



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 Plaaz

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

in Auftrag gegeben von: SolarPark PLAAZ GmbH c/o Solizer GmbH
Zirkusweg 2 – Astra Tower
20359 Hamburg

Projektnummer: A-LV23/0041

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: B. Sc. Markus Stich

Berlin, 17.05.2023

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	3
3	Beschreibung der PV – Anlage	4
4	Grundlagen der Optik	5
	4.1 Geometrische Reflexionssituation	5
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen	6
	4.3 Blendung.....	8
5	Methodik der Untersuchung	9
6	Ergebnisse	10
7	Schlussbemerkung	12
8	Literaturverzeichnis	13
9	Abbildungsverzeichnis.....	14

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Plaaz 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

Die PV-Anlage ist in mehrere Bereiche aufgeteilt, wobei in diesem Gutachten nur der westlich gelegene Teil des Solarparks untersucht wird. Dieser wird westlich durch die A19 und die Raststätte Recknitz Ost begrenzt. Eine Übersicht über die Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben.

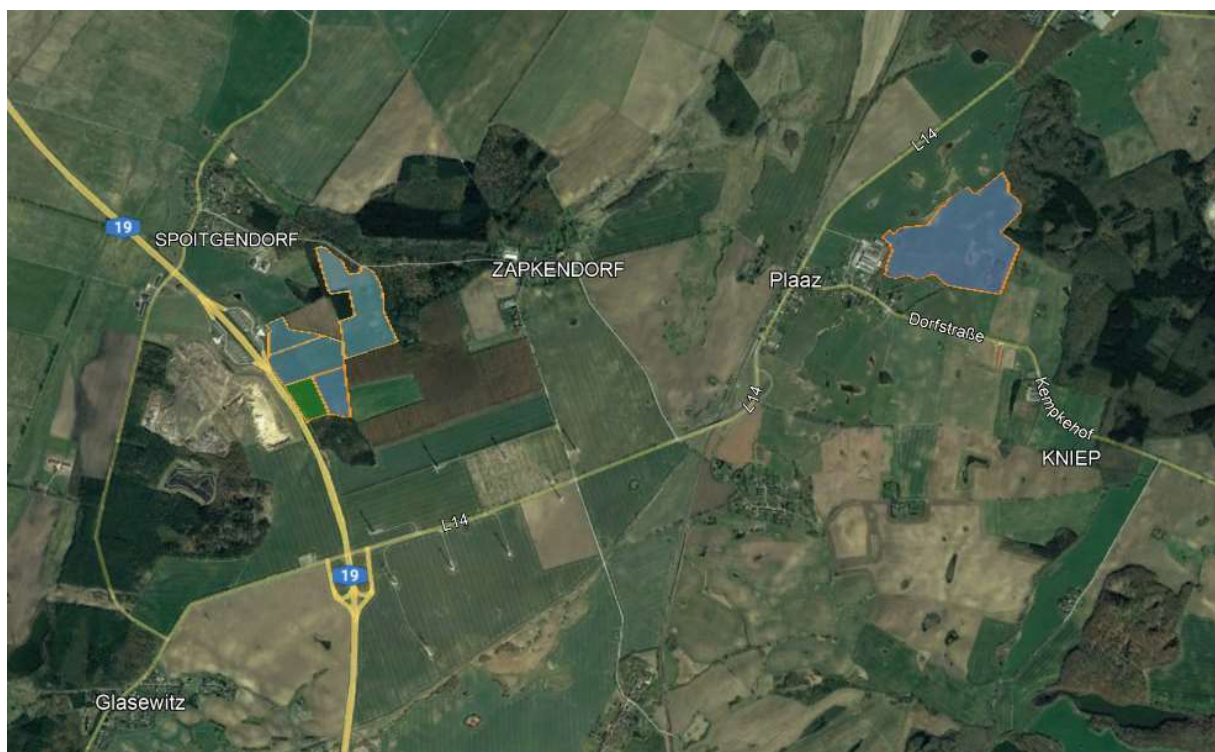


Abbildung 1: Geplanter Solarparks Plaaz (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)

3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Solarpark wird mit einer DC-Nennleistung von rund 66 MWp geplant. Nach derzeitigem Planungsstand wird die Anlage in Richtung 180° Süd mit einem Neigungswinkel von 20° ausgerichtet. Als Tischkonstruktion wird voraussichtlich ein 2-Pfeiler System mit sechs horizontal (landscape) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite zum Einsatz kommen. Die Modulunterkante wird voraussichtlich auf 0,8 m liegen, die Moduloberkante auf 3,194 m. Der Belegungsplan und die nähere Umgebung sind in Abbildung 2 dargestellt, die Unterkonstruktion in Abbildung 3.



Abbildung 2: Belegungsplan des westlichen Teils der PVA (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)

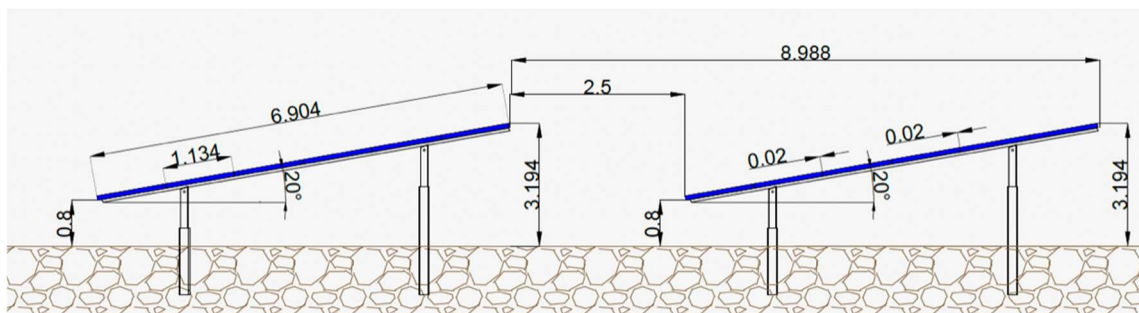


Abbildung 3: Unterkonstruktion der PV-Module (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

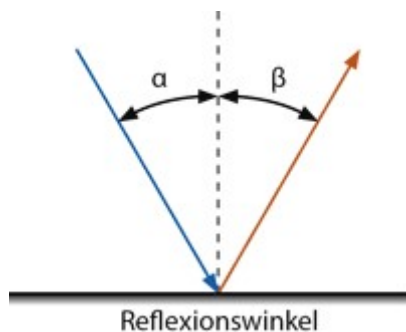


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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 Lambertschen Gesetz zu sehen.

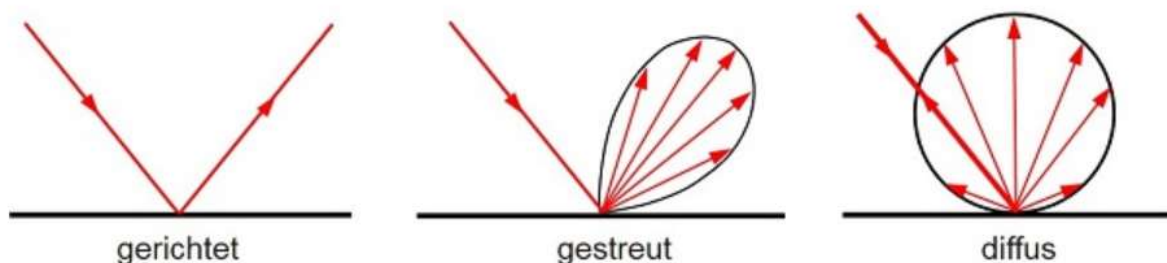


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

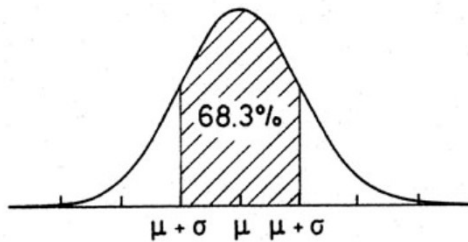


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

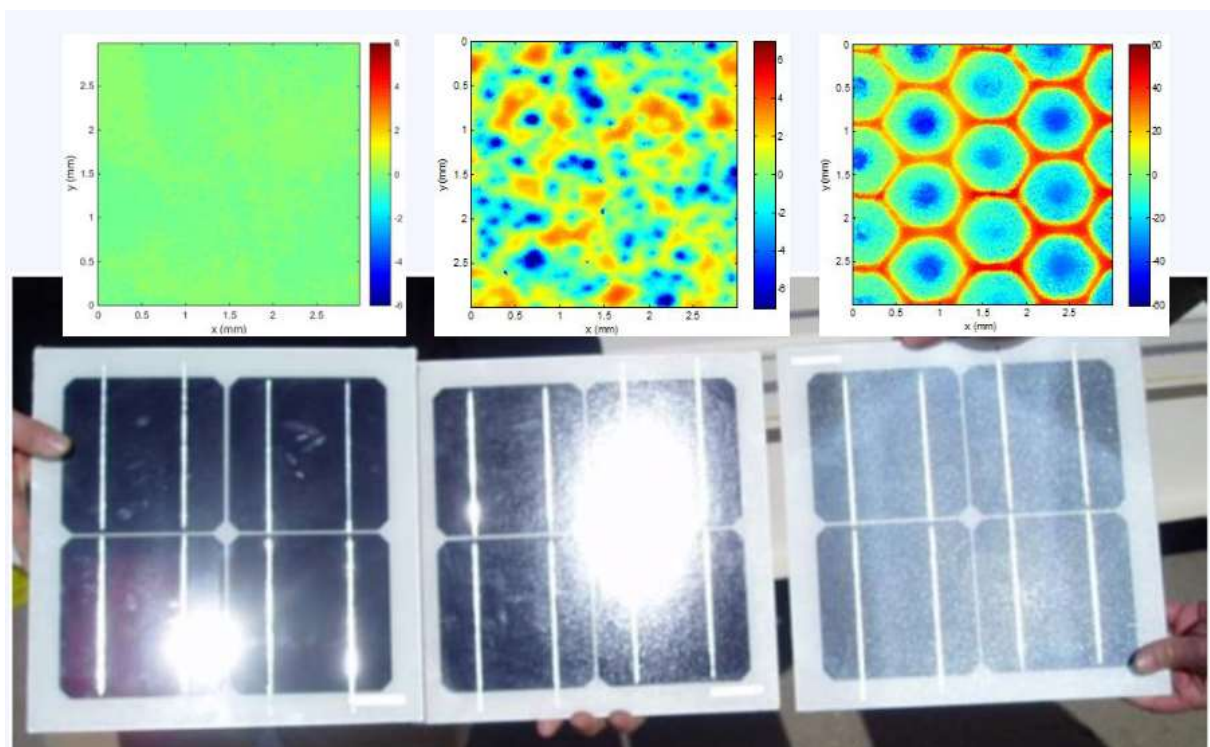


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein 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 (Buchner 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.

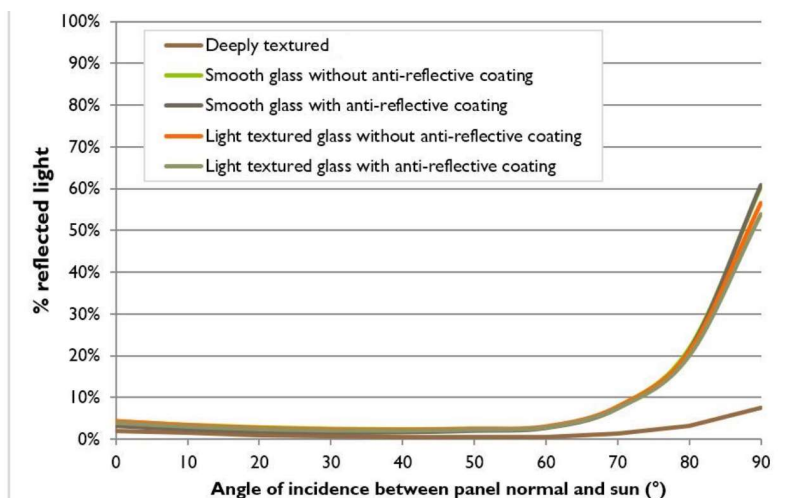


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

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.

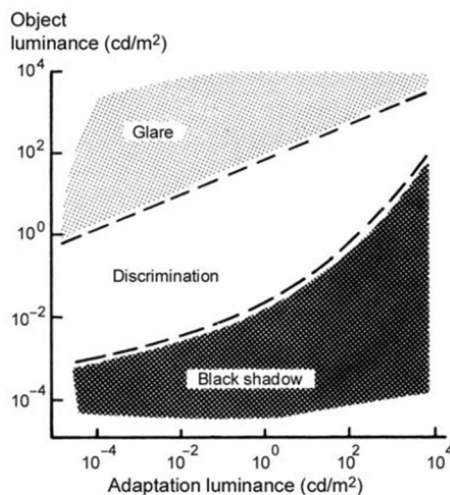


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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 Ergebnisse

Auf Basis der GPS-Koordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulfläche erstellt, zu sehen in Abbildung 11. Demnach tritt horizontnahe Reflexion von April bis August in Richtung Osten zwischen 80° - 115° in den Abendstunden ab 18:00 Uhr auf, sowie in Richtung Westen zwischen 245° - 270° in den Morgenstunden bis 6:30 Uhr auf. Für den Verkehr der A19 in Fahrtrichtung Nordwest, sowie auf der Abfahrt zur Raststätte Recknitz Ost sind Immissionswinkel zwischen 120° - 200° relevant. Für den Verkehr der A19 in Fahrtrichtung Südost, sowie auf der Auffahrt von der Raststätte Recknitz West sind Immissionswinkel zwischen 270° - 10° relevant. Als einziger Überschneidungsbereich ergibt sich damit die Reflexion in Richtung 270° West. Dieser Bereich ist Teil des relevanten Sichtfeldes bei der Auffahrt auf die A19 in Richtung Südost von der Raststätte Recknitz West. Da das PV-Feld hier jedoch etwa 3 m höher liegt sind für eine maximale Sichthöhe von 3 m nur Immissionswinkel von 0° und niedriger relevant. Dies reduziert den Bereich relevanter Reflexionen in Richtung Westen auf 245° - 257° . Eine Reflexion an den Modulflächen innerhalb des relevanten Sichtbereichs der Verkehrsteilnehmer der A19 und der Auf- und Abfahrt zur Raststätte Recknitz Ost und West kann daher ausgeschlossen werden. In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Reflexionswinkel und die relevanten Sichtbereiche der Verkehrsteilnehmer exemplarisch dargestellt.

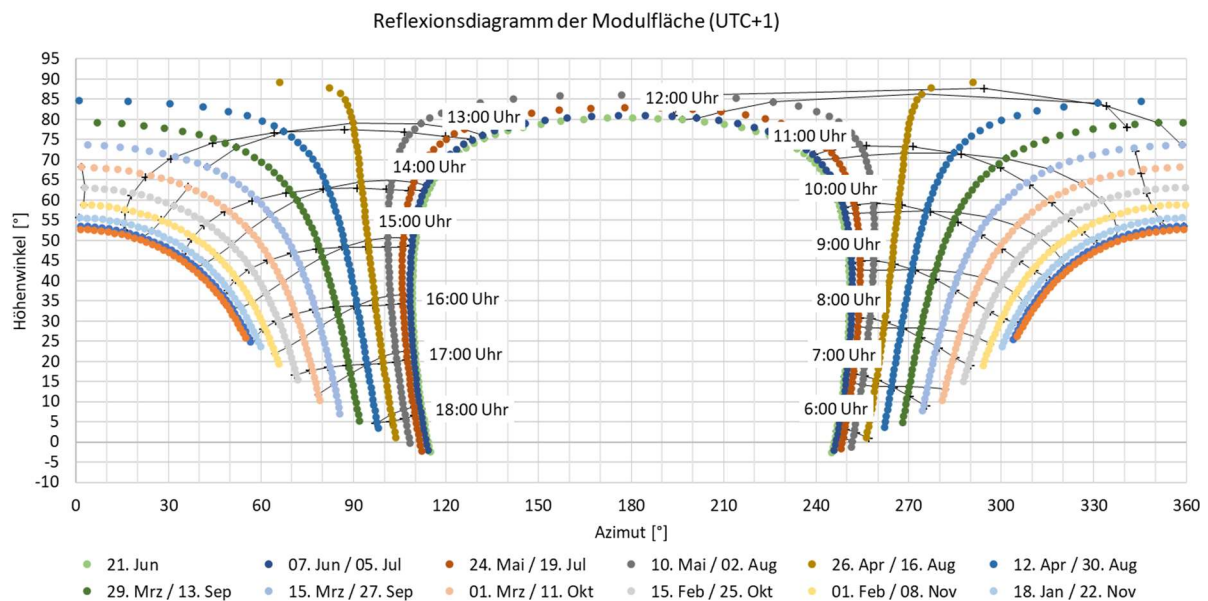


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für Modulfläche mit 180° Südausrichtung 20° Neigungswinkel

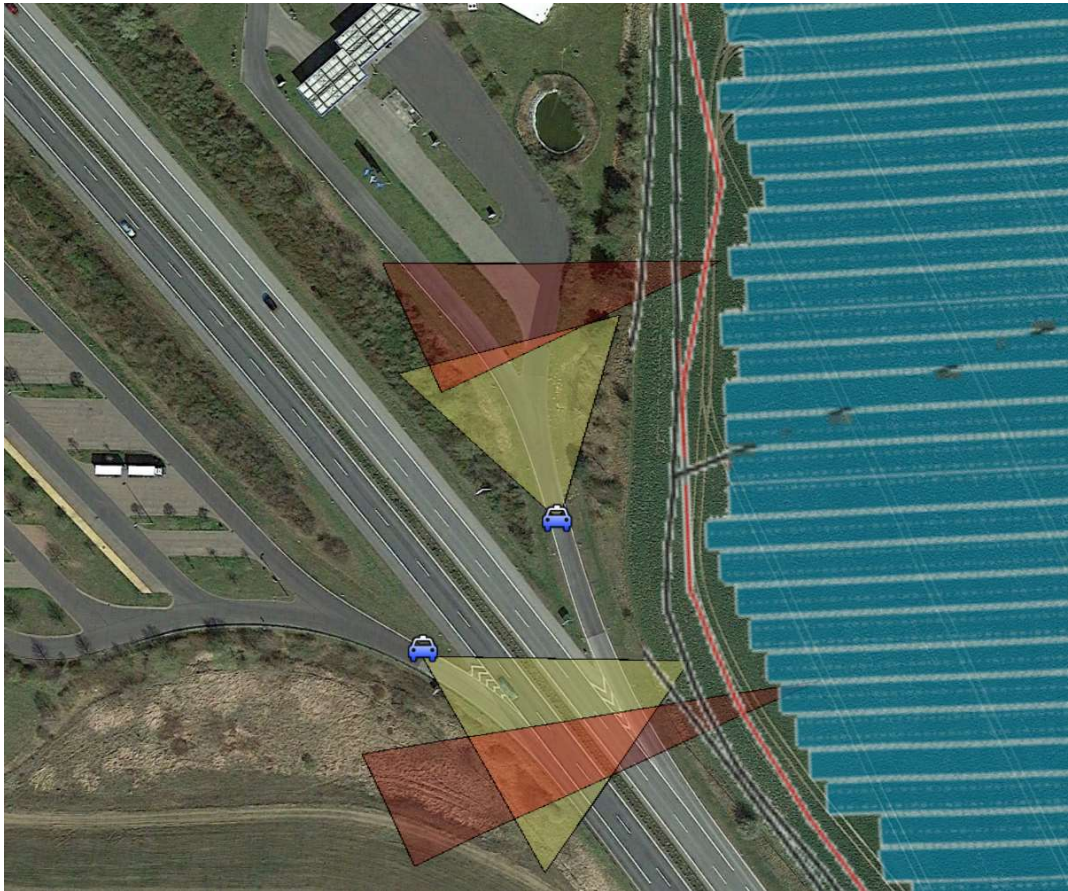


Abbildung 12: mögliche horizontnahe Reflexionswinkel der PV-Module in Rot und relevante Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer in Gelb (1)



Abbildung 13 mögliche horizontnahe Reflexionswinkel der PV-Module in Rot und relevante Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer in Gelb (2)

7 Schlussbemerkung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen des geplanten Solarparks Plaaz für den Verkehr der A19 und den Auf- und Abfahrten zur Raststätte Recknitz untersucht. Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass es aufgrund der geometrischen Reflexionssituation, zu keiner Blendung der Verkehrsteilnehmer kommen kann.

8 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.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: westlicher Teil des geplante Solarparks Plaaz (Quelle: Google Earth)	3
Abbildung 2: Belegungsplan der PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Aufständigung der PV-Module	4
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	5
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)	5
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	6
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)	6
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)	7
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)	7
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	8
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für Modulfläche mit 180° Südausrichtung 20° Neigungswinkel	10
Abbildung 12: mögliche horizontnahe Reflexionswinkel der PV-Module in Rot und relevante Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer in Gelb (1).....	11
Abbildung 13 mögliche horizontnahe Reflexionswinkel der PV-Module in Rot und relevante Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer in Gelb (2)	11