



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

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

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

Anlage: Solarpark Kraußnitz
51° 22' 5.44" N, 13° 45' 39.74" E
51.368223°, 13.759123°
01561
Schönfeld OT Kraußnitz

in Auftrag gegeben von: Elektroinstallation R. Mittag GmbH
Elsterwerdaer Str. 25-27
01990 Großkmehlen

Projektnummer: A-LV23/0083 & A-LV23/0149

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 30.08.2023

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	4
3	Beschreibung der PV – Anlage	5
4	Grundlagen der Optik	7
	4.1 Geometrische Reflexionssituation	7
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen	8
	4.3 Blendung.....	10
5	Methodik der Untersuchung	11
	5.1 Bewertungsbasis	11
	5.2 Simulationstool und Modellierung	12
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	13
6	Simulation.....	14
	6.1 PV - Anlage.....	14
	6.2 Immissionsorte.....	17
7	Ergebnisse	19
8	Schlussbemerkung.....	22
9	Literaturverzeichnis	23
10	Abbildungsverzeichnis.....	24



1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Kraußnitz 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 Kraußnitz. Kraußnitz ist ein Ortsteil der sächsischen Gemeinde Schönfeld im Landkreis Meißen. Es ist etwa 8 km nordöstlich von Schönfeld entfernt. Östlich des geplanten Solarparks liegt eine Bahnstrecke und Wohngebäude. Eine Übersicht der Umgebung ist in Abbildung 1 gegeben.



Abbildung 1: Geplanter Solarpark und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Bebauungsplan des Solarparks ist in Abbildung 2 zu sehen. Es ist eine DC-Nennleistung von 763,5 kWp geplant. Die Modulflächen des nördlichen und südlichen PV - Feldes sind 180° nach Süd ausgerichtet mit einem Neigungswinkel von 25°. Die Modulunterkante wird 0,8 m über dem Boden liegen, die Moduloberkante liegt bei 2,28 m. Die mittlere Höhe der Module liegt somit bei 1,50 m. Eine Darstellung der Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 gegeben. Die Modulflächen PV – Flächen auf dem Dach sind entsprechend der Ausrichtung des Daches orientiert. Die Gebäudehöhe an der Traufe beträgt nach einer textlichen Angabe des Auftraggebers 3,5 m. Die nach Nordwesten ausgerichtete Dachfläche entspricht einem ungefähren Azimut 302° und die nach Südosten ausgerichtete Dachfläche einen Azimut von 122°. Der Neigungswinkel der Module liegt bei ca. 5°.



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

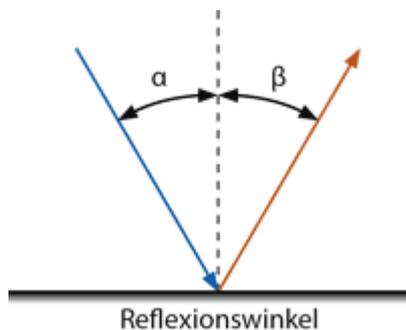


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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.

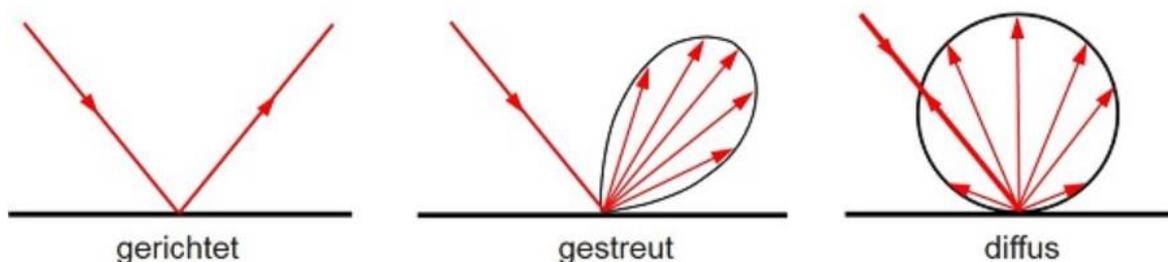


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

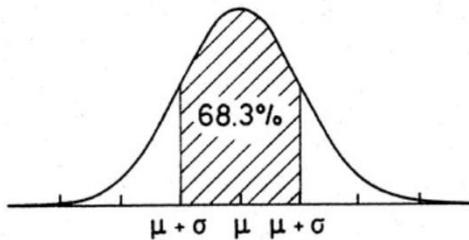


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

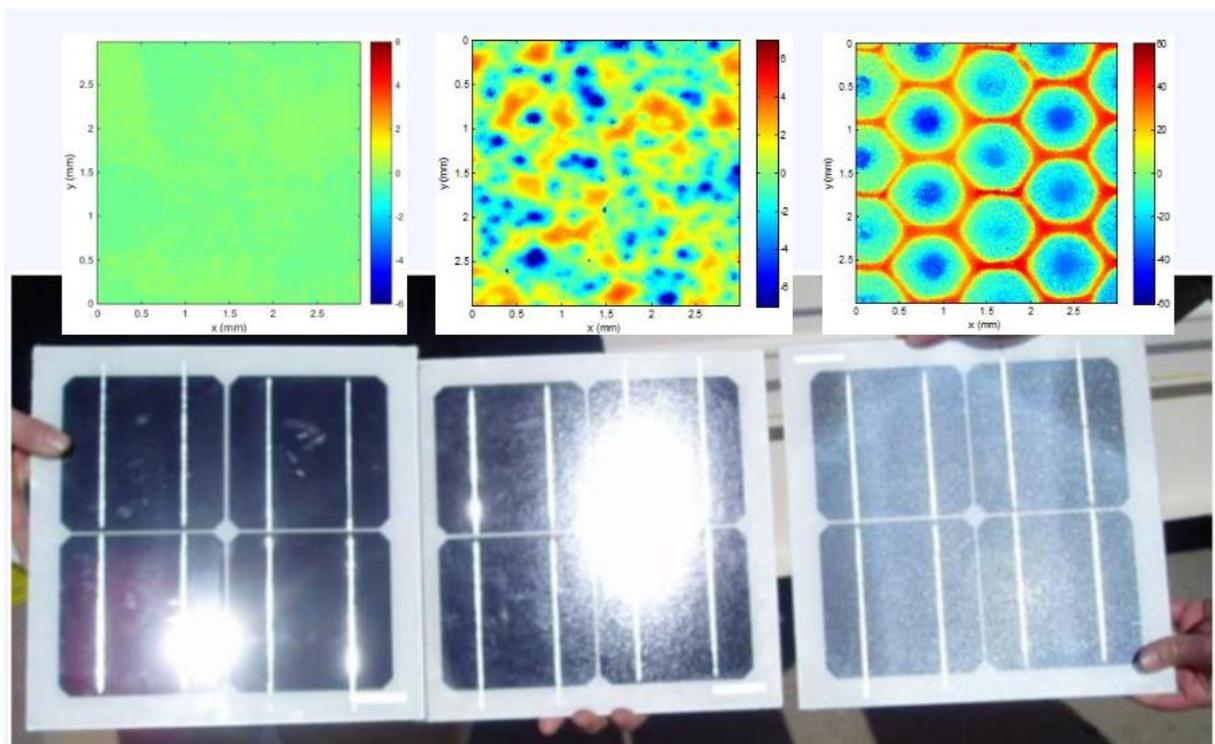


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

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.

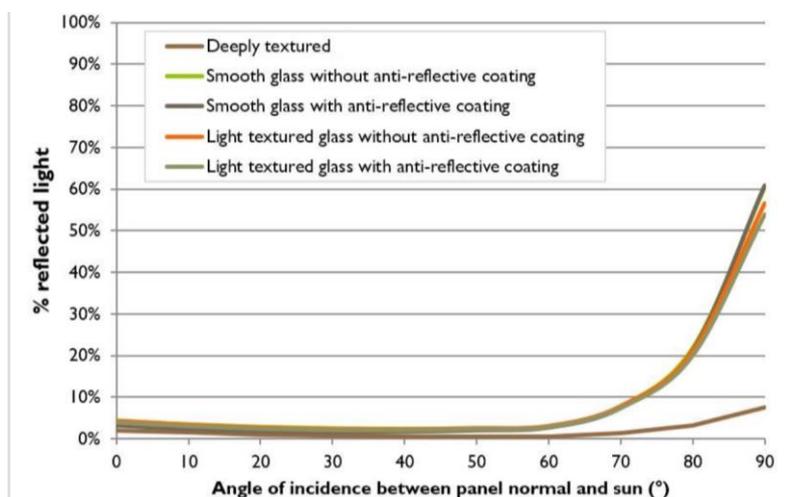


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

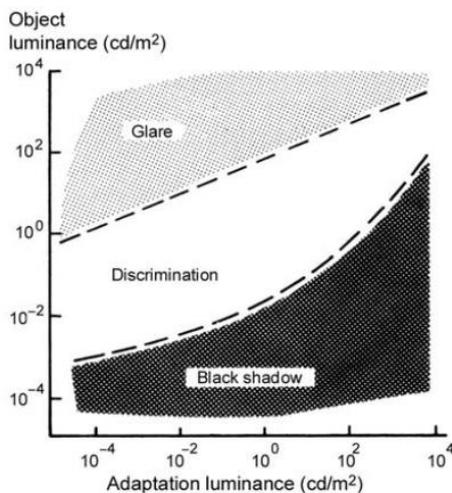


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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 2,5 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 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.

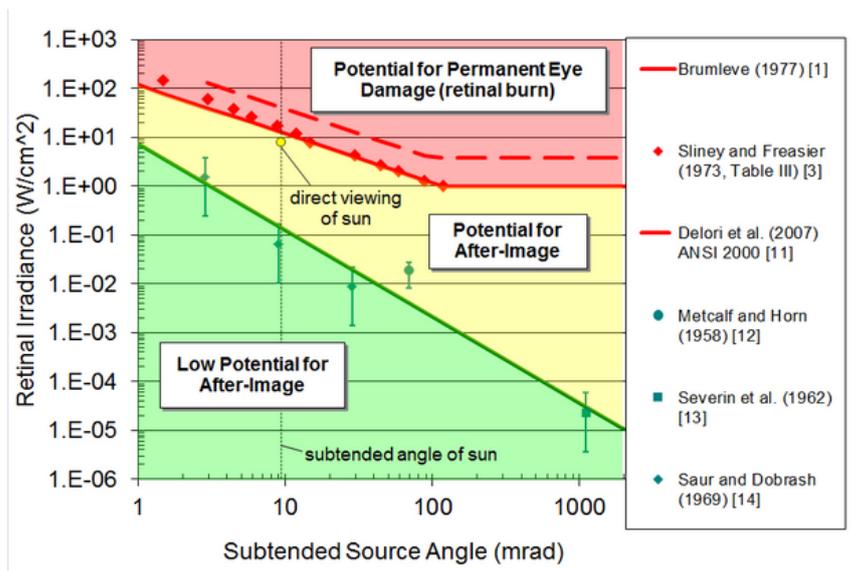


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

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 1,5 m bzw. 3,5 m für die Dachflächen. Die PV – Anlage ist in vier PV – Felder unterteilt. PV – Feld Nord, PV – Feld Süd und PV – Feld Dach Südost und Nordwest. 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 [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV Dach Nord West	1	51,3681587	13,7595509	120,1	3,5	123,6
PV Dach Nord West	2	51,3685899	13,7599693	119,2	3,5	122,7
PV Dach Nord West	3	51,3686167	13,7598942	119,1	3,5	122,6
PV Dach Nord West	4	51,3681889	13,7594785	119,8	3,5	123,3
PV Dach Sued Ost	1	51,3681533	13,759557	120,2	3,5	123,7
PV Dach Sued Ost	2	51,3685862	13,7599768	119,2	3,5	122,7
PV Dach Sued Ost	3	51,3685544	13,7600532	119,1	3,5	122,6
PV Dach Sued Ost	4	51,3681261	13,7596287	120,1	3,5	123,6
PV Feld Nord	1	51,3689032	13,7605057	118,2	1,5	119,7
PV Feld Nord	2	51,3693221	13,7608834	118,1	1,5	119,6
PV Feld Nord	3	51,3694013	13,760406	120,1	1,5	121,6
PV Feld Nord	3	51,3694013	13,760406	120,1	1,5	121,6
PV Feld Nord	3	51,3694013	13,760406	120,1	1,5	121,6
PV Feld Nord	3	51,3694013	13,760406	120,1	1,5	121,6



PV Feld Nord	4	51,3695074	13,7598642	121,4	1,5	122,9
PV Feld Nord	5	51,3693425	13,7597569	119,8	1,5	121,3
PV Feld Nord	6	51,3692202	13,7602705	119,2	1,5	120,7
PV Feld Nord	7	51,3690438	13,7600882	117,5	1,5	119
PV Feld Sued	1	51,367191	13,7586387	123,9	1,5	125,4
PV Feld Sued	2	51,3673409	13,758534	124,4	1,5	125,9
PV Feld Sued	2	51,3673409	13,758534	124,4	1,5	125,9
PV Feld Sued	2	51,3673409	13,758534	124,4	1,5	125,9
PV Feld Sued	2	51,3673409	13,758534	124,4	1,5	125,9
PV Feld Sued	3	51,3675042	13,7583865	124,2	1,5	125,7
PV Feld Sued	4	51,3678617	13,7587312	120,5	1,5	122
PV Feld Sued	4	51,3678617	13,7587312	120,5	1,5	122
PV Feld Sued	4	51,3678617	13,7587312	120,5	1,5	122
PV Feld Sued	4	51,3678617	13,7587312	120,5	1,5	122
PV Feld Sued	5	51,3682058	13,7590544	120,5	1,5	122
PV Feld Sued	6	51,3680869	13,7593293	120,7	1,5	122,2
PV Feld Sued	6	51,3680869	13,7593293	120,7	1,5	122,2
PV Feld Sued	6	51,3680869	13,7593293	120,7	1,5	122,2
PV Feld Sued	6	51,3680869	13,7593293	120,7	1,5	122,2
PV Feld Sued	7	51,3679814	13,7595828	120	1,5	121,5
PV Feld Sued	8	51,3675929	13,7591215	121,2	1,5	122,7
PV Feld Sued	8	51,3675929	13,7591215	121,2	1,5	122,7
PV Feld Sued	8	51,3675929	13,7591215	121,2	1,5	122,7
PV Feld Sued	8	51,3675929	13,7591215	121,2	1,5	122,7

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte wird die Bahntrasse östlich des Solarparks untersucht sowie die Wohngebäude östlich der Bahntrasse. 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. Die Wohngebäude sind in der Regel zur Ortrander Str. ausgerichtet während die Vorgärten in Richtung des geplanten Solarparks ausgerichtet sind. Aus diesem Grund wurde für die Untersuchungshöhe der Wohngebäude bzw. Vorgärten 2 m angenommen. Vor-Ort-Aufnahmen wurden nicht zur Verfügung gestellt. Sichtunterbrechungen wurden aus diesem Grund nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Sitzhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Bahnstrecke	1	51,3698413	13,7615609	116,8	3	119,8
Bahnstrecke	2	51,3691883	13,7609547	116,7	3	119,7
Bahnstrecke	3	51,3685352	13,7603486	117	3	120
Bahnstrecke	4	51,3680111	13,7598416	118,4	3	121,4
Bahnstrecke	5	51,3675137	13,759324	120	3	123
Bahnstrecke	6	51,3669846	13,7586668	121,8	3	124,8
Bahnstrecke	7	51,3664688	13,7580311	122,4	3	125,4
Wohngebäude	OP1	51,3687678	13,761144	116,1	2	118,1
Wohngebäude	OP2	51,3684145	13,7608597	116,9	2	118,9
Wohngebäude	OP3	51,3681983	13,760864	117,5	2	119,5
Wohngebäude	OP4	51,3680702	13,7605689	117	2	119
Wohngebäude	OP5	51,3678954	13,7604294	117,3	2	119,3
Wohngebäude	OP6	51,3677608	13,7603227	117,4	2	119,4
Wohngebäude	OP7	51,3675455	13,7601132	118,4	2	120,4
Wohngebäude	OP8	51,3673412	13,7599442	119,7	2	121,7



Wohngebäude	OP9	51,3672123	13,7598271	120,1	2	122,1
Wohngebäude	OP10	51,3669042	13,7595052	119,9	2	121,9
Wohngebäude	OP11	51,366761	13,7593898	120,3	2	122,3

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. In Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 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. Für die Bahnstrecke wurde keine potenzielle Blendung ermittelt. Für die Wohngebäude OP1 – OP9 wurde potenzielle Blendung ermittelt, allerdings ohne Überschreitung der Grenzwerte.

Tabelle 3: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Minuten über ein Jahr auf die Bahnstrecke unterteilt in die einzelnen PV - Felder

PV – Feld	Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten
PV – Feld Süd	Bahnstrecke östlich	0
PV – Feld Nord	Bahnstrecke östlich	0
PV – Feld Dach Süd Ost	Bahnstrecke östlich	0
PV – Feld Dach Nord West	Bahnstrecke östlich	0

Tabelle 4: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Minuten über ein Jahr auf die Wohngebäude unterteilt in die einzelnen PV – Felder

PV Feld	Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten	PV Feld	Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten
PV Dach	OP 1	0		OP 1	0
	OP 2	0		OP 2	208



Nord West	OP 3	0	PV Dach Süd Ost	OP 3	383
	OP 4	0		OP 4	298
	OP 5	0		OP 5	151
	OP 6	0		OP 6	0
	OP 7	0		OP 7	0
	OP 8	0		OP 8	0
	OP 9	0		OP 9	0
	OP 10	0		OP 10	0
	OP 11	0		OP 11	0
PV - Feld	Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten	PV - Feld	Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten
PV Feld Nord	OP 1	1296	PV Feld Süd	OP 1	0
	OP 2	0		OP 2	0
	OP 3	0		OP 3	0
	OP 4	0		OP 4	6
	OP 5	0		OP 5	11
	OP 6	0		OP 6	1191
	OP 7	0		OP 7	1207
	OP 8	0		OP 8	1000
	OP 9	0		OP 9	1171
	OP 10	0		OP 10	0
	OP 11	0		OP 11	0

Tabelle 5: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Minuten über ein Jahr auf die Wohngebäude kumuliert für alle PV - Felder

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Minuten für alle PV - Felder
OP 1	1296
OP 2	208
OP 3	383
OP 4	304
OP 5	162
OP 6	1191
OP 7	1207
OP 8	1000
OP 9	1171
OP 10	0
OP 11	0



8 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den geplanten Solarpark Kraußnitz. Für die östlich des geplanten Solarparks verlaufende Bahntrasse wurde durch das Gutachten keine potenzielle Blendung ermittelt. Für die angrenzenden Wohngebäude wurden keine grenzwertüberschreitende Blendung ermittelt. Somit sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

9 Literaturverzeichnis

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

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

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

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

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

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

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

Schierz, Christoph. *Über die 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.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplanter Solarpark und Umgebung (Quelle: Google Earth)	4
Abbildung 2: Bebauungsplan (Quelle: Auftraggeber).....	5
Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)	6
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	7
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)	7
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	8
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)	8
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)	9
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)	9
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	10
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)	13
Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulation.....	14