



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 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 Lauterhofen

Anlage: Solarpark Lauterhofen
53°50'17.33"N, 12°17'46.18"O
18276 Lauterhofen

in Auftrag gegeben von: BayWa r.e. Power Solutions GmbH
Gottfried Eberle
Arabellestraße 4
81925 München
Deutschland

Projektnummer: A-LV23/0051

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 10.05.2023

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
6	Simulation.....	11
	6.1 PV - Anlage.....	11
	6.2 Immissionsorte.....	12
	6.3 Sichtunterbrechung	13
	6.4 Ergebnisse.....	14
7	Auswertung	15
8	Blendschutzmaßnahmen.....	17
9	Schlussbemerkung.....	19
10	Literaturverzeichnis	20
11	Abbildungsverzeichnis.....	21



1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Lauterhofen 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 Zeitraum und Immissionswinkel potenzieller Blendung ermittelt und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen erarbeitet, um eine solche zu verhindern.

2 Beschreibung der Umgebung

Der Solarpark liegt südöstlich von Lauterhofen, grenzt unmittelbar an die Bundesstraße und zur freien Landwirtschaft im Süden. Eine Übersicht über die Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben.



Abbildung 1: Geplante Fläche des Solarparks Lauterhofen rot markiert und Umgebung (Quelle: Auftraggeber)

3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Solarpark wird mit einer DC-Nennleistung von 12,171 MWp geplant. Nach derzeitigem Planungsstand wird der Solarpark in Ost/West in $-94,4^\circ$ Ost und $85,60^\circ$ West mit einem Neigungswinkel von 15° ausgerichtet. Als Tischkonstruktion wird voraussichtlich ein 4-Pfeiler System mit drei vertikal ausgerichteten Modulen zum Einsatz kommen. Die Modulunterkante wird voraussichtlich auf 0,8 m liegen, die Moduloberkante auf 2,61 m. Der Belegungsplan und die nähere Umgebung sind in Abbildung 2 dargestellt, die Unterkonstruktion in Abbildung 3.



Abbildung 2: Belegungsplan des Solarparks (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)

Hinweis:

Abstand zwischen den Reihen ist von der Geländeneigung abhängig.

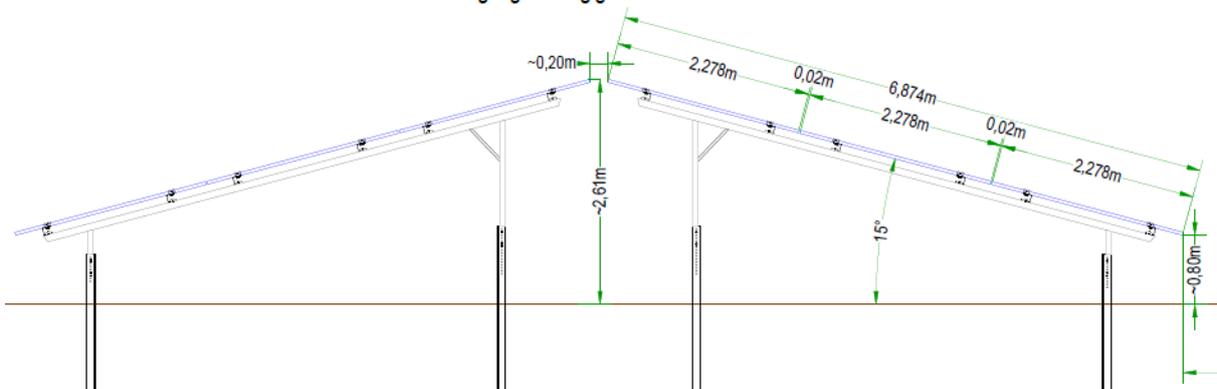


Abbildung 3: Unterkonstruktion der PV-Module (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

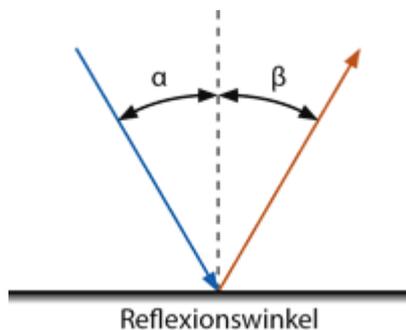


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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 Lambertischen Gesetz zu sehen.

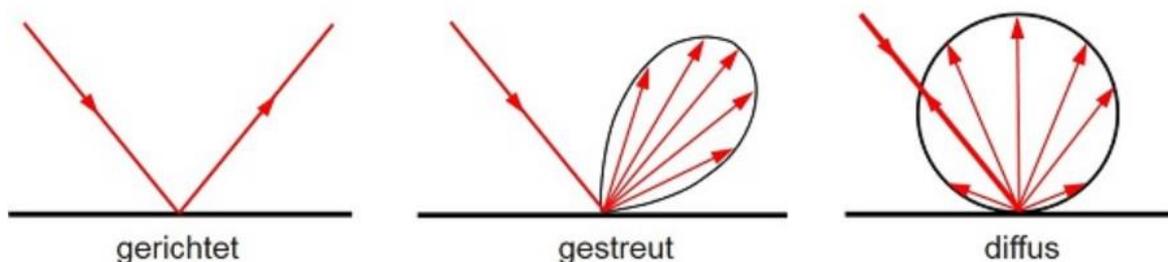


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

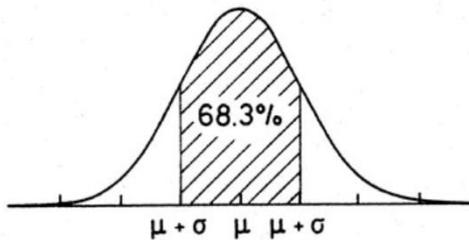


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

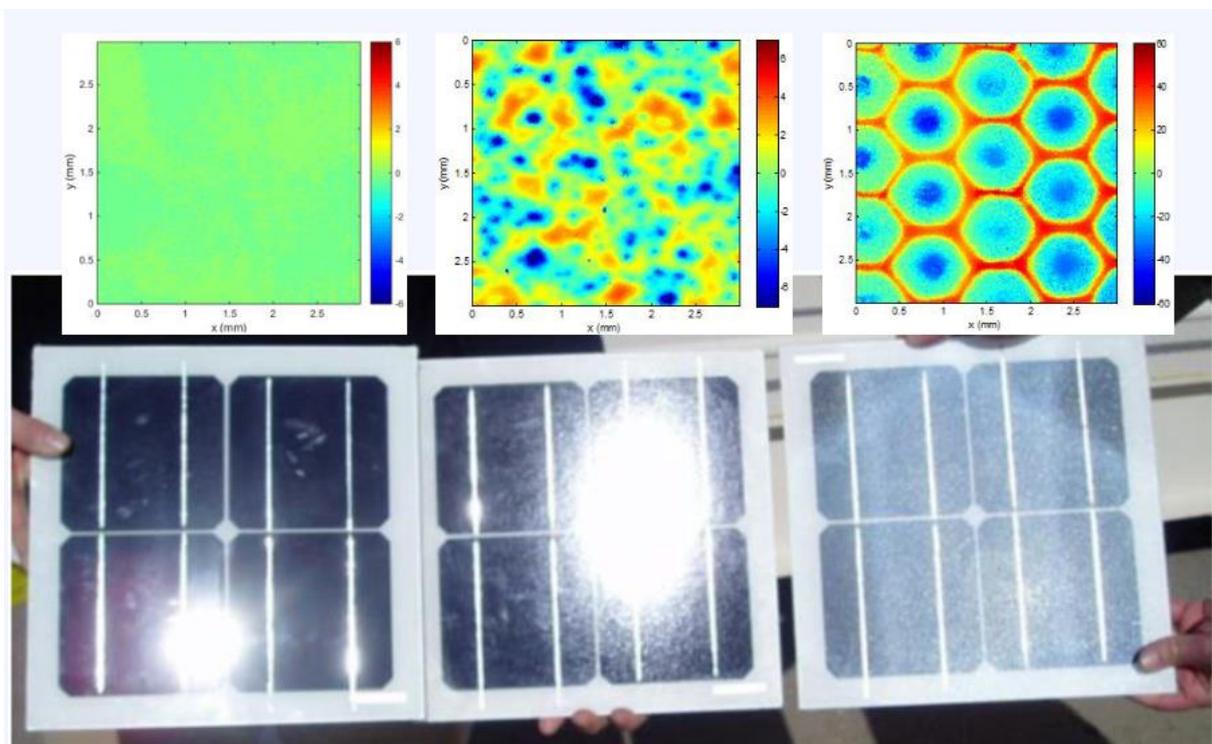


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

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.

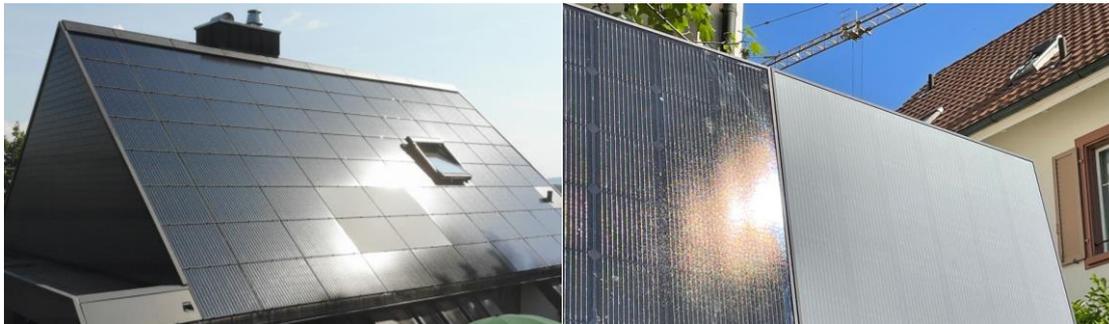


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

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.

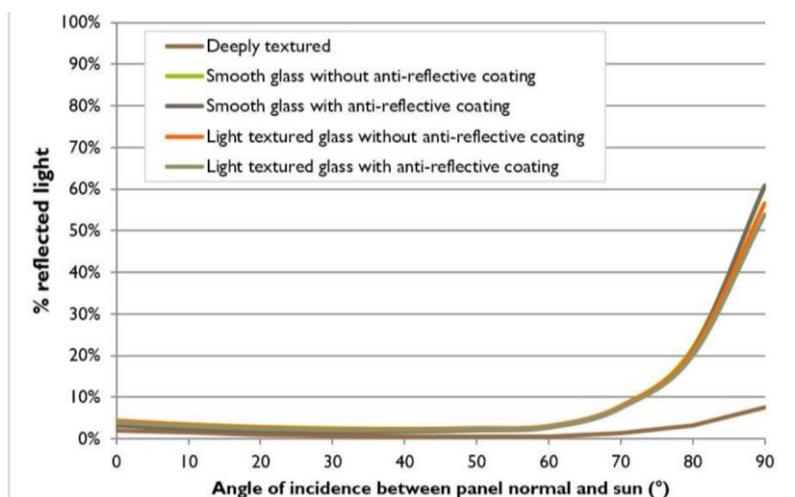


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

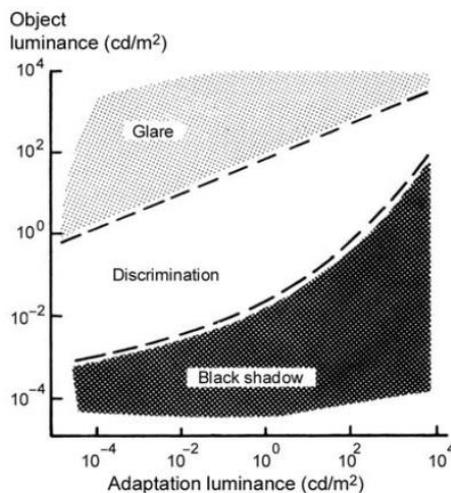


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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

Gemäß den LAI-Hinweisen werden folgende Orte als schutzwürdige Räume definiert und sind demnach auf potenzielle Blendung zu untersuchen:

- 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 potenzieller Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen. Zur Bewertung des Straßenverkehrs wird nur Reflexion im Bereich des Blickwinkels von $\pm 30^\circ$ als relevant erachtet, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Reflexion im Bereich des Blickwinkels von $\pm 20^\circ$ berücksichtigt. (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016).

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 Lauterhofen

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Modulneigungswinkel [°]	Höhe ü. NN [m]	Mittlere Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
SP Lauterhofen	1	49,3594152	11,6156415	-94,4° / 85,60°	511	1,7	512,7

SP Lauterhofen	2	49,35951 3	11,616703 6	-94,4° / 85,60°	512,6	1,7	514,3
SP Lauterhofen	3	49,35965 98	11,616682 2	-94,4° / 85,60°	512,3	1,7	514
SP Lauterhofen	4	49,35984 84	11,618205 7	-94,4° / 85,60°	514,2	1,7	515,9
SP Lauterhofen	5	49,35943 62	11,618323 7	-94,4° / 85,60°	516,2	1,7	517,9
SP Lauterhofen	6	49,35947 11	11,622207 5	-94,4° / 85,60°	512,3	1,7	514
SP Lauterhofen	7	49,35899 59	11,622314 8	-94,4° / 85,60°	514,3	1,7	516
SP Lauterhofen	8	49,35787 09	11,621832	-94,4° / 85,60°	518	1,7	519,7
SP Lauterhofen	9	49,35782 89	11,615748 8	-94,4° / 85,60°	509,1	1,7	510,8

6.2 Immissionsorte

Die Bestimmung der Immissionsorte erfolgte anhand der vom Auftragsgeber zur Verfügung gestellten textlichen Beauftragung. Die Verortung der Bundesstraße 229 ist nachfolgend dargestellt, siehe Abbildung 12.



Abbildung 12: Verortung der Bundesstraße 229

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 Bundesstraße 229

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Höhe ü. NN [m]	Sitzhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
B229	1	49,3594222	11,6104999	506,3	3	509,3
B229	2	49,35952	11,6118196	506,7	3	509,7
B229	3	49,359552	11,6130807	505,4	3	508,4
B229	4	49,3596307	11,6144111	511,4	3	514,4
B229	5	49,3597267	11,6153901	512,6	3	515,6
B229	6	49,3598682	11,6163611	513	3	516
B229	7	49,3600307	11,6174125	512,5	3	515,5
B229	8	49,3601146	11,6179764	512,5	3	515,5
B229	9	49,3601739	11,6183841	512,1	3	515,1
B229	10	49,3602543	11,6190359	511,8	3	514,8
B229	11	49,3603329	11,619814	510,2	3	513,2
B229	12	49,3604115	11,6207716	506,7	3	509,7
B229	13	49,3604814	11,6216111	502,9	3	505,9
B229	14	49,3605373	11,6225981	498,5	3	501,5
B229	15	49,360581	11,6238426	495,1	3	498,1

6.3 Sichtunterbrechung

Weiterhin wurde in der Simulation der bestehende Bewuchs, der direkt an die Bundesstraße 229 grenzt, berücksichtigt. Der Bewuchs ist in Abbildung 13 dargestellt und stellt eine Sichtunterbrechung zwischen dem Solarpark und der Bundesstraße 229 dar.



Abbildung 13: Vorhandener Bewuchs grün markiert

6.4 Ergebnisse

Tabelle 3 stellt die Simulationsergebnisse der potenziellen Blendung auf die Bundesstraße 229 dar. Es wurde potenzielle Blendung in in Richtung der Bundesstraße 229 ermittelt, jeweils in Fahrtrichtung Osten und Westen. Die über ein Jahr auftretenden Blendminuten sind aus der Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3: Simulationsergebnisse (potenzielle Blendung) der PV - Flächen Bundesstraße 229

	Blendminuten (min)
SP Lauterhofen	4704

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 der Bundesstraße 229 in östlicher und westlicher Fahrtrichtung dargestellt.

Abbildung 14 verdeutlicht auf Basis der Simulationsergebnisse die grafische Auswertung für die PV – Fläche mit den nach Westen ausgerichteten Modulen für die ermittelte Blendung auf die Bundesstraße 229. In der linken Grafik ist die Uhrzeit der auftretenden Blendung dargestellt, je nach Datum in Winterzeit (GMT+1) oder Sommerzeit (GMT+2). Für die Straße treten potenzielle Blendungen von Mitte März bis Mitte September zwischen 08:06 Uhr und 10:11 Uhr auf. Rechts in der Abbildung ist die tägliche Dauer der Blendung dargestellt. Diese erreicht bis zu 47 Minuten pro Tag.

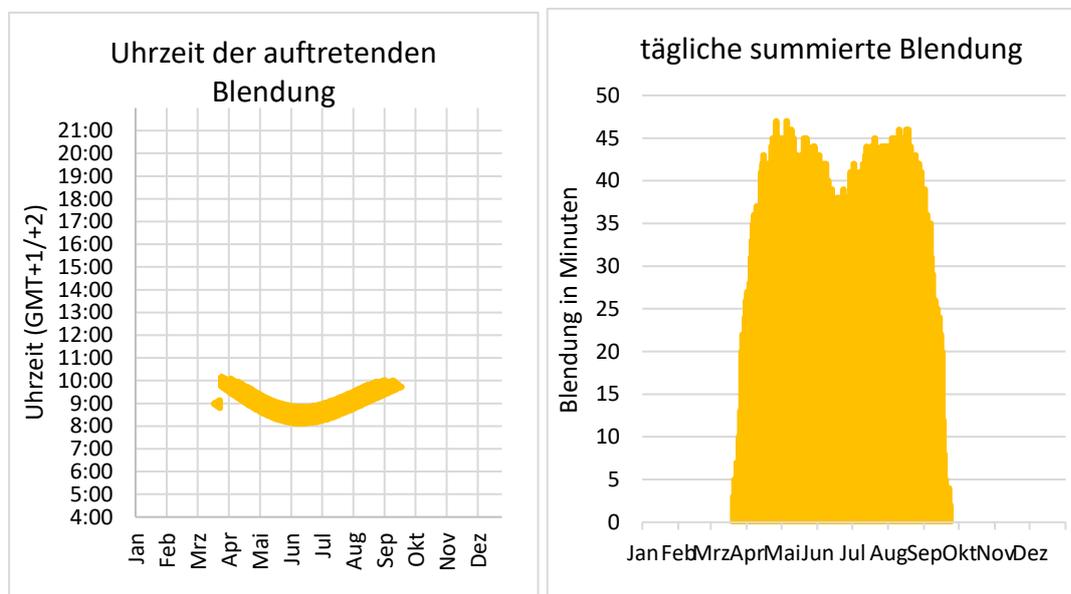


Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche mit den nach Westen ausgerichteten Modulen auf die Bundesstraße 229

Abbildung 16 verdeutlicht auf Basis der Simulationsergebnisse die grafische Auswertung für die PV – Fläche mit den nach Osten ausgerichteten Modulen für die ermittelte Blendung auf die Bundesstraße 229. In der linken Grafik ist die Uhrzeit der auftretenden Blendung dargestellt, je nach Datum in Winterzeit (GMT+1) oder Sommerzeit (GMT+2). Für die Straße treten potenzielle Blendungen von Mitte März bis Mitte September zwischen 14:41 Uhr und 17:36 Uhr auf. Rechts in der Abbildung ist die tägliche Dauer der Blendung dargestellt. Diese erreicht ebenfalls bis zu 47 Minuten pro Tag.

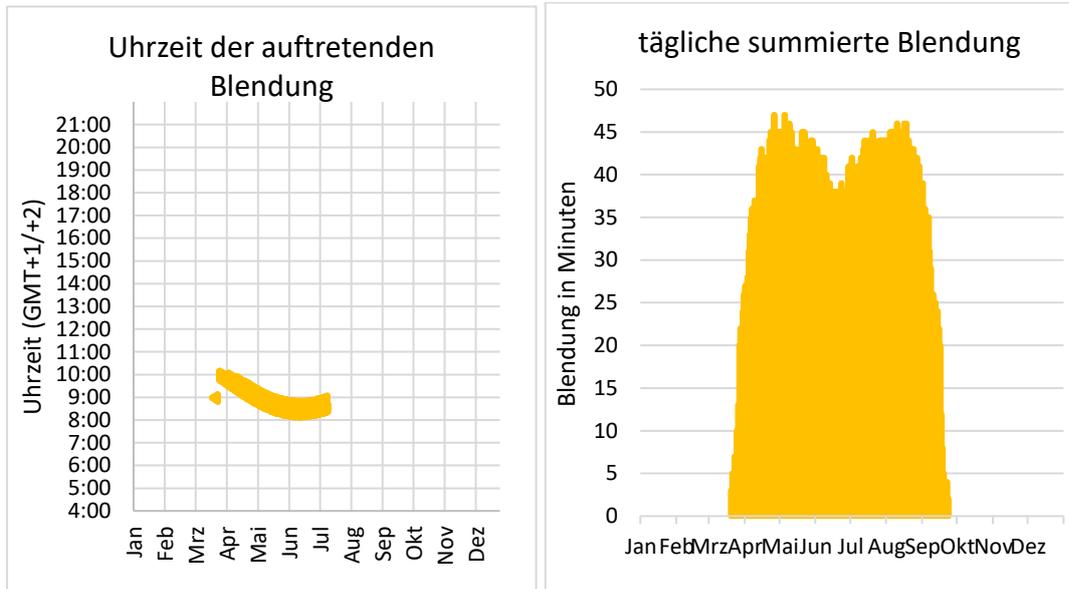


Abbildung 15: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche mit den nach Osten ausgerichteten Modulen auf die Bundesstraße 229

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 auf die Bundesstraße 229 kann Abbildung 16 herangezogen werden. Die ermittelten Blendwinkel für die nach Westen ausgerichteten Module, ausgehend von dem Solarpark, liegen zwischen 264 und 300° und für die nach Osten ausgerichteten Module zwischen 44° und 80°. Die Blendwinkel, ausgehend von dem Solarpark, sind gelb eingezeichnet. Bei der geplanten Bebauung ist die Mindesthöhe des zu pflanzenden Bewuchses so zu wählen, dass eine Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen und Straßenverkehr gewährleistet ist und somit eine Gefährdung durch Blendung in diesem Bereich auszuschließen ist. Die Höhe 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. Aus den Planungsunterlagen des Auftraggebers ist zu entnehmen, dass in den gekennzeichneten Bereichen aus Abbildung 16 für die Sichtunterbrechung bereits Maßnahmen zur Bepflanzung geplant sind, siehe Abbildung 17. Der Auftraggeber plant eine mesophile Hecke, die dann auch gleichzeitig zur Sichtunterbrechung genutzt werden kann.



Abbildung 16: Potenzielle Blendung ausgehend von dem Solarpark auf die Bundesstraße 229. Blau dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der die notwendige Länge der Sichtunterbrechung darstellt und die gelben Linien, die die Reflexionswinkel, ausgehend vom Solarpark, verdeutlichen

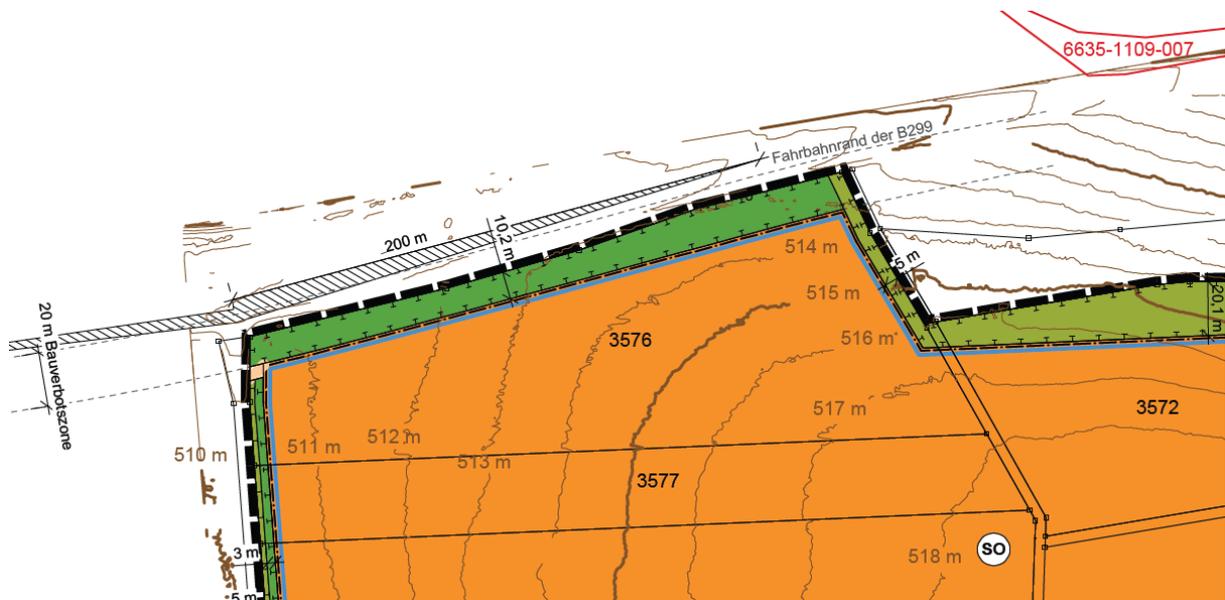


Abbildung 17: Vom Auftraggeber geplante mesophile Hecke (grün)

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 Bundesstraße 229 nicht auszuschließen ist. Durch eine Sichtunterbrechung, wie z.B. durch die sowieso seitens des Auftraggebers geplante Bepflanzung, kann in den relevanten Bereichen die Blendung ausgeschlossen werden.

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 Fläche des Solarparks Lauterhofen rot markiert und Umgebung (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 2: Belegungsplan des Solarparks (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)	5
Abbildung 3: Unterkonstruktion der PV-Module (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 strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)	7
Abbildung 8: links: Module mit satiniertes 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: Anlage der geplanten PV-Freiflächenanlage in der Simulationssoftware ForgeSolar	11
Abbildung 12: Verortung der Bundesstraße 229	12
Abbildung 13: Vorhandener Bewuchs grün markiert.....	14
Abbildung 14: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche mit den nach Westen ausgerichteten Modulen auf die Bundesstraße 229	15
Abbildung 15: Jährlich auftretende Blendung in Abhängigkeit der Uhrzeit (links) und tägliche Dauer der Blendung (rechts) ausgehend von der PV – Fläche mit den nach Osten ausgerichteten Modulen auf die Bundesstraße 229	16
Abbildung 16: Potenzielle Blendung ausgehend von dem Solarpark auf die Bundesstraße 229. Blau dargestellt ist die PV – Fläche, orange markiert der Bereich, der die notwendige Länge der Sichtunterbrechung darstellt und die gelben Linien, die die Reflexionswinkel, ausgehend vom Solarpark, verdeutlichen.....	18
Abbildung 17: Vom Auftraggeber geplante mesophile Hecke (grün)	18