbildung 13 verdeutlicht auf Basis der Simulationsergebnisse die grafische Auswertung für Plangebiet C1 für die ermittelte Blendung auf die Kreisstraße 1411 zwischen Maxdorf und Mahlsdorf. In der linken Grafik ist die Uhrzeit der auftretenden Blendung dargestellt, je nach Datum in Winterzeit (GMT+1) oder Sommerzeit (GMT+2). Für die Straße treten potenzielle Blendungen von Mitte April bis Ende August Jahr zwischen 06:26 Uhr und 07:15 Uhr auf. Rechts in der Abbildung ist die tägliche Dauer der Blendung dargestellt. Diese erreicht bis zu 26 Minuten pro Tag.

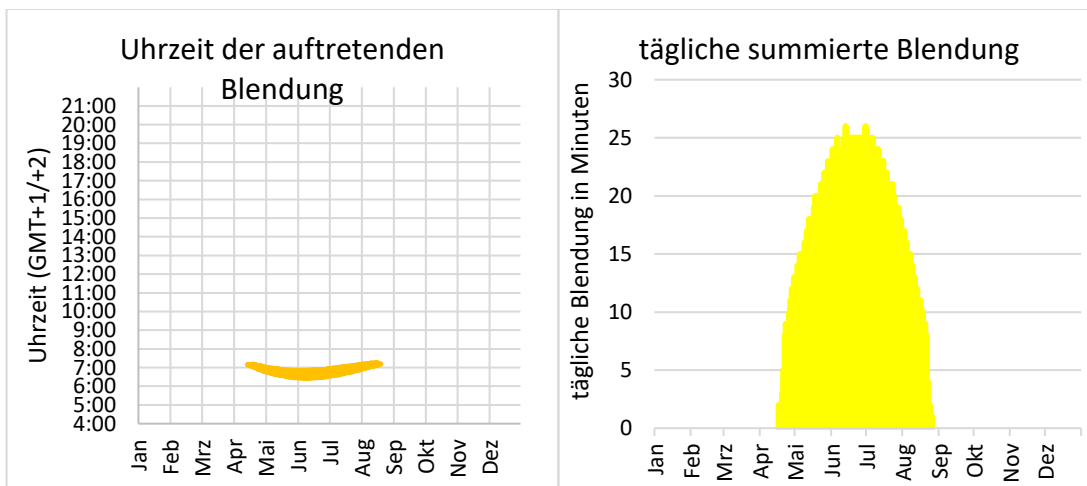


Abbildung 13: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend Plangebiet C1 auf die Kreisstraße 1411

Plangebiet C2

Abbildung 14 verdeutlicht auf Basis der Simulationsergebnisse die grafische Auswertung für das Plangebiet C2 für die ermittelte Blendung auf den Verbindungsweg zwischen Maxdorf und der B71. In der linken Grafik ist die Uhrzeit der auftretenden Blendung dargestellt, je nach Datum in Winterzeit (GMT+1) oder Sommerzeit (GMT+2). Potenzielle Blendungen treten von Mitte März bis Ende April und von Mitte August und Ende September zwischen 17:53 Uhr und 19:21 Uhr auf. Auf der rechten Seite ist die tägliche Dauer der Blendung dargestellt. Diese erreicht bis zu 23 Minuten pro Tag.

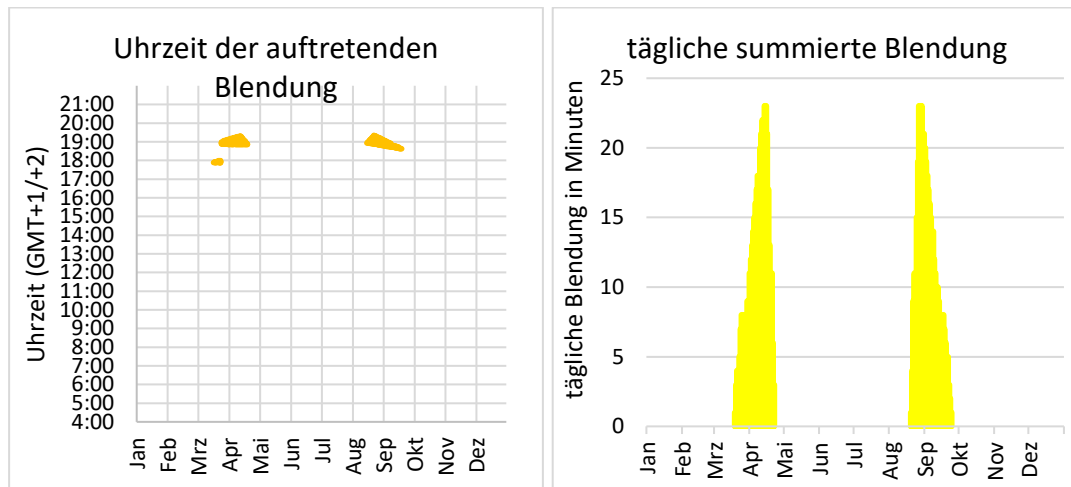


Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von Plangebiet C2 auf den Verbindungsweg zwischen Maxdorf und B71

8 Blendschutzmaßnahmen

Nachfolgend sind die auftretenden, durch den Solarpark verursachten Winkel der Sonnenreflexionen und die darauf aufbauende Ausarbeitung von Blendschutzmaßnahmen zur Vermeidung der Blendwirkung auf den Straßenverkehr dargestellt. Die Umsetzung der Sichtunterbrechung kann beispielsweise in Form eines blickdichten Zauns, einer blickdichten Folie an der geplanten Einfriedung oder gepflanzten blickdichten Bewuchses realisiert werden. Die Maßnahmen zur Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen des Solarparks und dem Straßenverkehr können vom Auftraggeber frei gewählt werden, insofern die Sichtunterbrechung erfolgt. Die hier vorgeschlagenen Orte für den Blendschutz sind mögliche Varianten, andere sind ebenfalls zielführend, wenn diese die Sichtunterbrechung realisieren. Bei der Umsetzung einer Blendschutzmaßnahme durch natürlichen Bewuchs ist zu berücksichtigen, dass dieser in den relevanten Monaten laubtragend ist und in seinen Abmaßen die Sichtverbindung zwischen Generatorfläche und den Immissionspunkte unterbricht. Die DGS empfiehlt für den Blendschutz blickdichten Bewuchs als ökologischste Variante, da diese zusätzlich zur CO₂-Reduktion beiträgt.

Plangebiet C1:

Zur Eingrenzung des schutzwürdigen Bereichs von Plangebiet C1 auf die Kreisstraße 1411 kann Abbildung 15 herangezogen werden. Bei der geplanten Bebauung beträgt die Höhe der Moduloberkante 2,61 m. Somit ist eine Mindesthöhe des Blendschutzzauns von 2,60 m im orangen dargestellten Bereich geeignet eine Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen und Straßenverkehr zu gewährleisten und somit eine Gefährdung durch Blendung in diesem Bereich zu verhindern. Der Auftraggeber ist bereit, an der Kreisstraße (ca. 150m) während der Anwuchszeit der Hecke eine Vlies oder ähnliches am Zaun anzubringen. Somit wird die Anwuchszeit der Hecke überbrückt und es kann eine Sichtunterbrechung gewährleistet werden.

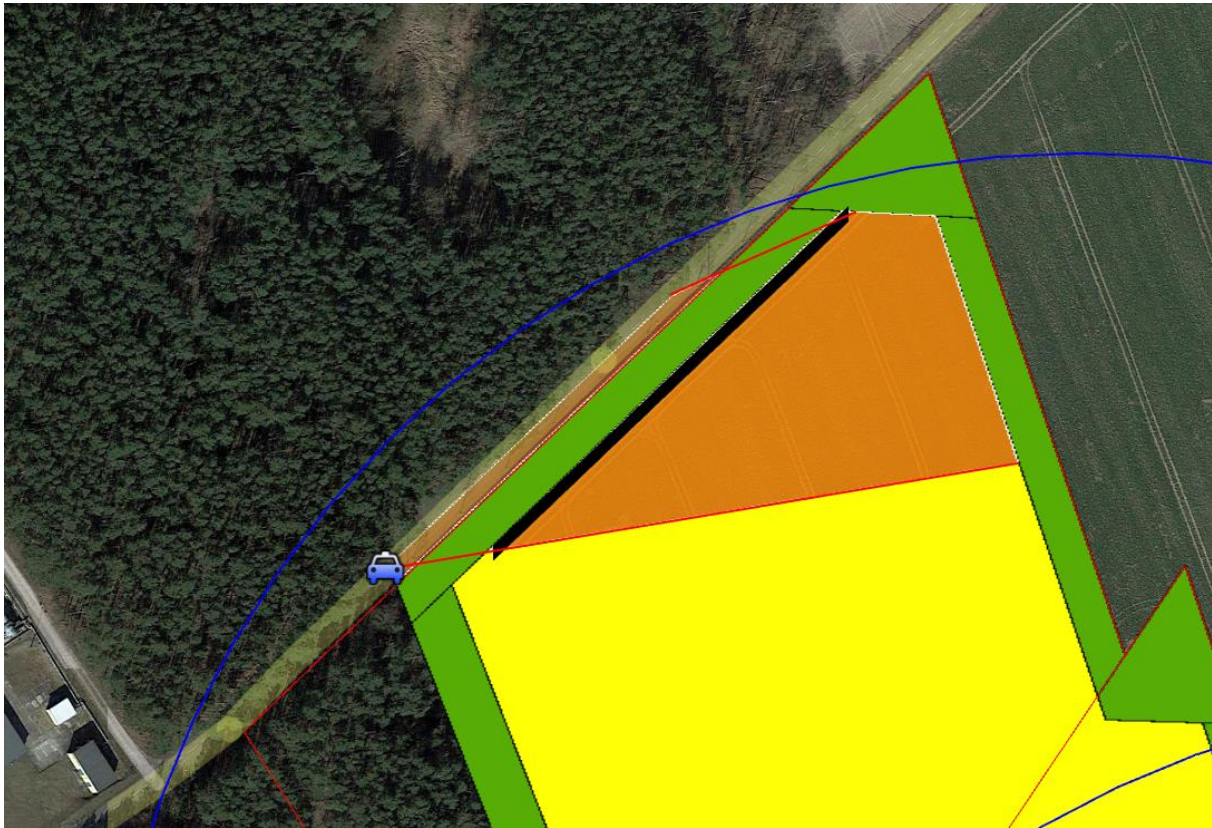


Abbildung 15: Potenzielle Blendung ausgehend von Plangebiet C1 auf die Kreisstraße 1411. Gelb dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der potenziell Blendung verursacht und schwarz dargestellt ist die Länge des Blendschutzzauns

Plangebiet C2:

Zur Eingrenzung des schutzwürdigen Bereichs von Plangebiet C2 auf den Verbindungsweg zwischen Maxdorf und Mahlsdorf kann Abbildung 16 herangezogen werden. Bei der geplanten Bebauung beträgt die Höhe der Moduloberkante 2,61 m. Somit ist eine Mindesthöhe des Blendschutzzauns von 2,60 m im orangen dargestellten Bereich geeignet eine Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen und Straßenverkehr zu gewährleisten und somit eine Gefährdung durch Blendung in diesem Bereich zu verhindern. Laut Aussage des Auftraggebers ist bei dem sogenannten Gasweg im Straßenseitenraum teilweise Gehölzbewuchs vorhanden, sodass eine übermäßige Blendung ausgeschlossen werden kann. Weiterhin ist laut Auftraggeber das Verkehrsaufkommen sehr gering, weshalb auf einen Blendschutzzaun verzichtet werden kann. Diese Aussage sollte von der zuständigen Behörde geprüft werden.

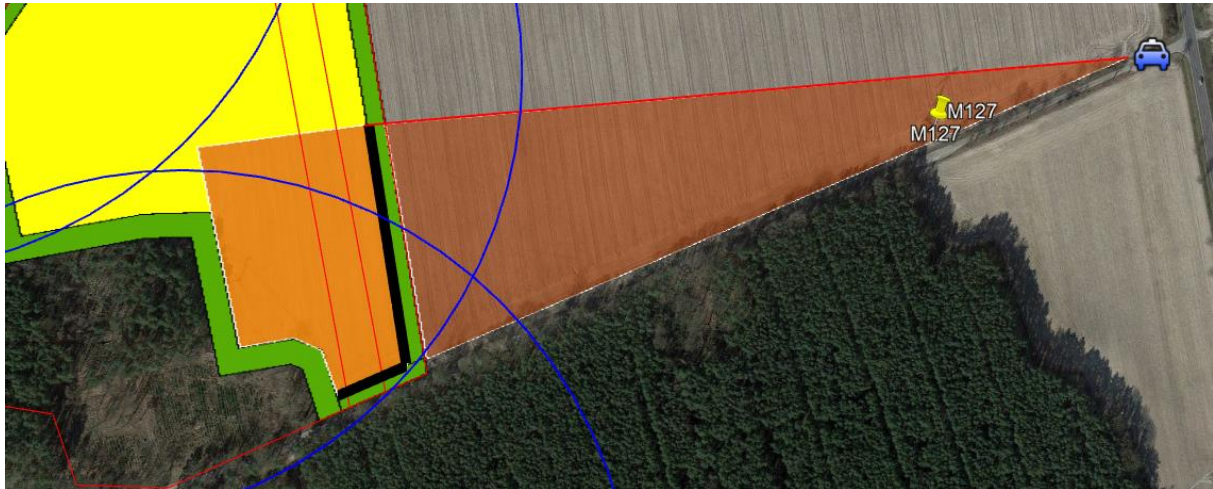


Abbildung 16: Potenzielle Blendung ausgehend von Plangebiet C auf den Verbindungsweg Maxdorf und die B71. Gelb dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der potenziell Blendung verursacht und schwarz dargestellt ist die empfohlene Länge des Blendschutzzauns

9 Schlussbemerkung

Abschließend kommt das Fachgutachten zu dem Schluss, dass eine Gefährdung durch Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den angrenzenden Straßenverkehr der Kreisstraße 1411 von Maxdorf zu Mahlsdorf nicht auszuschließen ist. Durch eine Sichtunterbrechung in den relevanten Bereichen kann die Blendung ausgeschlossen werden. Für den Verbindungsweg Maxdorf und B71 wurde potenzielle Blendung ermittelt, die nach Aussagen des Auftraggebers aufgrund des vorhandenen Gehölzes und des geringen Verkehrsaufkommens keine Gefährdung im Straßenverkehr darstellt.

Für die Plangebiete A und B wurde keine Gefährdung durch Blendung ermittelt.

10 Literaturverzeichnis

Boyce, Peter R. 2014. *Human Factors in Lightning*. Boca Raton: CRC Press.

Bucher, Christof. 2021. „bulletin.ch.“ *Reflexionen an Photovoltaikanlagen*. 24. September.
<https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>.

Federal Aviation Administration. 2013. „Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports.“ *Vol. 78, No. 205*. Federal Register, 23. October.

ForgeSolar. 2022. *ForgeSolar*. 29. 07. <https://www.forgesolar.com/help/#ref-yel-2015>.

Immissionsschutz, Länderausschuss für. 2002. „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung.“

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vorsitzland der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). 2012. „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI).“

OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik. 2016. „Blendung durch Photovoltaikanlagen.“ Wien, 1. 11.

Schierz, Christoph. 2012. *Über die Blendbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen*. Ilmenau: TU Ilmenau, FG Lichttechnik.

Trempler, J. 2015. *Optische Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag.

Warthmann, Peter. 2021. „gebaeudetechnik.ch.“ *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem*. 15. Oktober.
<https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.

Yellowhair, Julius Yellowhair, und Clifford K. Ho. 2015. „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. 49481.

Zehndorfer Engineering GmbH . 2022. „Lichttechnisches Gutachten Reflexionen KIOTO HC Modul.“ Klagenfurt.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Gebiet der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage (gelb) und angrenzenden Ortschaften Maxdorf und Mahlsdorf sowie die die Kreisstraße 1411 und der Verbindungsweg von Maxdorf zur B71	4
Abbildung 2: Geplante Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber).....	5
Abbildung 3: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 4: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)	6
Abbildung 5: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	7
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 (Yellowhair und Ho 2015)	7
Abbildung 7: links: Module mit satiniertes Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)	8
Abbildung 8 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)	8
Abbildung 9: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	9
Abbildung 10: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)	12
Abbildung 11: Anlage der geplanten PV-Freiflächenanlage in der Simulationssoftware ForgeSolar	13
Abbildung 12: Verortung der Kreisstraße 1411 von Maxdorf zu Mahlsdorf und der Verbindungsweg Maxdorf und B71	17
Abbildung 13: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend Plangebiet C1 auf die Kreisstraße 1411	20
Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von Plangebiet C2 auf den Verbindungsweg zwischen Maxdorf und B71	21
Abbildung 15: Potenzielle Blendung ausgehend von Plangebiet C1 auf die Kreisstraße 1411. Gelb dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der potenziell Blendung verursacht und schwarz dargestellt ist die Länge des Blendschutzzauns	23
Abbildung 16: Potenzielle Blendung ausgehend von Plangebiet C auf den Verbindungsweg Maxdorf und die B71. Gelb dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der potenziell Blendung verursacht und schwarz dargestellt ist die empfohlene Länge des Blendschutzzauns	24

Blendgutachten A-LV230024

Solarpark Maxdorf

OT Salzwedel



Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.
International Solar Energy Society, German Section
Landesverband Berlin Brandenburg e. V.
Erich-Steinfurth-Straße 8
10243 Berlin