



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

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

Phone +49 (030) 29 38 12 60

Fax +49 (030) 29 38 12 61

Email dgs@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

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

Anlage: PV-Freiflächenanlage an der A20 zwischen Lindow
und Badresch
53°33'9.59"N, 13°36'45.16"E
17349, Groß Miltzow

in Auftrag gegeben von: BA Wind
Björn Blocksdorf
Vattenfall Solar GmbH
Überseering 12
22297, Hamburg

Projektnummer: A-GmbH22/0059

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 05.10.2022

Handelsregister:
Amtsgericht
Charlottenburg
HRB 90823 B

Bankverbindung:
Bank für Sozialwirtschaft
BLZ 100 205 00
Konto 130 96 00

U-ID-Nr.: DE 813844044
Steuer-Nr.: 37/259/32257
BIC: BFSWDE33BER
IBAN: DE 84 1002 0500 00013 09600

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 Straßenverkehr	15
	6.3 Sichtunterbrechungen	16
7	Auswertung	17
8	Schlussbemerkung	20
9	Literaturverzeichnis.....	21
10	Abbildungsverzeichnis	22

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des an der A20 zwischen den Ortschaften Lindow und Badresch geplanten Solarparks 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

Der geplante Solarpark liegt an der A20 zwischen den Ortschaften Lindow im Nordwesten und Badresch im Süden, siehe Abbildung 1. Die übergeordnete Gemeinde ist Groß Miltzow. Im Westen befindet sich die Autobahn Auf/Abfahrt zum/vom Rastplatz Brohmer Berge. Zwischen den PV-Flächen liegt die MSE110, welche die A20 überbrückt und die Ortschaften Lindow und Badresch verbindet.



Abbildung 1: Umgebung der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)

3 Beschreibung der PV – Anlage

Die PV-Flächen umfassen eine Fläche von rund 10 ha mit einer geplanten Anlagennennleistung von ca. 12 MWp. Der Solarpark wird in sechs PV-Flächen entlang der A20 unterteilt, welche leicht unterschiedliche Azimut Ausrichtungen aufweisen. Der derzeitige Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt.

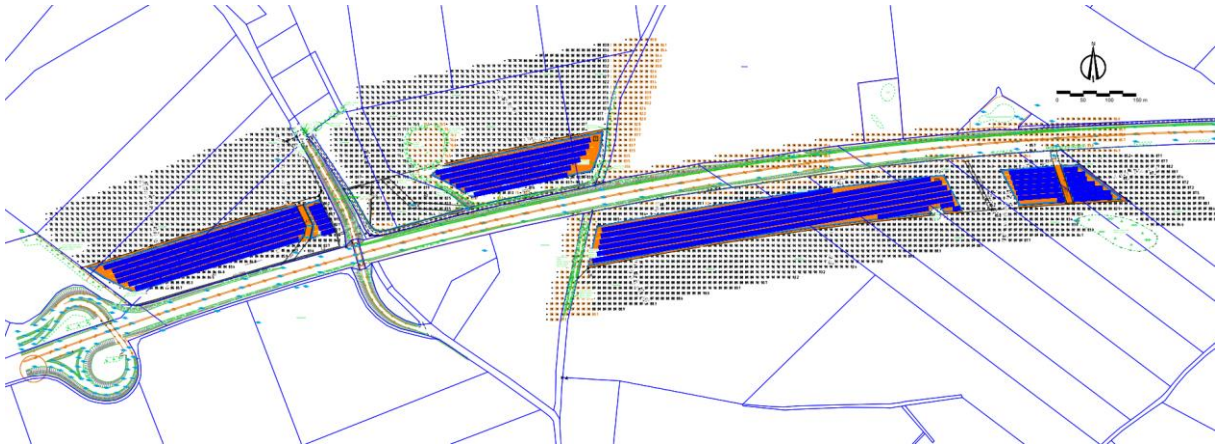


Abbildung 2: Belegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

Als Unterkonstruktion wird nach Angaben des Auftraggebers voraussichtlich ein 2-Pfeiler-System mit drei vertikal ausgerichteten Modulen verwendet werden mit einer Modulneigung von 13° . Die untere Modulkante liegt auf einer Höhe von 0,8 m die obere Modulkante auf einer Höhe 2,37 m, die Tischbreite beträgt 7,19 m, der Abstand der Modultische wird voraussichtlich 2,34 m betragen. Die Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 dargestellt. Für die Simulation ergibt sich hiermit eine mittlere Modulhöhe von ca. 1,6 m.

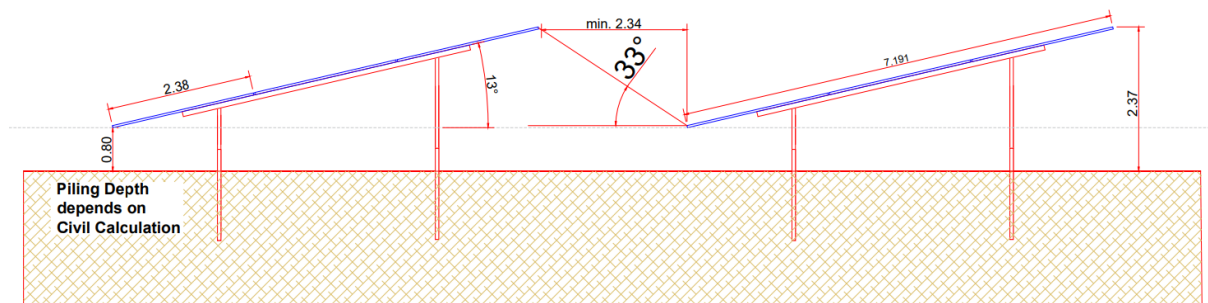


Abbildung 3: geplante Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

4 Grundlagen der Optik

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

4.1 Geometrische Reflexionssituation

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

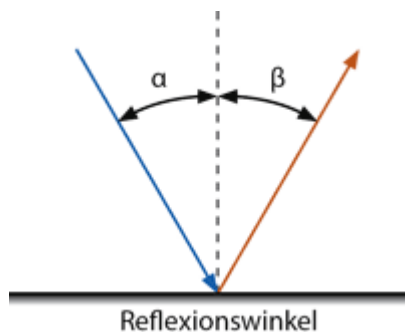


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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.

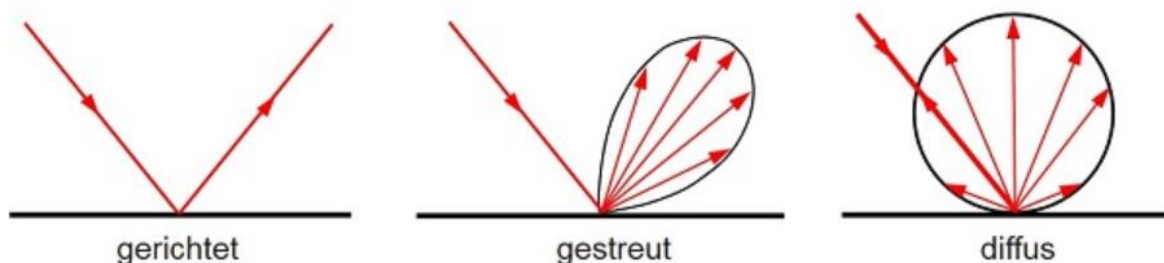


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

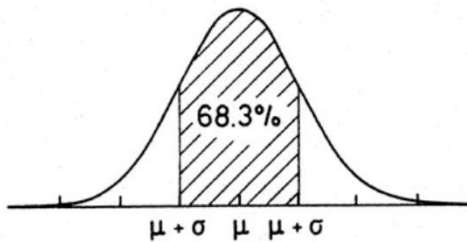


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

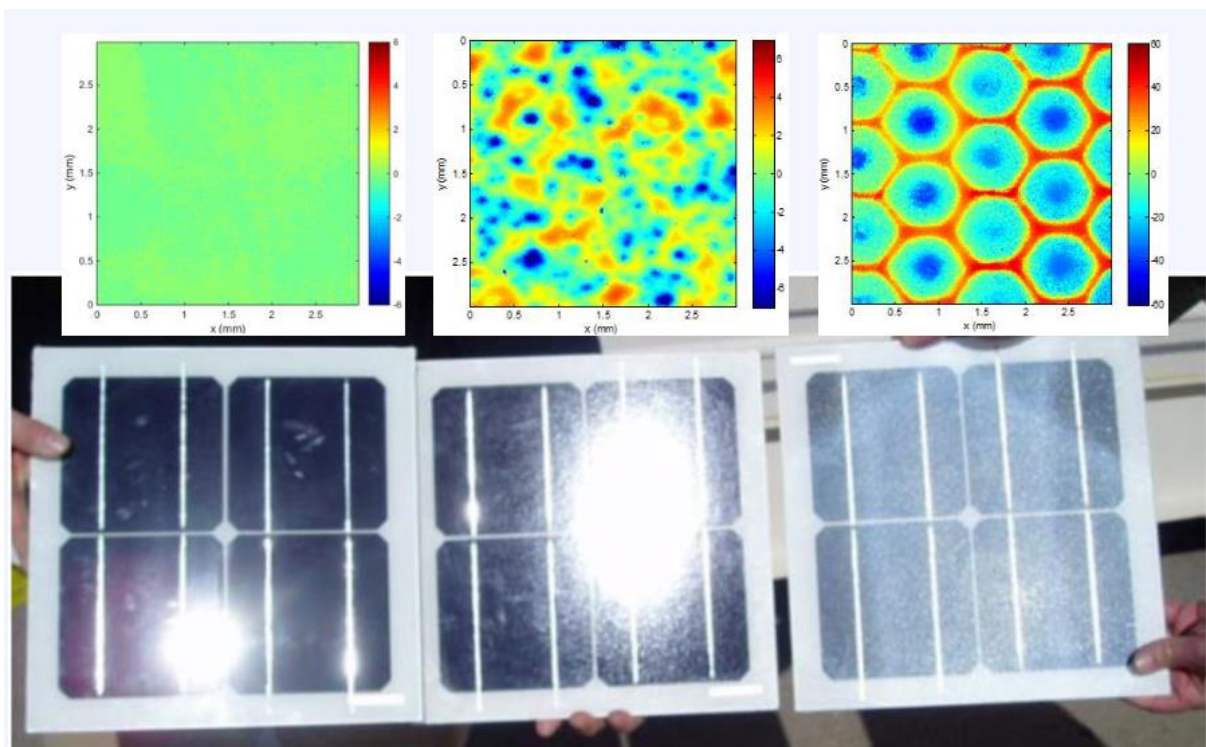


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiertes Glas mit Anti-Reflexionsschicht, recht: tief strukturiertes Glas (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweitung 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.

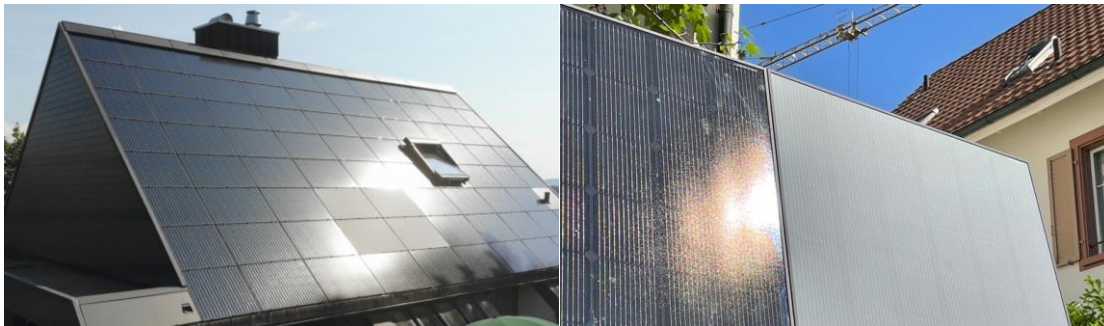


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

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.

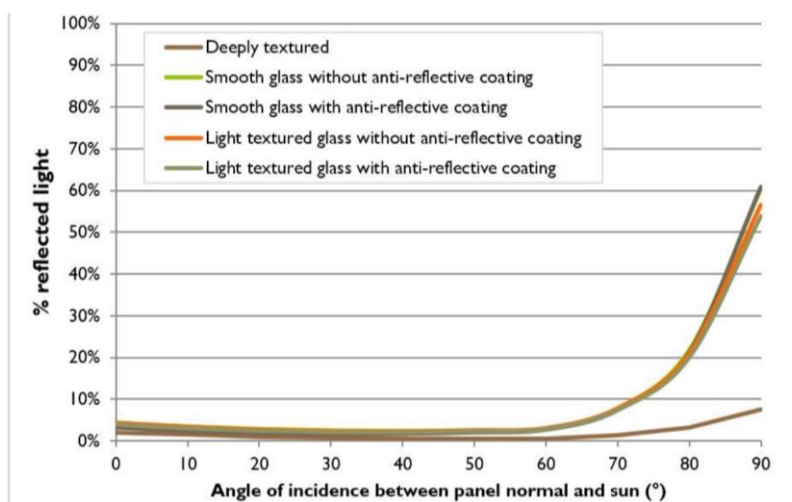


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

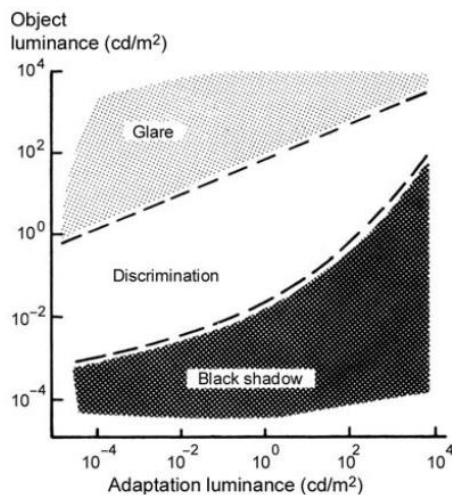


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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 auf 4 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.

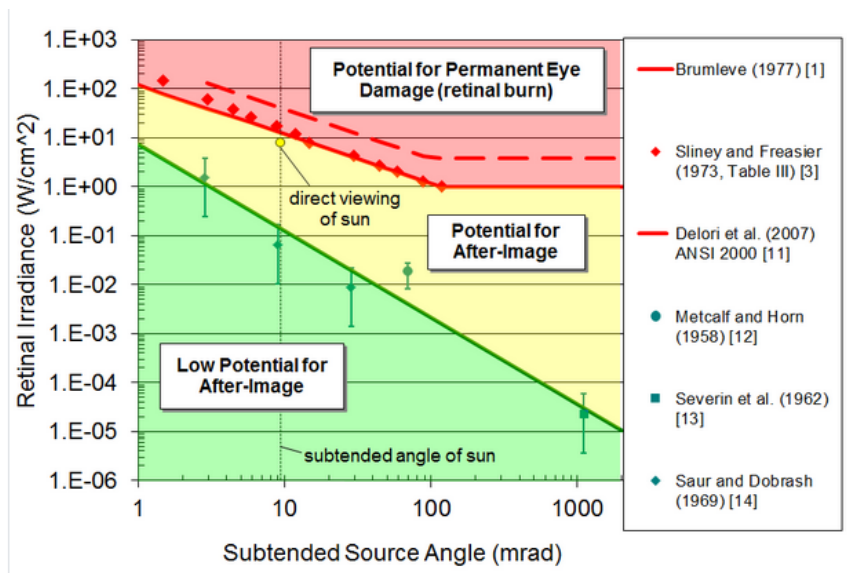


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

6 Simulation

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter und Ergebnisse dar. Nachfolgend werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen, sowie den angrenzenden Straßenverkehr beschrieben und dargestellt.

6.1 PV - Anlage

Für die Simulation wurden 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 und Sattelitendaten und ist in Abbildung 12 zu sehen. Die Ausrichtung der einzelnen PV-Flächen ist in Tabelle 1 gegeben. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 2 aufgeführt.



Abbildung 12: Anlage des geplanten Solarparks in der Simulationssoftware „ForgeSolar“
oben: westlicher Teil mit PV-Feldern 1 & 2,
unten: östlicher Teil des Solarparks mit PV-Feldern 3-6

Tabelle 1: Ausrichtung der PV-Felder

PV-Fläche	Neigungswinkel in grad [°]	Azimut in grad [°]
PV-Feld-1	13	163
PV-Feld-2	13	165
PV-Feld-3	13	168
PV-Feld-4	13	170
PV-Feld-5	13	176
PV-Feld-6	13	177

Tabelle 2 Koordinaten der PV-Flächen

Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV-Feld-1					
1	53,55136909	13,59851206	78,8	1,6	80,4
2	53,55094521	13,59954203	85,5	1,6	87,1
3	53,55180889	13,60403741	84,0	1,6	85,6
4	53,55202560	13,60421444	82,0	1,6	83,6
5	53,55241760	13,60389257	79,3	1,6	80,9
PV-Feld-2					
1	53,55250683	13,60472406	80,0	1,6	81,6
2	53,55243672	13,60427345	79,3	1,6	80,9
3	53,55189175	13,60470260	82,4	1,6	84,0
4	53,55198736	13,60517467	84,2	1,6	85,8
PV-Feld-3					
1	53,55267197	13,60905836	81,9	1,6	83,5
2	53,55296676	13,60811422	79,1	1,6	80,7
3	53,55305122	13,60810885	78,1	1,6	79,7
4	53,55359298	13,61235211	82,9	1,6	84,5
5	53,55328067	13,61223141	82,8	1,6	84,4
6	53,55306715	13,61190418	82,8	1,6	84,4
PV-Feld-4					
1	53,5521604	13,61277688	91	1,6	92,6
2	53,55298263	13,62049627	89,5	1,6	91,1
3	53,55316747	13,62270641	89,4	1,6	91,0
4	53,55254921	13,62309265	88,0	1,6	89,6
5	53,55206798	13,61824322	94,9	1,6	96,5
6	53,55146266	13,61255729	91,0	1,6	92,6
PV-Feld-5					
1	53,55274816	13,62634274	85,1	1,6	86,7
2	53,55267646	13,62487289	86,7	1,6	88,3
3	53,55325488	13,62456711	86,3	1,6	87,9
4	53,55335048	13,62612816	85,9	1,6	87,5
PV-Feld-6					
1	53,55334889	13,62631591	86,3	1,6	87,9
2	53,55275294	13,62651172	85,6	1,6	87,2
3	53,55284536	13,6281425	86,3	1,6	87,9
4	53,55337279	13,62676653	86,6	1,6	88,2

6.2 Straßenverkehr

Es werden die Kreisstraße MSE110, die A20 in Fahrtrichtung Westen und Osten, die Abfahrt von der A20 (bei Fahrtrichtung Osten) zum Rastplatz Brohmer Berge, sowie die Auffahrt vom Rastplatz auf die A20 (in Fahrtrichtung Osten) gemäß Abbildung 12 abgebildet und untersucht. Die für die Simulation verwendeten Koordinaten sind in Tabelle 3 dargestellt. Als Untersuchungshöhe werden 3 m angesetzt, um auch eine mögliche Blendung von Lastkraftfahrzeugen zu erfassen. Gemäß den LAI-Richtlinien wird Blendung innerhalb des Blickwinkels in Fahrtrichtung von +/-30° betrachtet.

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Straßenabschnitte

Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Untersuchungs- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
A20 Richtung Osten					
1	53,55015	13,59869	82,8	3	85,8
2	53,5506	13,60085	84,3	3	87,3
3	53,55102	13,60293	85,2	3	88,2
4	53,55142	13,60498	86,3	3	89,3
5	53,55172	13,60691	86,9	3	89,9
6	53,55200	13,60852	86,9	3	89,9
7	53,55228	13,61036	87,8	3	90,8
8	53,55255	13,61232	87,7	3	90,7
9	53,55278	13,61415	87,9	3	90,9
10	53,55299	13,61597	87,8	3	90,8
11	53,55318	13,61788	87,3	3	90,3
12	53,55336	13,61975	86,7	3	89,7
13	53,55355	13,62215	86,8	3	89,8
14	53,55365	13,62407	85,8	3	88,8
15	53,55377	13,62606	85,8	3	88,8
16	53,55387	13,62805	86,5	3	89,5
17	53,55394	13,63012	86,2	3	89,2
A20 Richtung Westen					
1	53,55407	13,63271	87,1	3	90,1
2	53,55405	13,63072	86,2	3	89,2
3	53,55401	13,62905	86,2	3	89,2
4	53,55392	13,62666	85,7	3	88,7
5	53,55382	13,62489	85,8	3	88,8
6	53,55369	13,62273	86,6	3	89,6
7	53,55357	13,62088	86,8	3	89,8
8	53,55333	13,61838	86,9	3	89,9
9	53,55317	13,61674	87,5	3	90,5
10	53,55296	13,61486	87,7	3	90,7
11	53,55276	13,61308	87,8	3	90,8
12	53,55249	13,61107	87,9	3	90,9
13	53,55221	13,60919	87,3	3	90,3
14	53,55192	13,60733	86,9	3	89,9
15	53,55170	13,60603	86,9	3	89,9
16	53,55135	13,60407	85,5	3	88,5
17	53,55100	13,60220	84,8	3	87,8
18	53,55057	13,60015	84,1	3	87,1

Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Untersuchungs- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Auffahrt A20 Richtung Osten					
1	53,54995	13,59644	82,3	3	85,3
2	53,55007	13,59677	83,7	3	86,7
3	53,55025	13,59705	84,7	3	87,7
4	53,55049	13,59729	86,1	3	89,1
5	53,55059	13,59746	86,6	3	89,6
6	53,55065	13,59766	88,3	3	91,3
7	53,55068	13,59789	89,0	3	92,0
8	53,55066	13,59810	90,2	3	93,2
9	53,55061	13,59830	90,1	3	93,1
10	53,55051	13,59849	90,4	3	93,4
11	53,55037	13,59870	90,4	3	93,4
Ausfahrt A20 Richtung Osten					
1	53,54925	13,59914	86,9	3	89,9
2	53,54939	13,59938	88,4	3	91,4
3	53,54955	13,59949	88,8	3	91,8
4	53,54973	13,59949	89,8	3	92,8
5	53,54988	13,59940	89,9	3	92,9
6	53,55055	13,59853	90,4	3	93,4
7	53,55064	13,59835	90,9	3	93,9
8	53,55071	13,59807	90,3	3	93,3
MSE110					
1	53,55360	13,60424	80,1	3	83,1
2	53,55252	13,60535	87,3	3	90,3
3	53,55219	13,60562	90,7	3	93,7
4	53,55110	13,60615	90,8	3	93,8
5	53,55074	13,60650	90,2	3	93,2

6.3 Sichtunterbrechungen

Gemäß Abbildung 12 (in orange) werden zwei Sichtunterbrechungen hinzugefügt, welche die Rampe der MSE110 zur Brücke über die A20 darstellen. Es wird eine Höhe von 5 m verwendet, die genauen Koordinaten sind Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Koordinaten der eingefügten Sichtunterbrechungen

Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]
Rampe Nordseite MSE110			
1	53,55182710	13,60597642	86,9
2	53,55222069	13,60574843	85,8
3	53,55261906	13,60536756	84,1
Rampe Südseite MSE110			
1	53,55146906	13,60618323	87,8
2	53,55093205	13,60650241	89,2

7 Auswertung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der simulativen Berechnungen der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. Die Simulationsergebnisse werden aufgrund der technischen Limitierung der Simulationssoftware einer weiteren Korrektur unterzogen. So ist nach den LAI-Hinweisen keine Blendung gegeben, wenn die Richtung der Lichtreflexion und 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 (Ministerium für Umwelt 2012).

Die Ergebnisse der Simulation sind in Tabelle 5 aufgeführt. Es zeigt sich nur hinsichtlich der Auffahrt auf die A20 in Fahrtrichtung Osten vom Rastplatz Brohmer Berge eine potenziell auftretende Blendung. Diese wird im Weiteren genauer untersucht.

Tabelle 5: Simulationsergebnisse zur Ermittlung der potenziellen Blendung

Untersuchungsstrecke	Blenddauer über das gesamte Jahr [Minuten]
A20 Richtung Ost	0
A20 Richtung West	0
Ausfahrt A20 Richtung Osten	0
Auffahrt A20 Richtung Osten	2076
MSE110	0

Auffahrt A20 in Fahrtrichtung Osten

Die durch die Simulation ermittelte potenzielle Blendung auf der Auffahrt A20 - Fahrtrichtung Osten vom Rastplatz ist in Abbildung 13 dargestellt. Betroffen ist aus Sicht eines Fahrers die Blickrichtung zwischen 58-71° (Nordosten), dargestellt in Abbildung 14. Die potenzielle Blendung tritt morgens zwischen 6:30 und 7:30 auf. In Abbildung 14 ist im Blickfeld Bewuchs auszumachen, es handelt sich nach Angabe des vorliegenden Planungskonzepts um eine Mischung aus Hagebutte, Weißdorn und Wildobst mit einer Höhe ca. 6 - 6,5 m.

In Abbildung 15 ist eine Aufnahme von der MSE110 in Richtung des Rastplatzes zu sehen. Es lässt sich bestätigen, dass der Bewuchs ausreicht um den Sichtkorridor nach Abbildung 14 zu verdecken, sichtbar ist nur die Abfahrt in Richtung des Rastplatzes, die Auffahrt mit Blickrichtung zum PV-Feld ist

dagegen durch den Bewuchs verdeckt. Da die potenzielle Blendung nur von Ende April bis Mitte August auftritt, ist ein Laubfall ab Oktober unproblematisch.

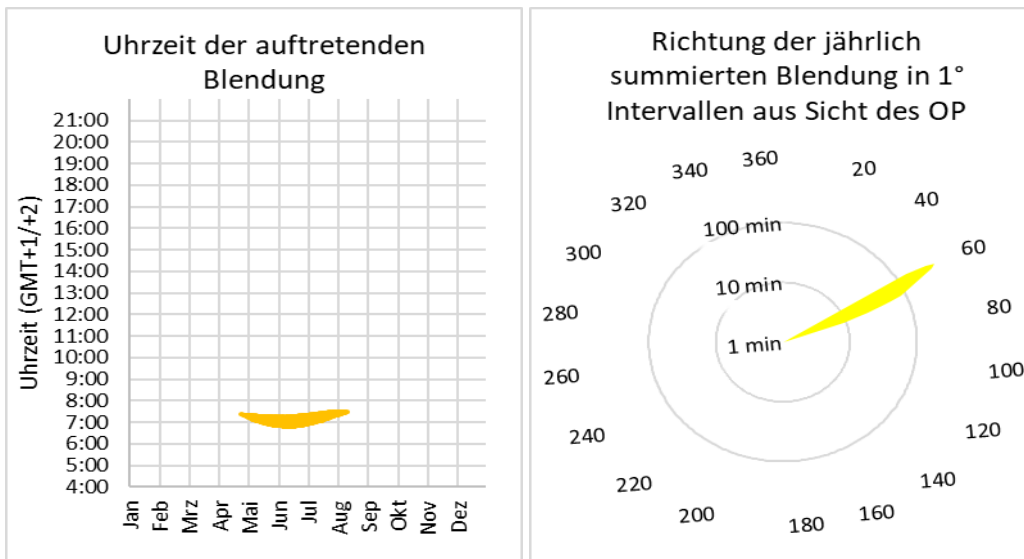


Abbildung 13: Uhrzeit und Richtung der potenziellen Blendung bei Auffahrt auf A20 in Richtung Osten

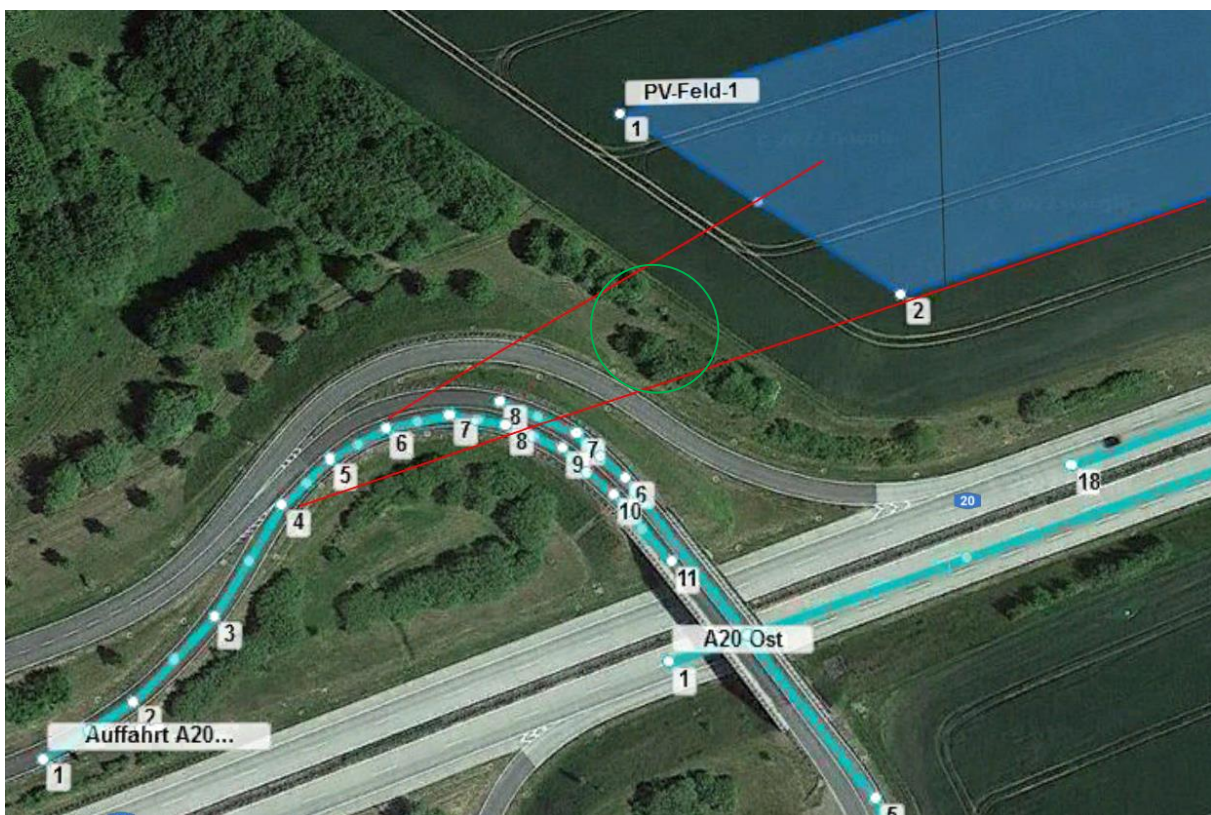


Abbildung 14: Korridor zwischen 58 - 71° (als rote Linien) der potenziell auftretenden Blendung bei Auffahrt auf die A20 in Richtung Osten, sowie notwendiger Bewuchs als Sichtunterbrechung (grün umrandet)



Abbildung 15: Blick von der MSE110 auf die Abfahrt zum Rastplatz an der A20 (rot), verdeckt wird dagegen die relevante Gegenfahrtrichtung (blau)

8 Schlussbemerkung

Abschließend kommt das Fachgutachten zu dem Schluss, dass eine Gefährdung durch Blendung durch direkte Reflexion von Sonnenstrahlen an PV-Modulen für den untersuchten Streckenabschnitt der MSE110, A20 sowie der Auf- und Abfahrt vom/zum Rastplatz Brohmer Berge ausgeschlossen werden kann. Für die Auffahrt vom Rastplatz Brohmer Berge auf die A20 in Fahrtrichtung Osten ist der bereits bestehende Bewuchs notwendig, um eine potenzielle Blendung auszuschließen. Bei Wegfall dieses Bewuchses sind ersetzende Maßnahmen zu treffen.

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 Windenergieanlagen (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: Umgebung der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)	4
Abbildung 2: Belegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 3: geplante Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls	6
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)	6
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	7
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiertes Glas mit Anti-Reflexionsschicht, recht: tief strukturiertes Glas (Yellowhair und Ho 2015)	7
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)	8
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)	8
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)	9
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)	12
Abbildung 12: Anlage des geplanten Solarparks in der Simulationssoftware „ForgeSolar“ oben: westlicher Teil mit PV-Feldern 1 & 2, unten: östlicher Teil des Solarparks mit PV-Feldern 3-6	13
Abbildung 13: Uhrzeit und Richtung der potenziellen Blendung bei Auffahrt auf A20 in Richtung Osten	18
Abbildung 14: Korridor zwischen 58 - 71° (als rote Linien) der potenziell auftretenden Blendung bei Auffahrt auf die A20 in Richtung Osten, sowie notwendiger Bewuchs als Sichtunterbrechung (grün umrandet)	18
Abbildung 15: Blick von der MSE110 auf die Abfahrt zum Rastplatz an der A20 (rot), verdeckt wird dagegen die relevante Gegenfahrtrichtung (blau)	19