



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

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

Öffentlichkeitsbeteiligung gem. § 3 Abs. 2 BauGB

Dieser Plan wurde in der Zeit vom 23.06.2025 bis 22.07.2025 im Internet eingestellt.

Dieser Plan hat in der Zeit vom 23.06.2025 bis 22.07.2025 öffentlich ausgelegt.

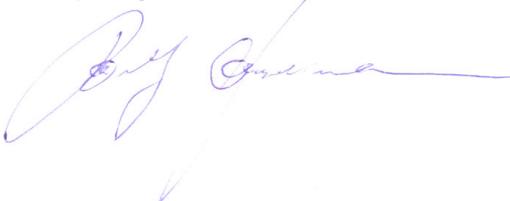
Dieser Plan wurde in der Zeit vom 23.06.2025 bis 22.07.2025 über das Bau- und Planungsportal M-V zugänglich gemacht.

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

Anlage: Solarpark Lüdershagen
53°43'05.7"N, 12°16'12.4"O
18292, Krakow am See

in Auftrag gegeben von: D&K Entwicklungs GmbH
Zu den Linden 29
17192 Waren (Müritz) Deutschland

Projektnummer: A-LV23/0111

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn


Bearbeiter: M. Eng. Joris Neumann


Berlin, 31.08.2023

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	15
8	Blendschutzmaßnahmen.....	20
9	Schlussbemerkung.....	21
10	Literaturverzeichnis	22
11	Abbildungsverzeichnis.....	23

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Lüdershagen 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 Hoppenrade im Landkreis Rostock in Mecklenburg-Vorpommern. Die Flächen des Solarparks werden derzeit als Ackerland genutzt und liegen am Ort Lüdershagen. Im Westen und Norden des geplanten Solarparks verläuft eine Bahntrasse und im Osten die Landstraße L 37. 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

Die Anlagenplanung des Solarparks ist in Abbildung 2 zu sehen. Der Solarpark ist auf einer Fläche von ca. 29,2 ha geplant. Die Modulflächen des Solarparks sind mit 180° in südliche Richtung ausgerichtet mit Neigungswinkeln von 20°. Die Modulunterkante wird 0,8 m über dem Boden liegen, die Moduloberkante liegt bei bis zu ca. 3,0 m. Eine Darstellung der Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 gegeben.

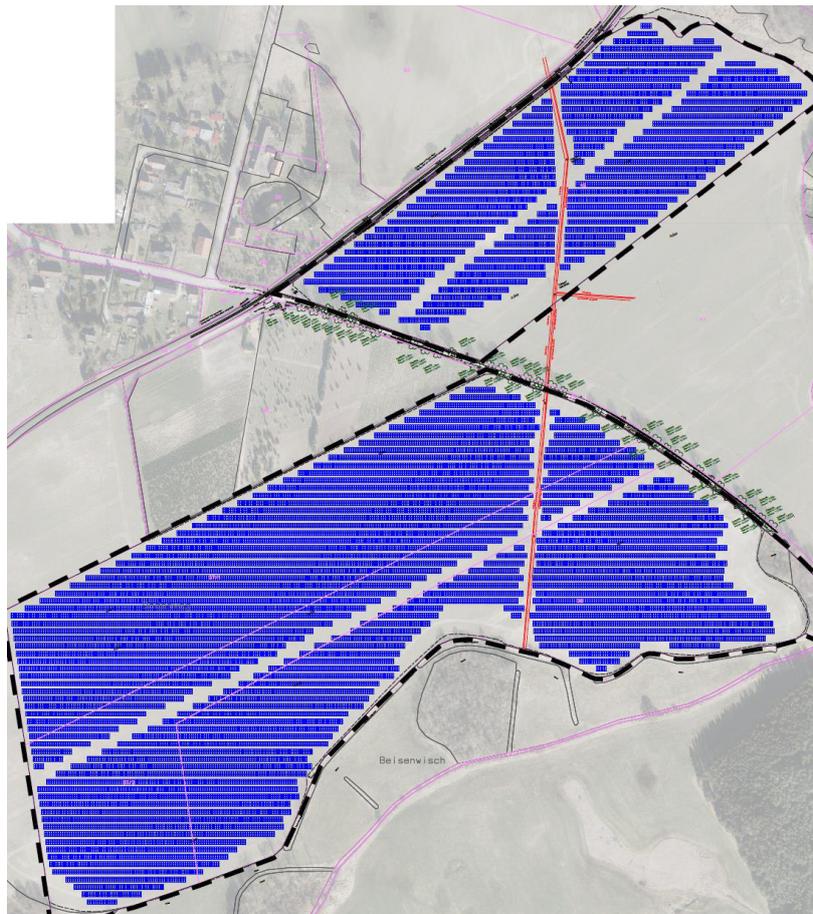


Abbildung 2: Anlagenplanung (Quelle: Auftraggeber)

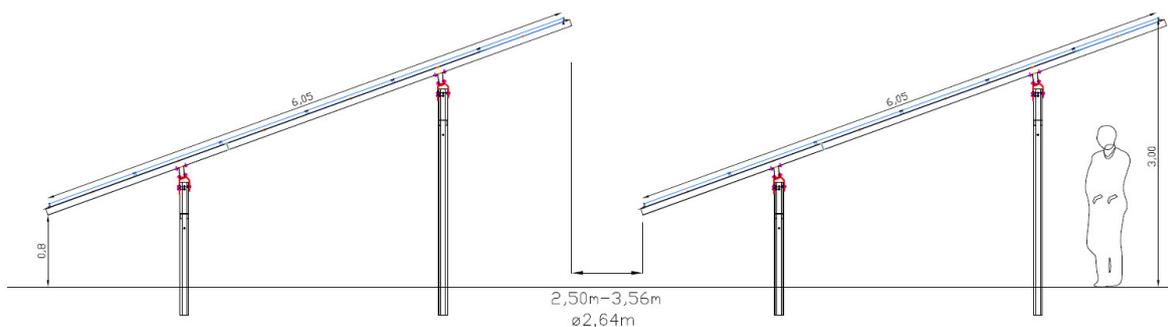


Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

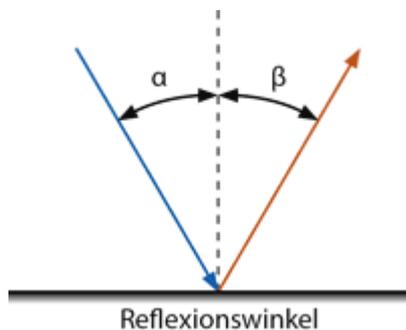


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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.

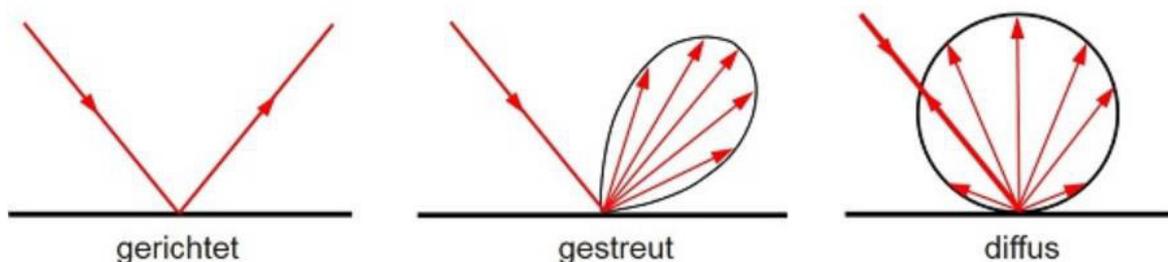


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

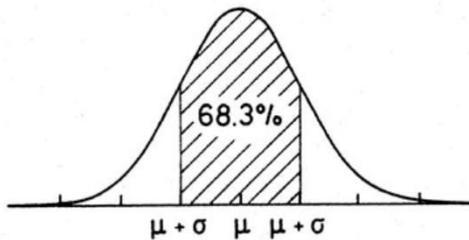


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

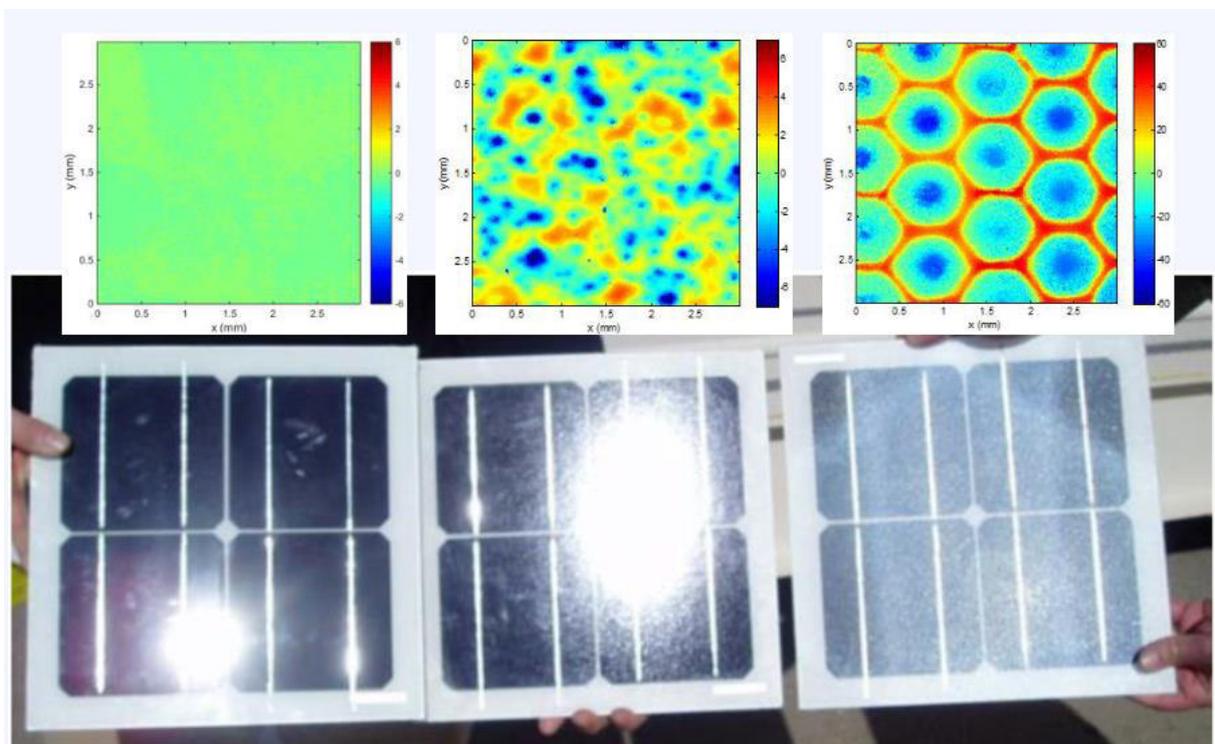


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad ($1,16^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung 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.

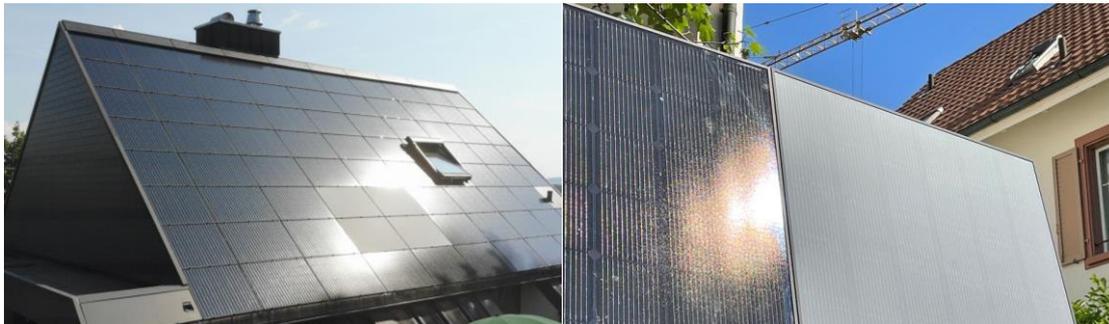


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

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.

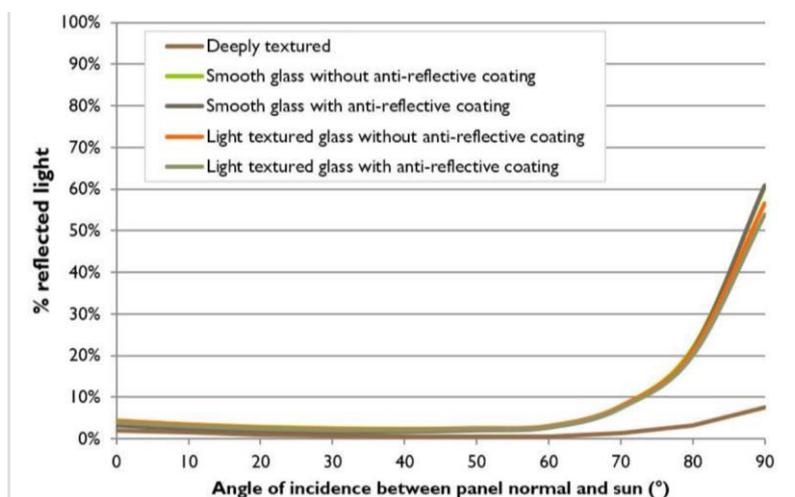


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

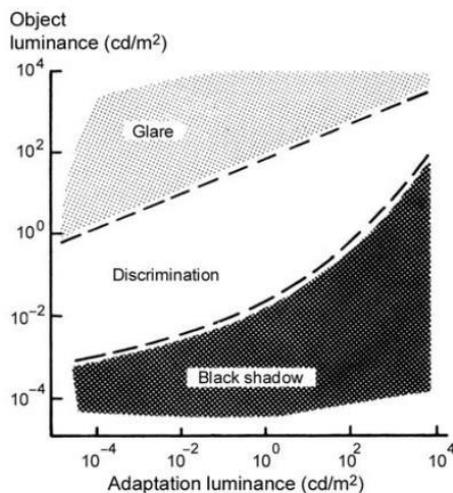


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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.

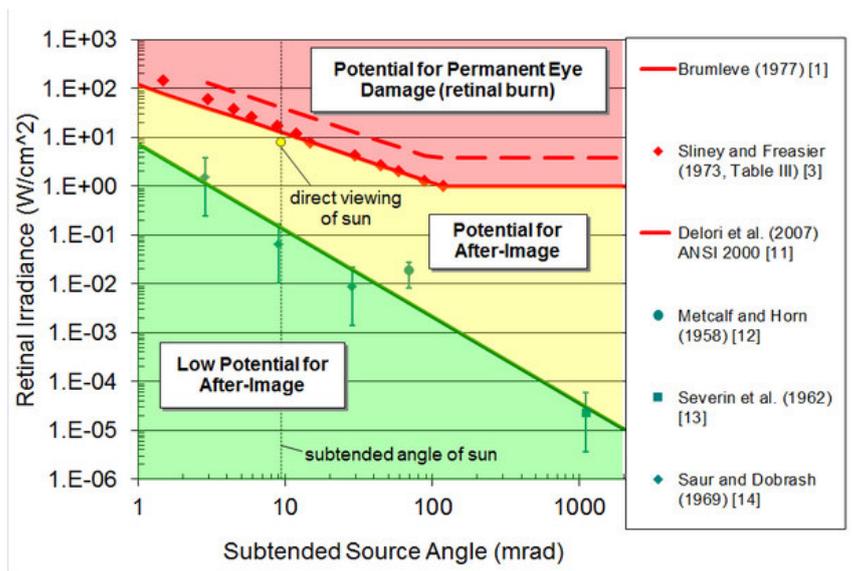


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

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 Sattelitendaten. Als mittlere Modulhöhe ergeben sich 1,9 m. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten, Höhe ü. NN, Untersuchungshöhe und Gesamthöhe über NN der PV-Flächen

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV-Feld 1	1	53,7189	12,26703	31	1,9	32,9
	2	53,71899	12,26699	31	1,9	32,9
	3	53,71996	12,26906	30,5	1,9	32,4
	4	53,72105	12,27126	27,3	1,9	29,2
	5	53,72154	12,27211	25,8	1,9	27,7
	6	53,72157	12,27249	24,9	1,9	26,8

	7	53,72143	12,27304	26	1,9	27,9
	8	53,72143	12,27343	26,2	1,9	28,1
	9	53,72101	12,27483	26,5	1,9	28,4
	10	53,72079	12,27497	26	1,9	27,9
	11	53,71918	12,27149	29,8	1,9	31,7
	12	53,71904	12,27061	30,4	1,9	32,3
	13	53,71852	12,26922	32,2	1,9	34,1
	14	53,7185	12,26902	32,5	1,9	34,4
PV-Feld 2	1	53,71565	12,26237	41	1,9	42,9
	2	53,71743	12,26791	34,7	1,9	36,6
	3	53,71802	12,2697	32,7	1,9	34,6
	4	53,71806	12,27018	32,4	1,9	34,3
	5	53,71772	12,27169	32	1,9	33,9
	6	53,71732	12,27285	31,2	1,9	33,1
	7	53,71691	12,27388	28,5	1,9	30,4
	8	53,71674	12,27403	27,8	1,9	29,7
	9	53,71634	12,27409	27,4	1,9	29,3
	10	53,71613	12,27445	26,2	1,9	28,1
	11	53,71591	12,27482	25	1,9	26,9
	12	53,71576	12,27491	24,2	1,9	26,1
	13	53,71563	12,27261	26,2	1,9	28,1
	14	53,71538	12,27207	26,2	1,9	28,1
	15	53,71557	12,27102	27,5	1,9	29,4
	16	53,71586	12,26995	28,7	1,9	30,6
	17	53,71559	12,26892	29,4	1,9	31,3
	18	53,71441	12,26743	28,5	1,9	30,4
	19	53,71359	12,26683	29,4	1,9	31,3
	20	53,71299	12,26431	33,9	1,9	35,8

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden beide Fahrtrichtungen der Bahntrasse Meyenburg-Güstrow, des Feldwegs und der Landstraße L 37 untersucht, sowie ein Wohnhaus in Lüdershagen und das Café Kölln. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder. 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

Immissionsort	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Betrachtungshöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Wohnbebauung Lüdershagen	1	53,71879	12,26531	31,5	1,7	33,2
Cafe Kölln	2	53,71794	12,27874	29,1	1,7	30,8
Bahntrasse	1	53,71126	12,25831	43,5	3	46,5
	2	53,71281	12,25918	41,3	3	44,3
	3	53,71394	12,25965	40,5	3	43,5
	4	53,71512	12,26004	40,1	3	43,1

	5	53,71579	12,26047	36,4	3	39,4
	6	53,7165	12,26112	35	3	38
	7	53,71703	12,26183	33,9	3	36,9
	8	53,71749	12,26264	34,2	3	37,2
	9	53,71784	12,2635	34,1	3	37,1
	10	53,71844	12,26533	32,4	3	35,4
	11	53,71884	12,26643	31,5	3	34,5
	12	53,71967	12,26812	29,8	3	32,8
	13	53,72114	12,27106	27,9	3	30,9
	14	53,7216	12,27173	26,8	3	29,8
	15	53,72222	12,27235	23,8	3	26,8
Feldweg	1	53,719	12,26461	31,9	3	34,9
	2	53,71884	12,26623	31,4	3	34,4
	3	53,71877	12,26684	31,6	3	34,6
	4	53,71844	12,26872	33	3	36
	5	53,71795	12,27136	32,5	3	35,5
	6	53,71786	12,27178	32,2	3	35,2
	7	53,71707	12,2739	28,7	3	31,7
	8	53,71656	12,27499	27,3	3	30,3
	9	53,71599	12,27592	24,1	3	27,1
Landstraße L 37	1	53,72105	12,27789	27,8	3	30,8
	2	53,72001	12,2781	25,4	3	28,4
	3	53,71901	12,27828	27,8	3	30,8
	4	53,71848	12,27834	28,3	3	31,3
	5	53,71777	12,27821	28,7	3	31,7
	6	53,71705	12,27778	26,1	3	29,1
	7	53,71567	12,27646	21,9	3	24,9
	8	53,71541	12,27627	22,1	3	25,1
	9	53,71495	12,27615	24,3	3	27,3
	10	53,71451	12,27619	23,1	3	26,1
	11	53,71389	12,27641	32,5	3	35,5
	12	53,71321	12,27654	26,1	3	29,1
	13	53,71283	12,2766	23,3	3	26,3
	14	53,70998	12,27727	24,2	3	27,2

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, sondern müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. In Tabelle 3 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt, kritische Werte welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten oder als kritisch für den Verkehr eingestuft werden 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
Bahntrasse	60,1
Feldweg	96,5
Landstraße L 37	0
Wohnbebauung Lüdershagen	16,0
Cafe Kölln	22,1

Bahntrasse Meyenburg-Güstrow

Die Ergebnisse der Simulation für die Bahntrasse sind in Abbildung 13 dargestellt. Es kommt zwischen Mitte April bis Ende August zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen 65° - 83° . Die potenzielle Blendung tritt in den Morgenstunden zwischen 6:35 und 7:35 auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis zu 37 Minuten erreicht.

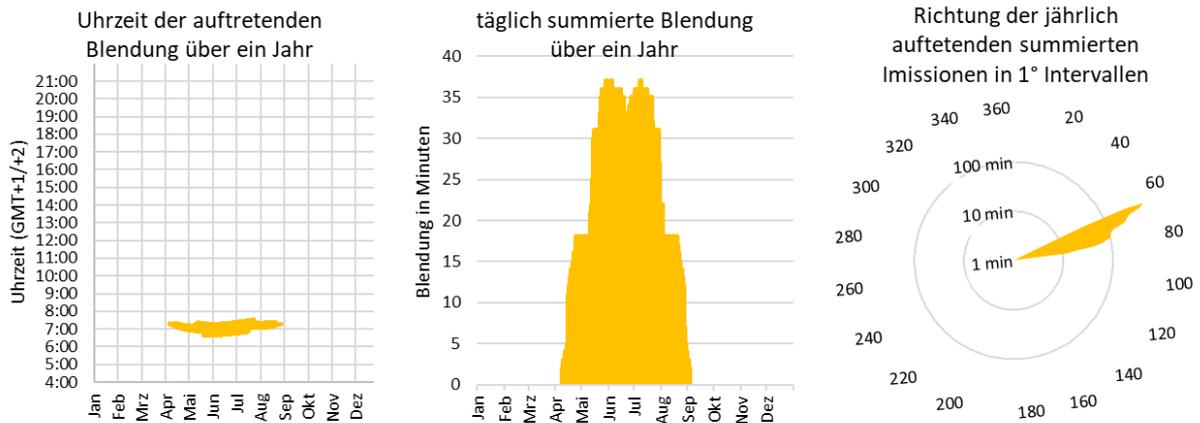


Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Bahntrasse

In Abbildung 14 sind die von potenzieller Blendung betroffenen Streckenabschnitte der Bahntrasse dargestellt. Die potenzielle Blendung auf der Bahntrasse tritt in den Morgenstunden auf. Es werden Blendschutzmaßnahmen empfohlen.



Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt der Bahntrasse in Orange, PV-Fläche in Blau und betroffener Sichtbereich in Rot

Feldweg

Die Ergebnisse der Simulation für den Feldweg sind in Abbildung 15 dargestellt. Es kommt zwischen Mitte März bis Mitte September zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen 67° - 91° und 288° - 295° . Die potenzielle Blendung tritt in den Morgenstunden zwischen 6:35 und 7:45, sowie in den Abendstunden zwischen 19:15 und 19:55 auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis zu 34 Minuten erreicht.

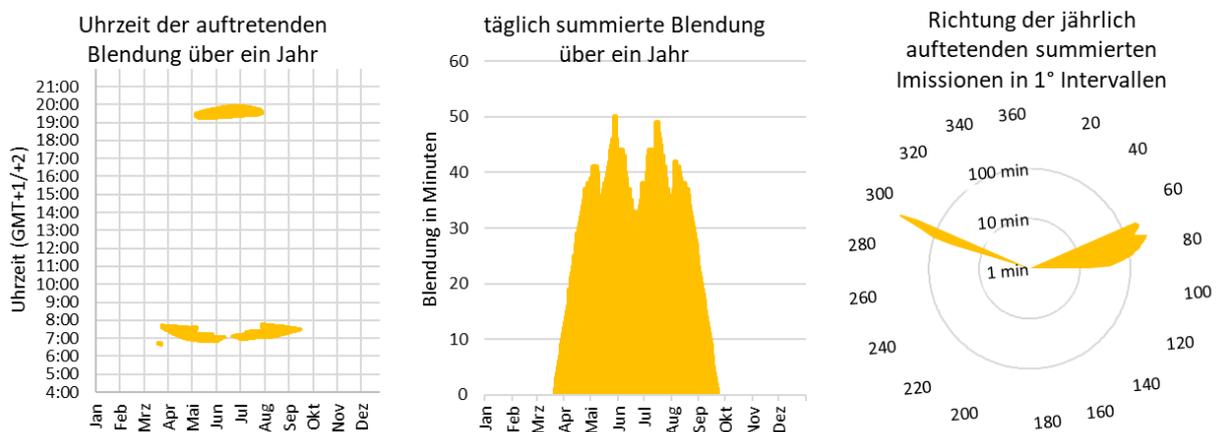


Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf den Feldweg

In Abbildung 16 sind die von potenzieller Blendung betroffenen Streckenabschnitte des Feldwegs dargestellt. Die potenzielle Blendung auf dem Feldweg tritt in den Morgen- und Abendstunden auf. Auf Feldwegen liegt in der Regel kaum regulärer Verkehr vor und aufgrund von niedrigen Geschwindigkeiten auf einem Feldweg von maximal 30 km/h ist Bremsen jederzeit problemlos möglich. Das Gutachten kommt daher zu der Einschätzung, dass für den Verkehr auf dem Feldweg keine erhöhte Gefährdung durch potenzielle Blendung besteht.



Abbildung 16: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt des Feldwegs in Orange, PV-Fläche in Blau und betroffener Sichtbereich in Rot

Wohnbebauung Lüdershagen

Die Ergebnisse der Simulation für die Wohnbebauung in Lüdershagen sind in Abbildung 17 dargestellt. Es kommt zwischen Ende April bis Mitte August zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen 65° - 76° . Die potenzielle Blendung tritt in den Morgenstunden zwischen 6:35 und 7:05 auf. Es werden tägliche potenzielle Blendedauern bis zu 11 Minuten erreicht. Die Werte liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen und eine erhebliche Beeinträchtigung durch Blendung wird damit ausgeschlossen.

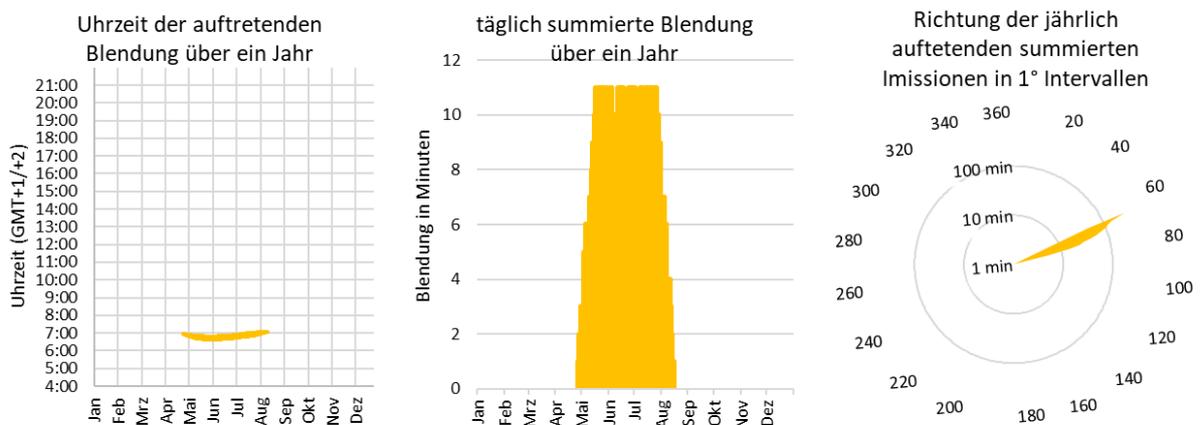


Abbildung 17: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Lüdershagen

Café Kölln

Die Ergebnisse der Simulation für das Café Kölln sind in Abbildung 18 dargestellt. Es kommt zwischen Mitte April bis Ende August zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen 279° - 294°. Die potenzielle Blendung tritt in den Abendstunden zwischen 19:10 und 19:40 auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis zu 12 Minuten erreicht. Die Werte liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen und eine erhebliche Beeinträchtigung durch Blendung wird damit ausgeschlossen.

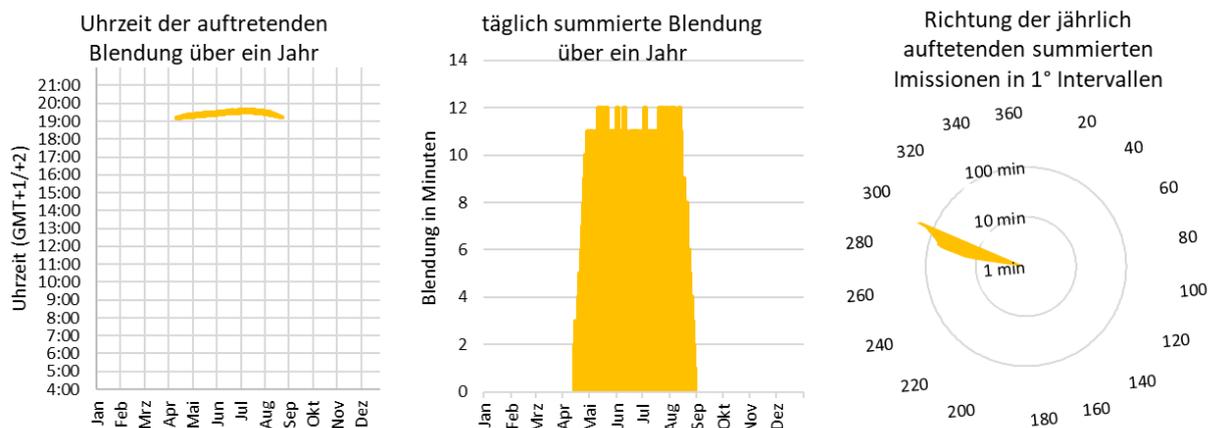


Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf das Café Kölln

8 Blendschutzmaßnahmen

Gemäß der Simulationsauswertung werden zur Vermeidung potenzieller Blendung Blendschutzmaßnahmen für die Bahntrasse empfohlen. Nachfolgend werden mögliche Maßnahmen beschrieben, welche geeignet sind, die ermittelte potenzielle Blendung zu verhindern. Es handelt sich lediglich um Vorschläge, auch andere Arten von Blendschutzmaßnahmen können zielführend sein.

Es werden Sichtunterbrechungen mit einer Höhe von 3 m empfohlen. Diese können als Zaun oder als Hecke bzw. Gehölzstreifen umgesetzt werden. Bei der Verwendung von Pflanzung sollte darauf geachtet werden, dass zum Zeitpunkt der auftretenden potenziellen Blendung Mitte April ein ausreichender Sichtschutz vorhanden ist. In Abbildung 19 sind die empfohlenen Blendschutzmaßnahmen dargestellt.



Abbildung 19: Empfohlener Blendschutz in Gelb, betroffener Streckenabschnitt der Bahntrasse in Orange



9 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den geplanten Solarpark Lüdershagen. Für die Bahntrasse Meyenburg-Güstrow und den Feldweg tritt gemäß der durchgeführten Simulation potenzielle Blendung auf. Für den betroffenen Streckenabschnitt der Bahntrasse werden Blendschutzmaßnahmen in Form einer Sichtunterbrechung empfohlen. Mit Umsetzung der empfohlenen Blendschutzmaßnahmen wird eine Gefährdung des Verkehrs auf der Bahntrasse ausgeschlossen.

10 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.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)	3
Abbildung 2: Anlagenplanung (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 Bahntrasse	16
Abbildung 14: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt der Bahntrasse in Orange, PV-Fläche in Blau und betroffener Sichtbereich in Rot	16
Abbildung 15: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf den Feldweg	17
Abbildung 16: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt des Feldwegs in Orange, PV-Fläche in Blau und betroffener Sichtbereich in Rot	18
Abbildung 17: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf die Wohnbebauung Lüdershagen	18
Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf das Café Kölln	19
Abbildung 19: Empfohlener Blendschutz in Gelb, betroffener Streckenabschnitt der Bahntrasse in Orange	20