



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

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

Phone +49 (030) 29 38 12 80

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 Strasburg

Anlage: Solarpark Strasburg
Strasburg (Uckermark)
Mecklenburg-Vorpommern
Landkreis Vorpommern-Greifswald
17335

in Auftrag gegeben von: Landgut Durach KG
Stephan Selig
Wismarer Weg 6
17335 Strasburg

Projektnummer: A-LV230026

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 08.03.2023

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.....	15
	6.3 Sichtunterbrechung	16
	6.4 Ergebnisse.....	18
7	Auswertung	19
8	Blendschutzmaßnahmen.....	20
9	Schlussbemerkung.....	22
10	Literaturverzeichnis	23
11	Abbildungsverzeichnis.....	24



1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Strasburg 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 Stadt Strasburg (Uckermark) in Mecklenburg – Vorpommern. Der Solarpark unterteilt sich in zwei Flächen, siehe Abbildung 1. Die Flächen sind aufgrund unterschiedlicher Ausrichtungen der Module aufgeteilt. Die nördlich des Solarparks angrenzende Bahnstrecke und die Verkehrsstraße Kreisstraße UER5 sind in Sichtverbindung zum Solarpark.

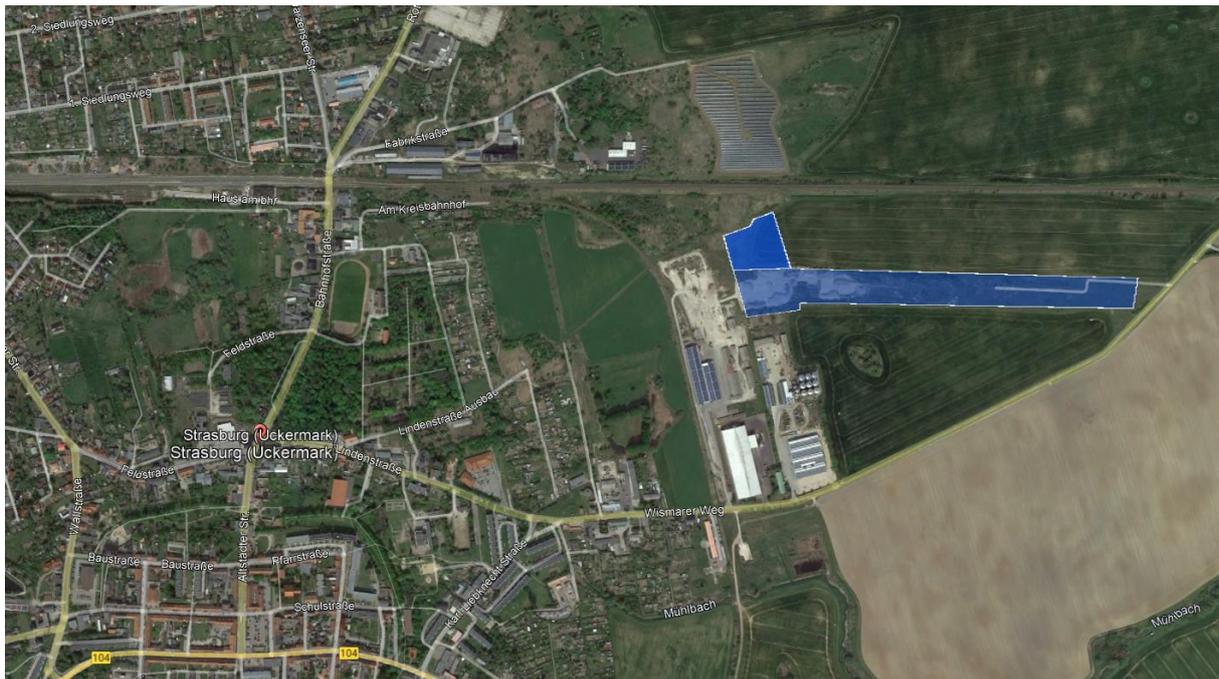


Abbildung 1: Das Gebiet der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage (blau) und angrenzende Stadt Strasburg sowie die nördlich angrenzende Bahnstrecke und Kreisstraße UER5

3 Beschreibung der PV – Anlage

Die Unterkonstruktion wird nach Angaben des Auftraggebers auf einen Modulneigungswinkel von 15° ausgelegt. Die Modulausrichtung ist in Südausrichtung mit 180° und Ost- / West-Ausrichtung mit 88° / 0° unterteilt. Dementsprechend werden auch die PV – Felder aufgeteilt. Eine technische Zeichnung der geplanten Unterkonstruktion wurde nicht zur Verfügung gestellt. Der Abstand der Modultische wird voraussichtlich 3 m betragen. Die mittlere angenommene Modulhöhe liegt bei 1,40 m. Abbildung 2 verdeutlicht die Belegungsplan. Dabei wird auch die Unterteilung der Flächen in Süd- und in Ost- / West-Ausrichtung deutlich.

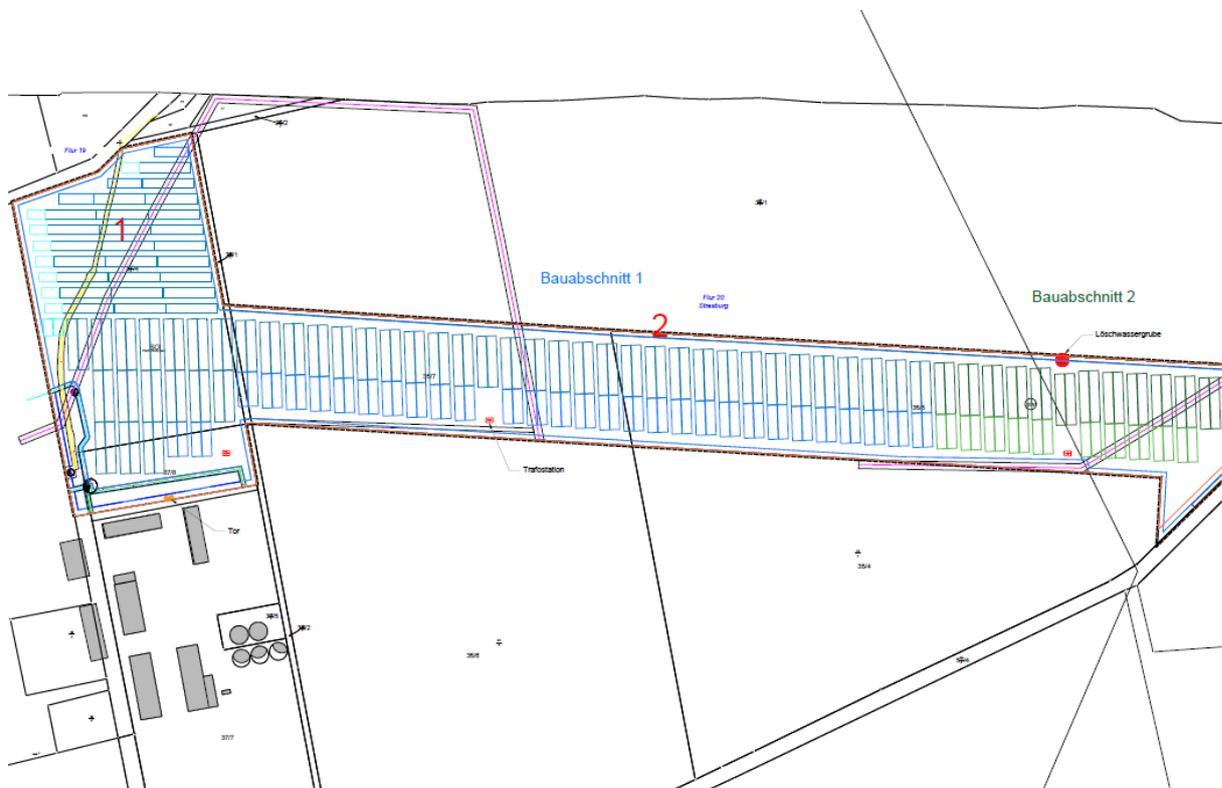


Abbildung 2: Belegungsplan des Solarparks Strasburg mit Südausrichtung und Ost- / Westausrichtung (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

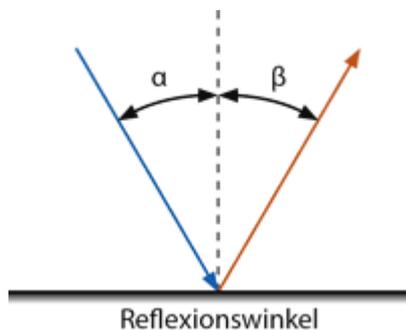


Abbildung 3: Reflexion eines Lichtstrahls

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 Lambertschen Gesetz zu sehen.

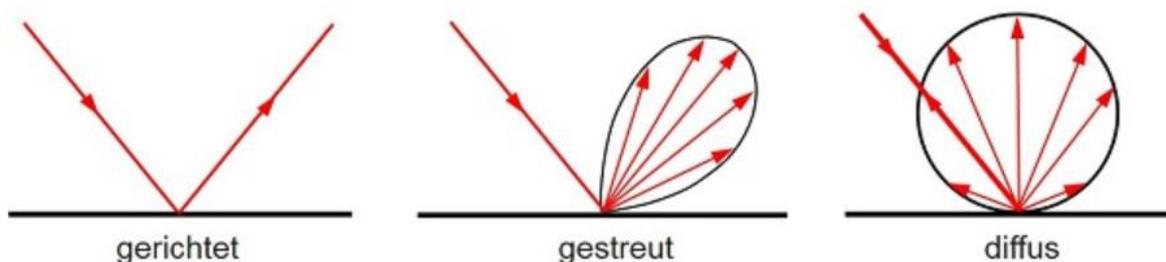


Abbildung 4: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

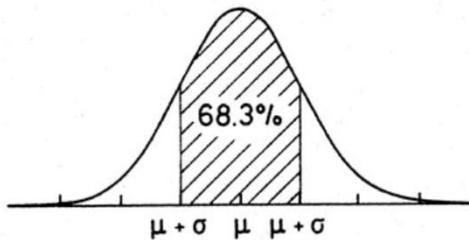


Abbildung 5: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

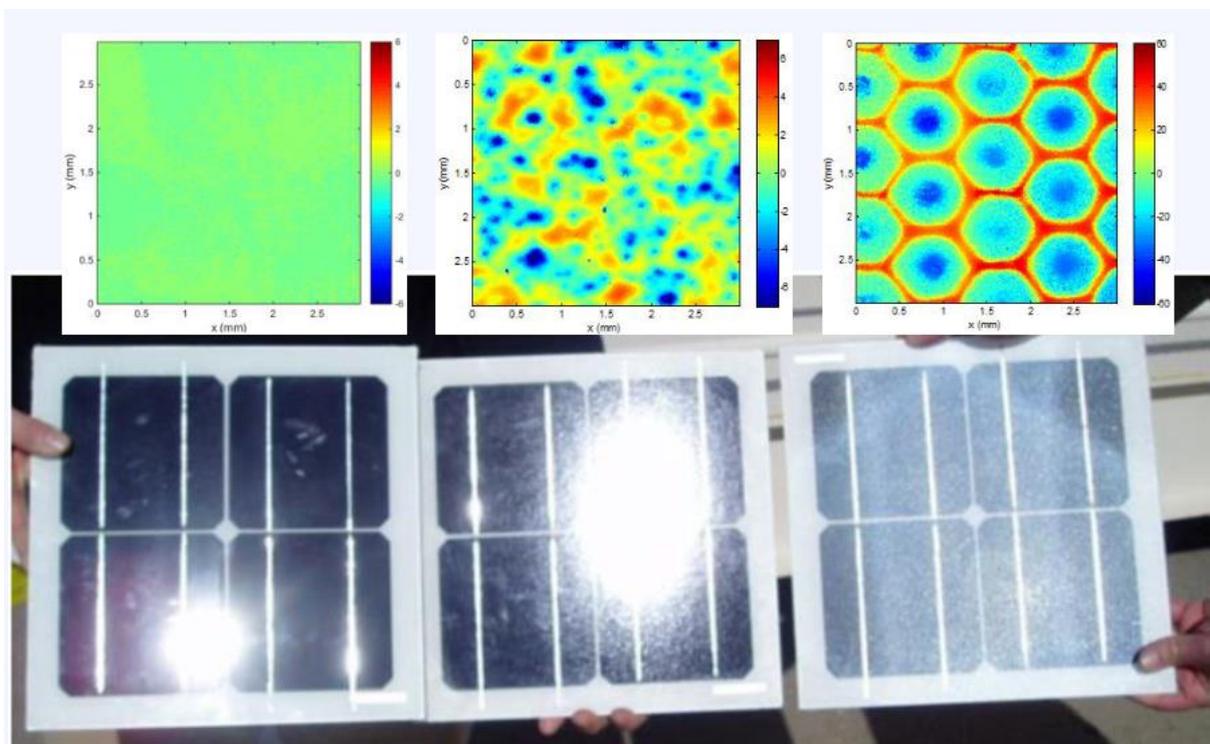


Abbildung 6: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

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 (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 8, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

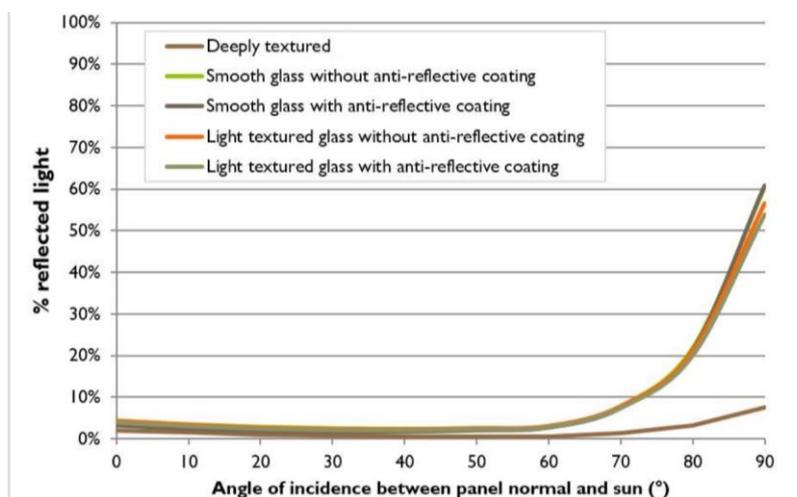


Abbildung 8 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

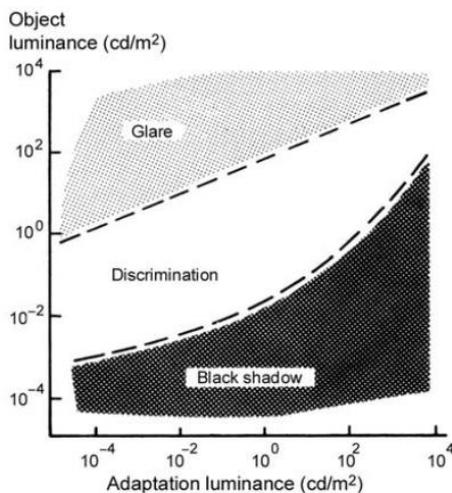


Abbildung 9: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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/m²]
- Der berechnete Reflexionsgrad des PV-Fläche [-]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der Raumwinkel des blendenden Bereichs der PV-Fläche aus Sicht des Beobachters [rad]
- Die Bestrahlungsstärke der Reflexion auf der Netzhaut [W/cm²]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [cd/m²]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 10 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle (angegeben als Sichtwinkel in Milli-rad), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

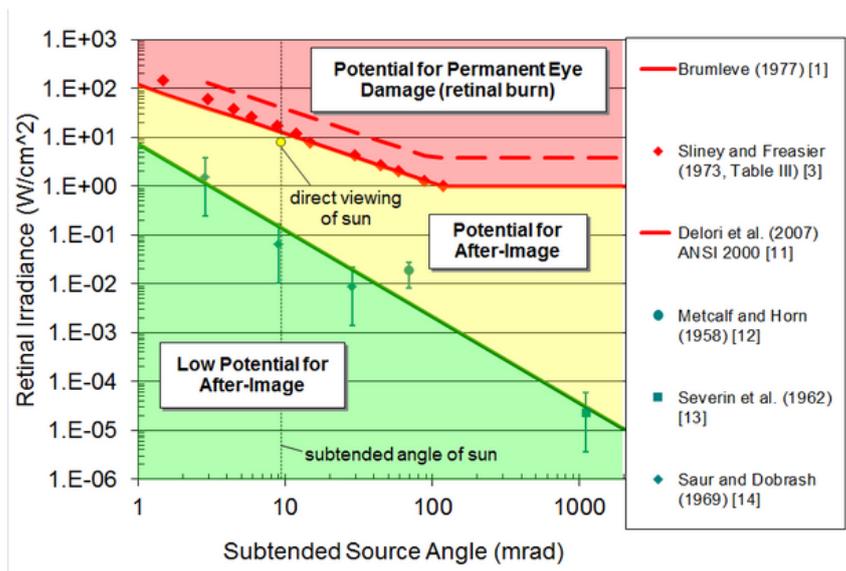


Abbildung 10: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

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.



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

Tabelle 1: Koordinaten, Modulneigungswinkel, Höhe ü. NN, die Untersuchungshöhe und die Gesamthöhe über NN des Solarparks Strasburg unterteilt in die PV – Flächen Ost 1, West 1 und Süd 2

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Modul Winkel [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV 1 Ost	1	53,5135138	13,7597854	15	58,2	1,4	59,6

PV 1 Ost	2	53,5131151	13,7733681	15	52,7	1,4	54,1
PV 1 Ost	3	53,5126111	13,7723113	15	53,6	1,4	55
PV 1 Ost	4	53,5128879	13,7619787	15	56,2	1,4	57,6
PV 1 Ost	5	53,5125118	13,7602812	15	56,9	1,4	58,3
PV 1 West	1	53,5135084	13,7597847	15	58,2	1,4	59,6
PV 1 West	2	53,5131148	13,773371	15	52,7	1,4	54,1
PV 1 West	3	53,512614	13,7723196	15	53,6	1,4	55
PV 1 West	4	53,5128845	13,7619867	15	56,2	1,4	57,6
PV 1 West	5	53,5125106	13,7602742	15	56,9	1,4	58,3
PV 2 Süd	1	53,5137904	13,7595808	15	58	1,4	59,4
PV 2 Süd	2	53,5140472	13,7593796	15	58,3	1,4	59,7
PV 2 Süd	3	53,5143191	13,7606363	15	56,6	1,4	58
PV 2 Süd	4	53,5144471	13,7606369	15	56,6	1,4	58
PV 2 Süd	5	53,514556	13,7615067	15	55,5	1,4	56,9
PV 2 Süd	6	53,5134618	13,7617534	15	55,8	1,4	57,2

PV 2 Süd	7	53,513489	13,7606859	15	57,5	1,4	58,9
PV 2 Süd	8	53,5135081	13,7597847	15	58,2	1,4	59,6

6.2 Immissionsorte

Die Bestimmung der Immissionsorte erfolgte anhand der vom Auftragsgeber zur Verfügung gestellten textlichen Beauftragung. Die Verortung der Bahnstrecke und der Kreisstraße UER5 ist nachfolgend dargestellt, siehe Abbildung 12.



Abbildung 12: Verortung der Kreisstraße UER5 und der Bahnstrecke

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 UER5 und der Bahnstrecke

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Sitzhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Bahn	1	53,5150674	13,7562333	59,4	3	62,4
Bahn	2	53,5150549	13,7589192	59	3	62

Bahn	3	53,5150456	13,7616052	58,6	3	61,6
Bahn	4	53,5150427	13,76431	57,6	3	60,6
Bahn	5	53,5150238	13,7669772	57,3	3	60,3
Bahn	6	53,5150036	13,7723357	55,5	3	58,5
Bahn	7	53,5149967	13,7750257	53,7	3	56,7
Bahn	8	53,5149898	13,7776782	53,8	3	56,8
Kreisstr. UER5	1	53,5142888	13,77588	51,5	3	54,5
Kreisstr. UER5	2	53,5132297	13,7742385	52,4	3	55,4
Kreisstr. UER5	3	53,5118756	13,7720015	54,9	3	57,9
Kreisstr. UER5	4	53,5114593	13,7706765	53	3	56

6.3 Sichtunterbrechung

Weiterhin wurde in der Simulation der geplante Wall, der direkt an die Kreisstraße UER5 grenzt, mit einer Höhe von 3 m berücksichtigt. Der geplante Wall ist in Abbildung 13 orange dargestellt. Tabelle 3 verdeutlicht die Koordinaten und Abmessungen des Walls.



Abbildung 13: Geplanter Wall

Tabelle 3: Abmessungen des geplanten Walls zwischen Solarpark und Kreisstraße UER5

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]
Wall	1	53,5122014	13,7722806	54,8
Wall	2	53,5133211	13,7741152	51

6.4 Ergebnisse

Tabelle 4 stellt die Simulationsergebnisse der potenziellen Blendung auf die Kreisstraße und der Bahnstrecke dar. Für die PV – Flächen PV 1 West und PV 2 Süd wurde keine potenzielle Blendwirkung auf den Straßenverkehr oder die Bahnstrecke festgestellt. Für die nach Osten ausgerichtete Fläche PV 1 Ost wurde potenzielle Blendung in Richtung der Kreisstraße UER5 ermittelt. Die über ein Jahr auftretenden Blendminuten sind aus der Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse (potenzielle Blendung) der PV - Flächen auf die Kreisstraße UER5 und Bahnstrecke

	Blendminuten (min)	Blendminuten (min)
PV - Fläche	Kreisstraße UER5	Bahnstrecke
PV 1 Ost	776	0
PV 1 West	0	0
PV 2 Süd	0	0

7 Auswertung

Dieses Kapitel wertet die Simulationsergebnisse hinsichtlich auftretender Blendung und unter Berücksichtigung der Grenzwerte aus. Nachfolgend ist die Auswertung der Blendwirkung auf den Straßenverkehr dargestellt. Die Auswertung bezieht auf die PV – Fläche 1 Ost. Diese PV – Fläche stellt die nach Osten ausgerichteten Module dar. Für die PV – Flächen 1 West und Süd 2 wurde keine potenzielle Blendung in Richtung des Straßenverkehrs oder der Bahnstrecke ermittelt. Aus diesem Grund werden diese Flächen in diesem Kapitel nicht weiter berücksichtigt.

PV Ost 1

Abbildung 14 verdeutlicht auf Basis der Simulationsergebnisse die grafische Auswertung für die PV – Fläche 1 Ost für die ermittelte Blendung auf die Kreisstraße UER5. 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 Anfang April bis Mitte Mai und Anfang August bis Mitte September Jahr zwischen 15:56 Uhr und 17:05 Uhr auf. Rechts in der Abbildung ist die tägliche Dauer der Blendung dargestellt. Diese erreicht bis zu 15 Minuten pro Tag.

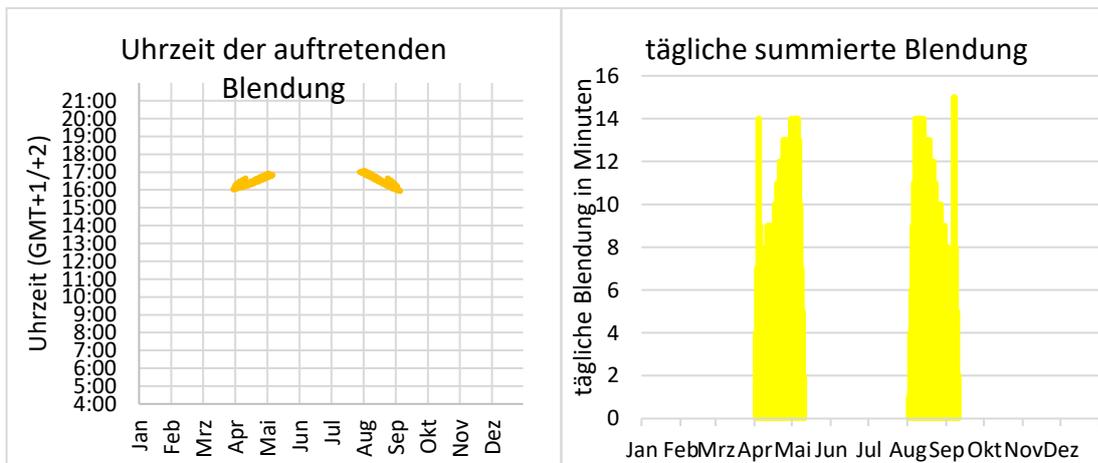


Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche 1 Ost auf die Kreisstraße UER5

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.

Zur Eingrenzung des schutzwürdigen Bereichs der PV – Fläche 1 Ost auf die Kreisstraße UER5 kann Abbildung 15 herangezogen werden. Die ermittelten Blendwinkel, ausgehend von dem Solarpark, liegen zwischen 57 und 73°. Die Blendwinkel sind gelb eingezeichnet. Bei der geplanten Bebauung ist die Mindesthöhe des Blendschutzzauns im dunkel - orange dargestellten Bereich so zu wählen, dass eine Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen und Straßenverkehr gewährleistet ist und somit eine Gefährdung durch Blendung in diesem Bereich zu verhindert. Die Höhe des Blendschutzzauns sollte so gewählt werden, dass die Höhe der Moduloberkante der Tische nicht von der Verkehrsstraße einsichtbar ist. Bei einer geplanten Bepflanzung ist zu berücksichtigen, dass die Anwuchszeit überbrückt werden muss um eine Sichtunterbrechung zu gewährleisten. Alternativ führt die Drehung der Module in Südausrichtung in dem Bereich des Blendschutzzauns zu einer Vermeidung der Blendwirkung auf den Straßenverkehr.



Abbildung 15: Potenzielle Blendung ausgehend von PV – Fläche Ost 1 auf die Kreisstraße UER5. Blau dargestellt ist die PV – Fläche, hell-orange markiert der Bereich, für den ein Wall geplant ist, dunkel-orange der Bereich, der die notwendige Länge des Sichtschutzauns darstellt und die gelben Linien, die die Reflexionswinkel, ausgehend vom Solarpark, verdeutlichen



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 UER5 nicht auszuschließen ist. Durch eine Sichtunterbrechung oder eine Drehung der Module in Südausrichtung in den relevanten Bereichen kann die Blendung ausgeschlossen werden. Der Auftraggeber plant sowieso einen 3 m hohen Wall zu installieren, der für die relevanten Bereiche erweitert werden müsste. Für die Bahnstrecke wurde keine potenzielle Blendung, ausgehend von dem Solarpark, ermittelt.

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 Blendbewertung 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: Das Gebiet der geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage (blau) und angrenzende Stadt Strasburg sowie die nördlich angrenzende Bahnstrecke und Kreisstraße UER5	4
Abbildung 2: Belegungsplan des Solarparks Strasburg mit Südausrichtung und Ost-/Westausrichtung (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 UER5 und der Bahnstrecke.....	15
Abbildung 13: Geplanter Wall.....	17
Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche 1 Ost auf die Kreisstraße UER5	19
Abbildung 15: Potenzielle Blendung ausgehend von PV – Fläche Ost 1 auf die Kreisstraße UER5. Blau dargestellt ist die PV – Fläche, hell-orange markiert der Bereich, für den ein Wall geplant ist, dunkel-orange der Bereich, der die notwendige Länge des Sichtschutzauns darstellt und die gelben Linien, die die Reflexionswinkel, ausgehend vom Solarpark, verdeutlichen.....	21