

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

**Phone** +49 (030) 29 38 12 80

**Email** dgs@dgs-berlin.de

**Web** www.dgs-berlin.de

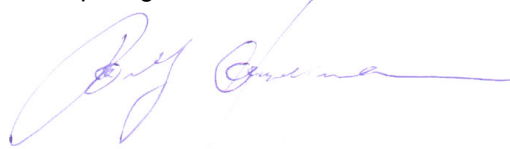
## **Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark PV Peterzell 88**

Anlage: Solarpark PV Peterzell 88  
48.125969°, 8.385320°  
78112, St. Georgen

in Auftrag gegeben von:

Projektnummer: A-LV25/0024

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ralf Haselhuhn', written over a light blue horizontal line.

Bearbeiter: M. Sc. Jonathan Brekenfeld

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Brekenfeld', written over a light blue horizontal line.

Berlin, 26.02.2025

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung .....	3
3	Beschreibung der PV-Anlage.....	4
4	Grundlagen der Optik.....	6
	4.1 Geometrische Reflexionssituation.....	6
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen .....	7
	4.3 Blendung.....	9
5	Methodik der Untersuchung mit Reflexionsdiagramm .....	10
	5.1 Auswertung mit Reflexionsdiagramm .....	11
6	Zusammenfassung.....	15
7	Literaturverzeichnis .....	16
8	Abbildungsverzeichnis.....	17
9	Gewährleistung .....	18
10	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens .....	18

## 1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) PV Peterzell 88 und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* (kurz: LAI) bewertet. Es werden Zeitraum und Immissionswinkel potenzieller Blendung ermittelt und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen erarbeitet, um eine solche zu verhindern.

## 2 Beschreibung der Umgebung

Die geplante PVA liegt südöstlich des Ortsteils Peterzell im Landkreis Schwarzwald-Baar-Kreis in Baden-Württemberg. Südwestlich des Solarparks liegt die Bundesstraße 33 (B33) an. Parallel zu der B33 verlaufen Bahnlinien. Das Gelände ist nicht eben: laut GoogleEarth Daten fällt das Gelände nach Südwesten Richtung Bundesstraße ca. 10 Meter (ca. 11,5°) ab. Die untere Kante des Geländes liegt etwa 5 Meter oberhalb der Straße. Die Bahnlinie liegt ca. 2 Meter unterhalb der Straße.

Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin.



Abbildung 1: Geplante PVA in roter Umrandung und Umgebung (Quelle: Google Earth)

### 3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist auf einer Fläche von ca. 1,13 ha und mit einer DC-Leistung von 996 kWp geplant. Vorgesehen ist eine Süd-Ausrichtung mit  $180^\circ$  Azimut und einem Neigungswinkel von  $20^\circ$ . Der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit vier im Querformat (landscape) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 3,5 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

Durch die gegebene Topologie ergibt sich für die Modulflächen eine Basisneigung (positive Steigung von linker Seite zu rechter Seite bei frontalem Blick auf Modulflächen) von  $7^\circ$  auf der Nord-West-Seite, die relativ gleichmäßig bis auf  $4^\circ$  auf der Süd-Ost-Seite abfällt.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

### Technische Darstellung Solarmodule

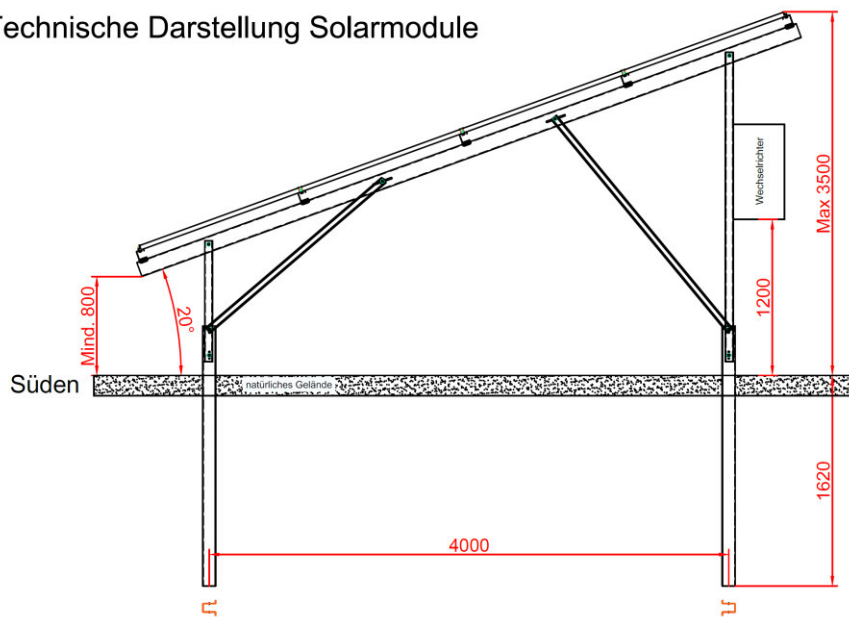


Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

## 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 ( $\alpha = \beta$ ).

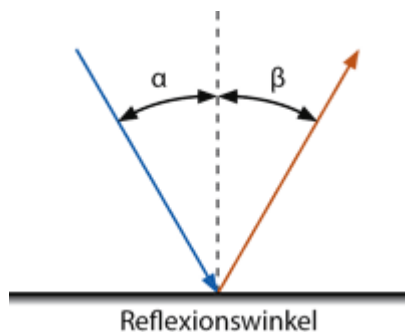


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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, in b) eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und in c) eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

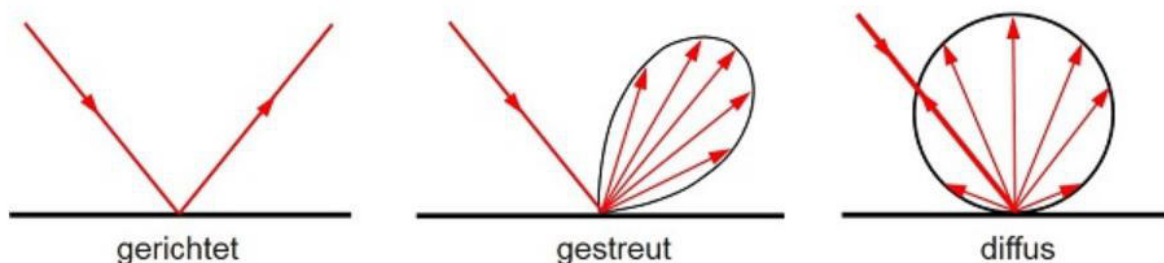


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

Bei realer Reflexion kommt es 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 (s. Abbildung 6).

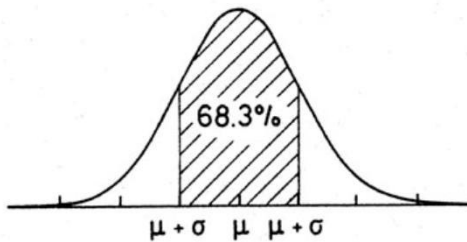


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 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 texturierte Frontgläser zu sehen.

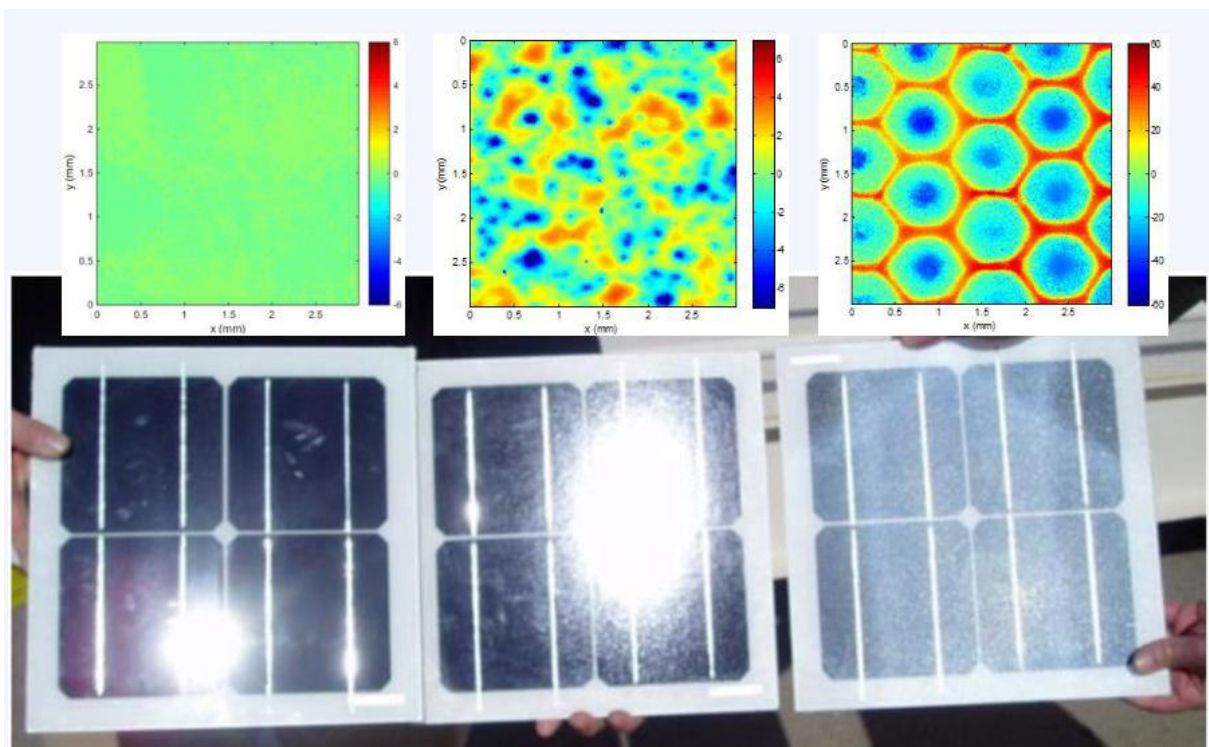


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad ( $1,15^\circ$ ), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad ( $5,27-10,56^\circ$ ) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad ( $57^\circ$ ) gemessen [2]. Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tiefstrukturiertem 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, um beinahe vollständig blendfreie Module herzustellen, siehe Abbildung 8.

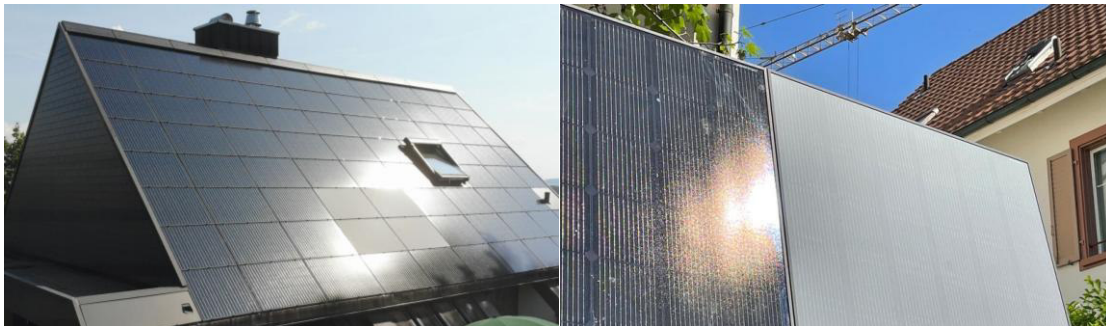


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes nutzen, das Frontglas also einen möglichst hohen Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläsern 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 Modultypen stark an, wie in Abbildung 9 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

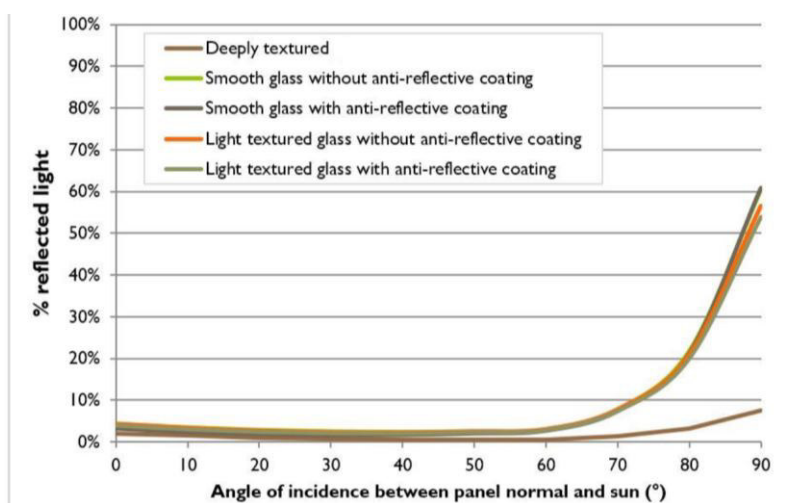


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

### 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 welches das Auge fokussiert ist und welches wahrgenommen werden soll.

Es wird zwischen einer Blendung, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung, welche „nur“ als unangenehm empfunden wird, unterschieden. 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 [5].

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld) eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann. 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. Das Anpassungsvermögen an die Umgebungshelligkeit endet bei einer Helligkeit zwischen  $10^4 - 10^5 \text{ cd/m}^2$ , was dann als Absolutblendung bezeichnet wird. Ob es durch eine Blendquelle zu einer Absolutblendung kommt, hängt somit immer auch von der Blickrichtung zu dieser ab und ist in der Regel nur bei einer Blickrichtung direkt in die Blendquelle oder in deren direkte Nähe möglich.

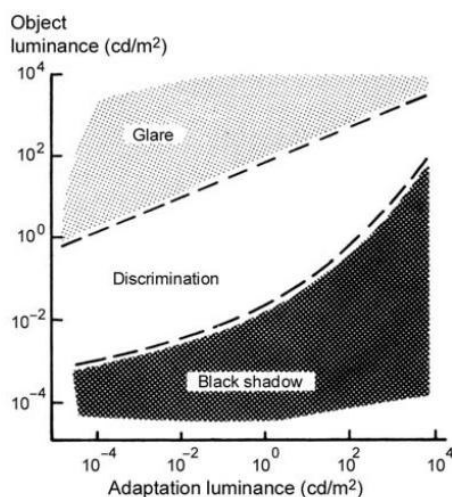


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

## 5 Methodik der Untersuchung mit Reflexionsdiagramm

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 [6]

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. Die LAI-Hinweise leiten Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen [7] ab und 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.“* [6]

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 verursachter Belästigung [8]. Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit in folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr / Schienenverkehr / Schifffahrtsverkehr / Flugverkehr

Tritt in einem dieser Bereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegende 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 werden nur Reflexionen 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.

Für Blendung im Flugverkehr folgt das Gutachten der Beurteilung nach der *European Aviation Safety Agency 2022 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)* [9]. In dieser wird festgestellt, dass eine Blendung der Fluglotsen im Tower sowie der Piloten beim Landeanflug und auf dem Flugfeld mit einem inakzeptablen Risiko verbunden ist. Als Grenzwert wird eine Leuchtdichte über  $20.000 \text{ cd/m}^2$  definiert.

## 5.1 Auswertung mit Reflexionsdiagramm

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 11 bis Abbildung 13. In diesem ist die Richtung der möglichen Reflexionen der Sonne an der Modulfläche zu sehen. Dargestellt sind die sich ergebenden Reflexionsrichtungen in 6 Minuten Abständen über den Tag und in zwei Wochen Abständen über das Jahr. Reflexionen mit einem Höhenwinkel größer  $0^\circ$  gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von  $90^\circ$  gehen in Richtung Osten.

Die drei verschiedenen Reflexionsdiagramme stellen die unterschiedlichen Basisneigungen dar.

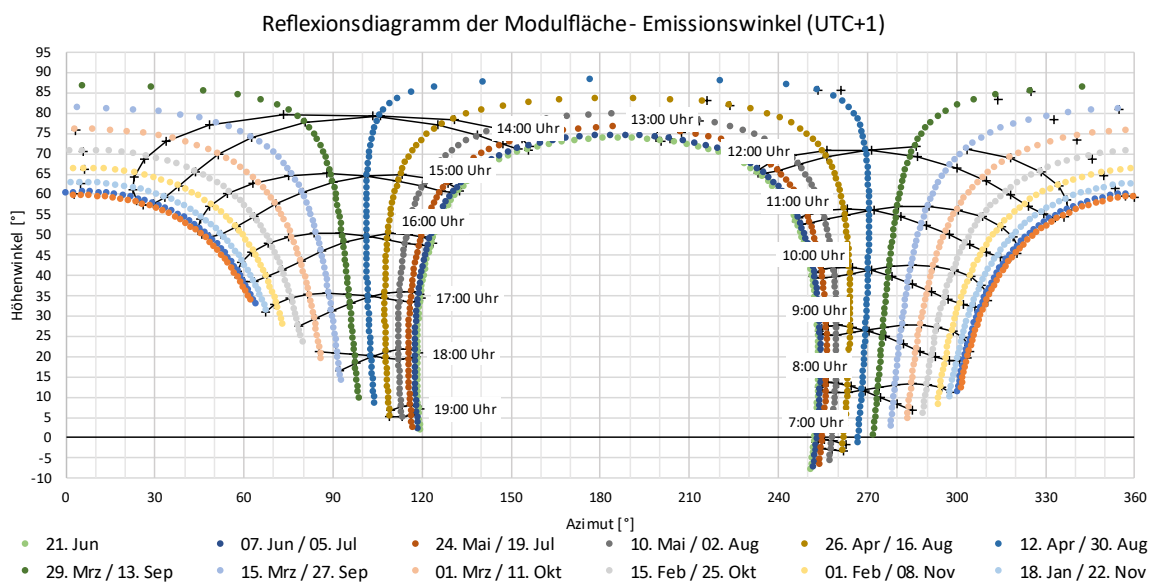


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulfläche:  $180^\circ$  Süd-Ausrichtung,  $20^\circ$  Neigung, (UTC +1), Basisneigung  $7^\circ$

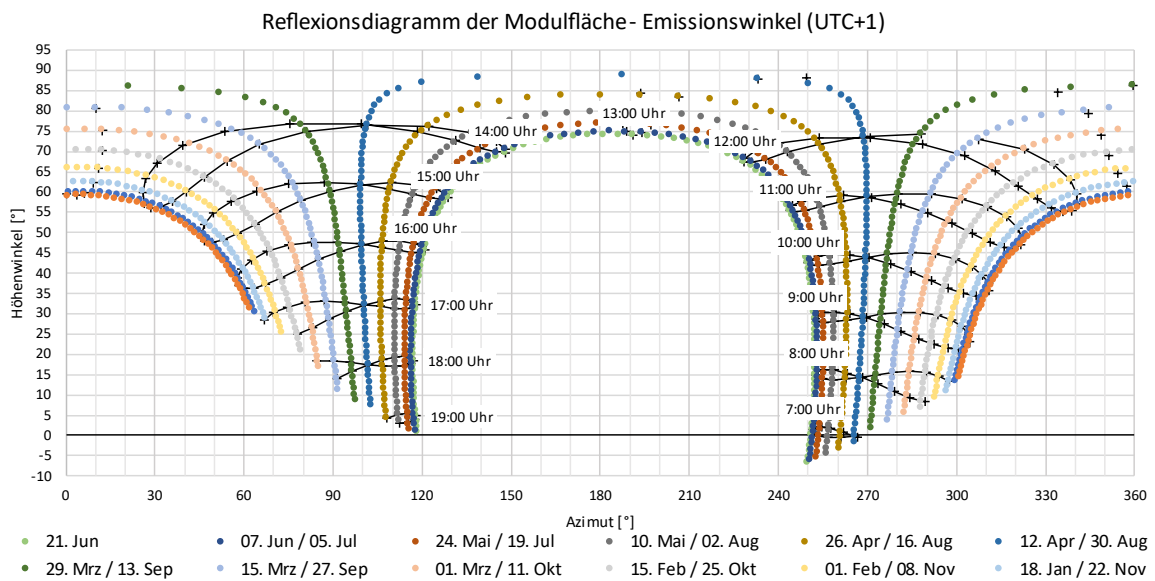


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 20° Neigung, (UTC +1), Basisneigung 5,5°

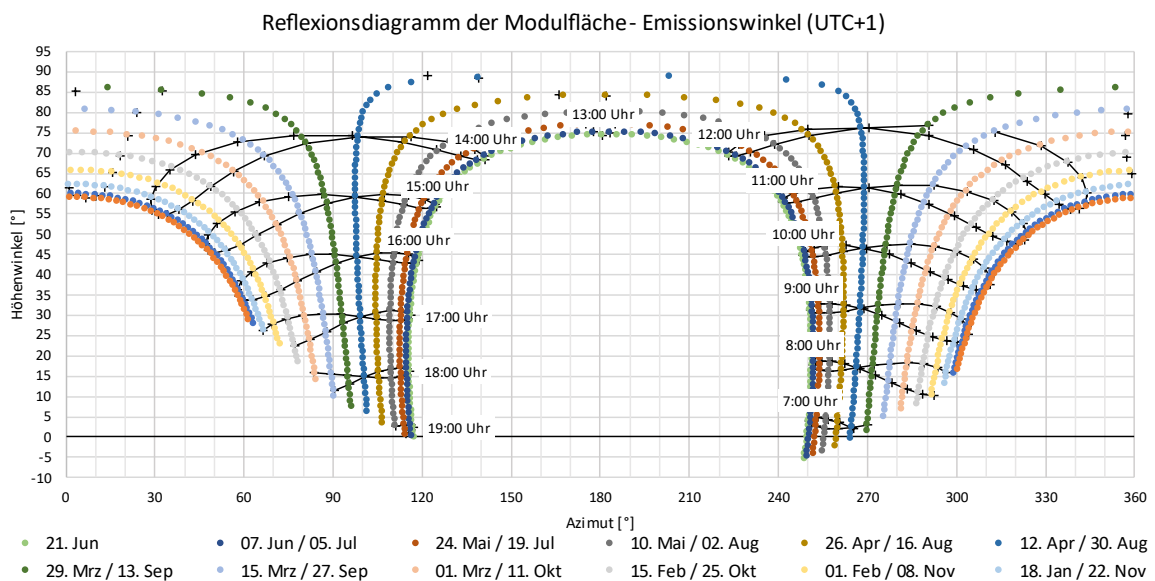


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 20° Neigung, (UTC +1), Basisneigung 4°

Die Bundesstraße 33 verläuft in Südost/Nordwestrichtung mit 129°/309°. Für den Straßen-Verkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet.

In Fahrtrichtung Südosten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr damit zwischen 99 - 159°, in Fahrtrichtung Nordwesten zwischen 279 - 339°. In Richtung B33 treffen Reflexionen aus Richtung Osten mit Immissionswinkeln zwischen

- 72° - 104° (Höhenwinkel -7° bis +5°), bei Basisneigung 7°,
- 71° - 104° (Höhenwinkel -6° bis +5°), bei Basisneigung 5,5° und
- 70° - 97° (Höhenwinkel -4° bis +5°), bei Basisneigung 4°.

Die Fahrbahn liegt in einer Entfernung von 25 m im mittleren und südlichen Teil und 45 m im nördlichen Teil zu den Modulflächen. In Richtung der auftretenden Reflexionen in West-Richtung liegt die Fahrbahn jedoch maximal 100 m (nördliche Ecke) und 70 m (mittlerer und südlicher Teil) von der Modulfläche entfernt. Mit einer angenommenen maximalen Immissionshöhe von 3 m über der Fahrbahn (LKW-Fahrer), dem Höhenunterschied von mind. 5 m (mind. 10m. an nördlicher Ecke) zwischen Modulfläche und Straße und einer mittleren Modultischhöhe von 2,15 m ergibt sich hieraus, dass Reflexionen im nördlichen Bereich nur unter einem Höhenwinkel von -5,2° und im mittleren und südlichen Bereich nur unter einem Höhenwinkel von -3,3° relevant sind. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen bei dieser (und kleinerer) Entfernung über die Verkehrsteilnehmer hinweg. Dies schränkt den Bereich möglicher Reflexionen für die Verkehrsteilnehmer der B33

- im nördlichen Bereich auf die Immissionswinkel zwischen 72° – 78°,
- im mittleren Bereich auf die Immissionswinkel zwischen 71° – 81° und
- im südlichen Bereich auf die Immissionswinkel zwischen 70° – 76° ein.

Die Reflexionen liegen damit in beiden Fahrtrichtungen nicht im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, es ist daher durch die Reflexionen nicht von einer wahrnehmungsbeeinträchtigenden Blendwirkung auszugehen.

Die Bahnstrecke verläuft parallel zur Bundesstraße B33, also in Südost/Nordwestrichtung mit 129°/309°. Für den Bahnverkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 20° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet.

In Fahrtrichtung Südosten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Bahnverkehr damit zwischen 109 - 149°, in Fahrtrichtung Nordwesten zwischen 289 - 329°. Die Immissionswinkel der Reflektionen aus Richtung Osten sind äquivalent zu den bereits für den Straßenverkehr beschriebenen Immissionswinkeln.

Die Bahnstrecke liegt in einer Entfernung von 50 m im mittleren und südlichen Teil und 65 m im nördlichen Teil zu den Modulflächen. In Richtung der auftretenden Reflexionen in West-Richtung liegt die Fahrbahn jedoch maximal 140 m (nördliche Ecke) und 110 m (mittlerer und südlicher Teil) von der Modulfläche entfernt. Mit einer angenommenen maximalen Immissionshöhe von 3 m über der Bahnstrecke, dem Höhenunterschied von mind. 7 m (mind. 12 m an nördlicher Ecke) zwischen Modulfläche und Bahnstrecke und einer mittleren Modultischhöhe von 2,15 m ergibt sich hieraus, dass Reflexionen im nördlichen Bereich nur unter einem Höhenwinkel von -4,5° und im mittleren und südlichen Bereich nur unter einem Höhenwinkel von -3,1° relevant sind. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen bei dieser (und kleinerer) Entfernung über den Bahnverkehr hinweg. Dies schränkt den Bereich möglicher Reflexionen für den Bahnverkehr

- im nördlichen Bereich auf die Immissionswinkel zwischen 72° – 80°,

- im mittleren Bereich auf die Immissionswinkel zwischen  $71^\circ$  –  $81^\circ$  und
- im südlichen Bereich auf die Immissionswinkel zwischen  $70^\circ$  –  $76^\circ$  ein.

Die Reflexionen liegen damit in beiden Fahrtrichtungen nicht im relevanten Sichtfeld des Bahnverkehrs, es ist daher durch die Reflexionen nicht von einer wahrnehmungsbeeinträchtigenden Blendwirkung auszugehen.

Die Reflexionssituation für den Verkehr in Fahrtrichtung Südwesten ist in Abbildung 14 dargestellt.

Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.



Abbildung 14: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der B33 in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)



## **6 Zusammenfassung**

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage PV Peterzell 88 für den Verkehr der anliegenden Bundesstraße 33 (B33) und der parallel dazu verlaufenden Bahnstrecke untersucht.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass es auf Basis der Strahlengeometrie zu keinen Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten auf der B33 und der Bahnstrecke kommen kann. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird damit ausgeschlossen.

Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] J. Trempler, *Optische Eigenschaften*, Carl Hanser Verlag, 2015.
- [2] J. Yellowhair und C. K. Ho, *Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts*, Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability, 2015.
- [3] C. Bucher, <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>, 2021.
- [4] P. Warthmann, <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem>, 2021.
- [5] P. R. Boyce, *Human Factors in Lightning*, CRC Press, 2014.
- [6] 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.
- [7] Länderausschuss für Immissionsschutz, *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieranlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)*, 2002.
- [8] OVE (Österreichischer Verband für Elektrotechnik), *Blendung durch Photovoltaikanlagen*, Wien, 2016.
- [9] European Union Aviation Safety Agency, *Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN, Issue 6)*, 2022.
- [10] Federal Aviation Administration, *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, Federal Register, 2013.
- [11] C. Schierz, *Über die Blendbewertung von reflektierendem Sonnenlicht bei Solaranlagen*, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- [12] ForgeSolar, <https://www.forgesolar.com/help/#assumptions>.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplante PVA in roter Umrandung und Umgebung (Quelle: Google Earth) .....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber) .....	5
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	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 [2] .....	7
Abbildung 8: links: Module mit satiniertes Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4] .....	8
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2] .....	8
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objektivitäten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5] .....	9
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 20° Neigung, (UTC +1), Basisneigung 7° .....	11
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 20° Neigung, (UTC +1), Basisneigung 5,5° .....	12
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 20° Neigung, (UTC +1), Basisneigung 4° .....	12
Abbildung 14: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsteilnehmer auf der B33 in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth) .....	14

## **9 Gewährleistung**

Unsere Fachgutachten werden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Messungen, Bewertungen, Berechnungen und Simulationen werden entsprechend dem Stand der Wissenschaft und Technik und den anerkannten Regeln der Technik mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen.

Die Fachgutachten erfolgen auf Basis der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Planungsunterlagen. Diese werden einer fachkritischen Wertung unterzogen. Die Informationen zu den technischen Parametern der einzelnen Komponenten werden soweit möglich mit Herstellerangaben abgeglichen. Dabei wird die Eignung der Komponenten anhand der entsprechenden Zertifikate oder anderer Nachweise geprüft. Der Gutachter unterstellt dabei, dass die für die Komponenten geltenden anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Für Fehlangaben des Auftraggebers sowie modellbedingte Abweichungen hat der Gutachter nicht einzustehen. Die in den Fachgutachten verwendeten Messungen sind mit Messunsicherheiten behaftet. Die Bewertungen anhand von Berechnungen sind mit Unsicherheiten in der Modellierung verbunden. Somit können Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Werten zu den tatsächlichen Werten nicht ausgeschlossen werden. Der Gutachter ist bestrebt, die Abweichungen gering zu halten.

Für einfache und grobe Fahrlässigkeit gilt eine Haftungsbegrenzung auf folgende Beträge:

1. Die Haftung für einfache Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 100.000 € beschränkt.
2. Die Haftung für alle sonstigen Fälle der Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 200.000 € begrenzt.
3. Die Haftung für Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit wird durch die vereinbarten Haftungsbegrenzungen nicht berührt. Das gleiche gilt für die Haftung wegen Vorsatz.

## **10 Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens**

Der Auftraggeber ist nicht berechtigt, das Gutachten ohne die ausdrückliche schriftliche Zustimmung des Auftragnehmers an Dritte weiterzugeben oder zu veröffentlichen, mit Ausnahme der Weitergabe an dafür vorgesehene Behörden. Eine Veröffentlichung im Internet oder die Weitergabe an andere Dritte muss schriftlich angefragt werden. Es ist wichtig, dass alle Parteien die vertraglichen Vereinbarungen respektieren, um rechtliche Konflikte zu vermeiden.