

VG Maikammer Ortsgemeinde Kirrweiler

Bebauungsplan "Sondergebiet Freiflächen-Photovoltaikanlage In der Langen Bösgewanne, Teil B"

**Stand vom
12.03.2025**

Blendgutachten

Anlage 3

BIT | STADT + UMWELT

BIT Stadt + Umwelt GmbH
Am Storrenacker 1 b ▪ 76139 Karlsruhe
Telefon +49 721 96232-70 ▪ Telefax +49 721 96232-46
www.bit-stadt-umwelt.de ▪ info@bit-stadt-umwelt.de

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

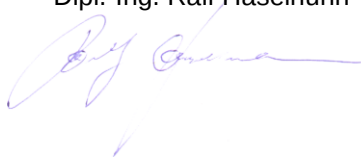
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Edenkoben

Anlage: Solarpark Edenkoben
49.290165° 8.141474°
67480 Edenkoben

in Auftrag gegeben von: EnerGeno Heilbronn-Franken Service GmbH
Moltkestraße 42
74072 Heilbronn

Projektnummer: A-LV25/0050

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ralf Haselhuhn'.

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 12.03.2025

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
6	Auswertung mit Reflexionsdiagramm.....	11
	6.1 PV-Freifläche 1	11
	6.2 PV-Freifläche 2	15
	6.3 PV-Freifläche 3	20
7	Blendschutzmaßnahmen.....	24
8	Zusammenfassung.....	27
9	Literaturverzeichnis	28
10	Abbildungsverzeichnis.....	29
11	Gewährleistung	31
12	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	31

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Edenkoben 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 nördlich des Ortsteils Edenkoben. Die Verbandsgemeinde Edenkoben ist eine Gebietskörperschaft im Landkreis Südliche Weinstraße in Rheinland-Pfalz. Östlich des Solarparks verläuft die Bahnstrecke Neustadt – Wissembourg mit der Streckennummer 3433. Weiterhin grenzen die Landesstr. 516 und die Kreisstr. 6 an die geplanten PV-Flächen sowie ein Kreisverkehr. Das Gelände ist weitestgehend eben. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin.



Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist mit einer DC-Leistung von 1.998 kWp geplant. Vorgesehen sind drei verschiedene PV-Flächen, welche als PV-Freifläche 1, 2 und 3 definiert werden. Für Freifläche 1 ist eine Ost-West-Ausrichtung ($90^\circ/270^\circ$ Azimut) mit einem Neigungswinkel von 8° geplant, siehe Abbildung 2. Für Freifläche 2 ist ebenfalls eine Ost-West-Ausrichtung ($90^\circ/270^\circ$ Azimut) mit einem Neigungswinkel von 8° geplant, siehe Abbildung 3. Für Freifläche 3 ist eine leicht abweichende Ost-West-Ausrichtung ($100^\circ/280^\circ$ Azimut) mit ebenfalls einem Neigungswinkel von 8° geplant, siehe Abbildung 4. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 1 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 1 (Quelle: Auftraggeber)

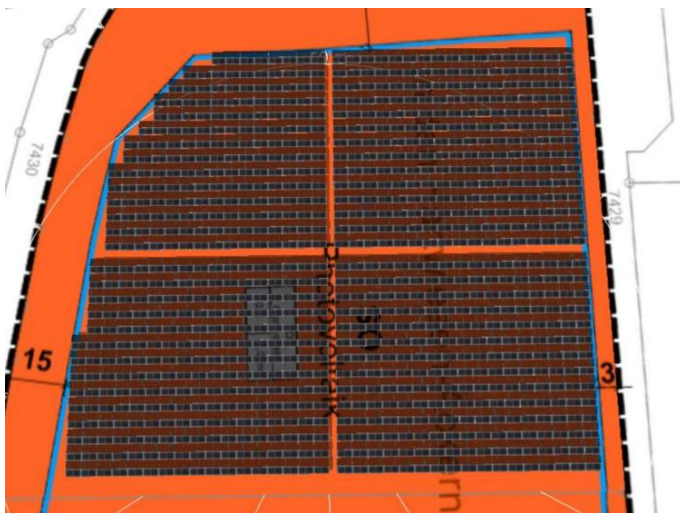


Abbildung 3: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 2 (Quelle: Auftraggeber)



Abbildung 4: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 3 (Quelle: Auftraggeber)

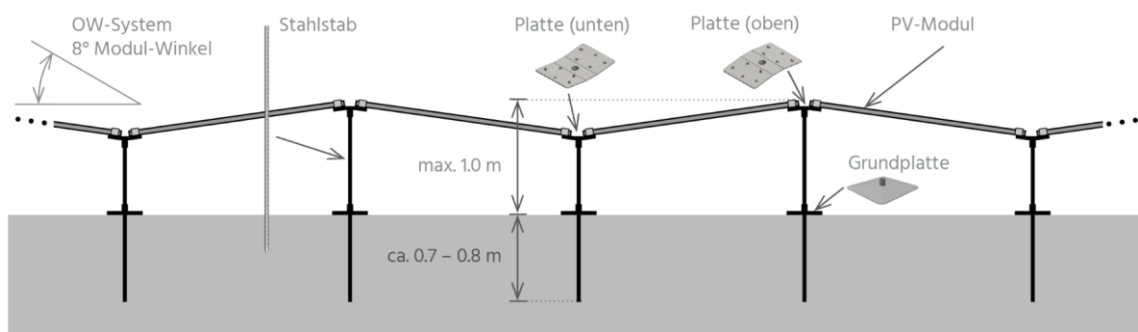


Abbildung 5: Zeichnung der Unterkonstruktion I (Quelle: Auftraggeber)

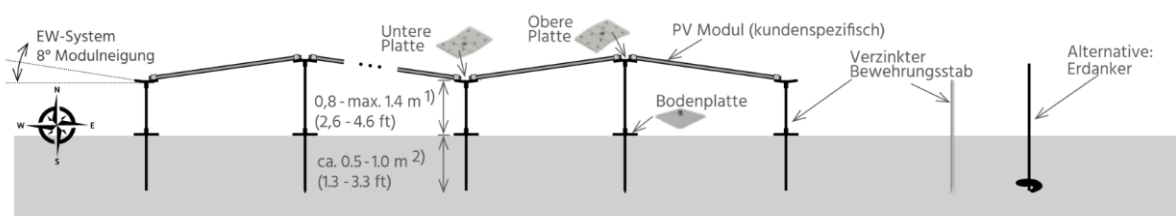


Abbildung 6: Zeichnung der Unterkonstruktion II (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

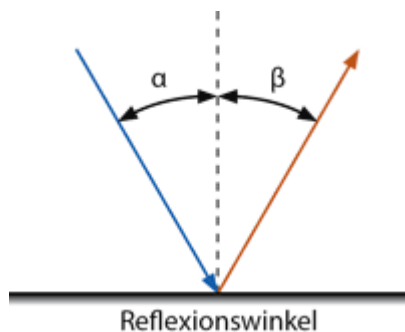


Abbildung 7: Reflexion eines Lichtstrahls

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 8 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.

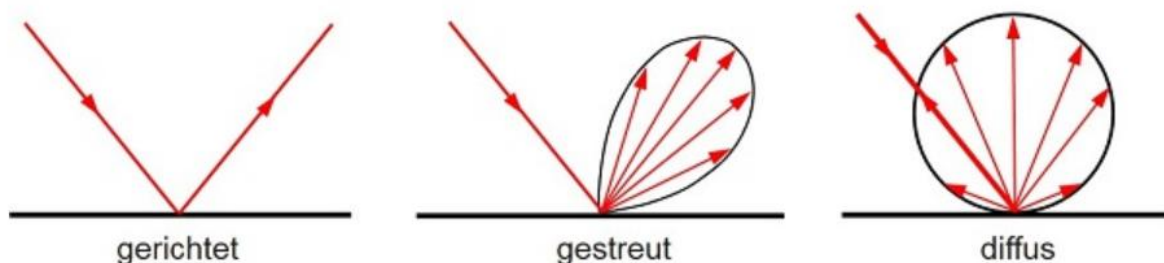


Abbildung 8: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

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 9).

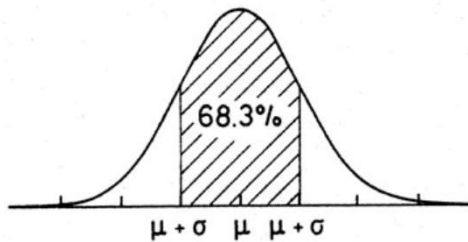


Abbildung 9: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 10 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

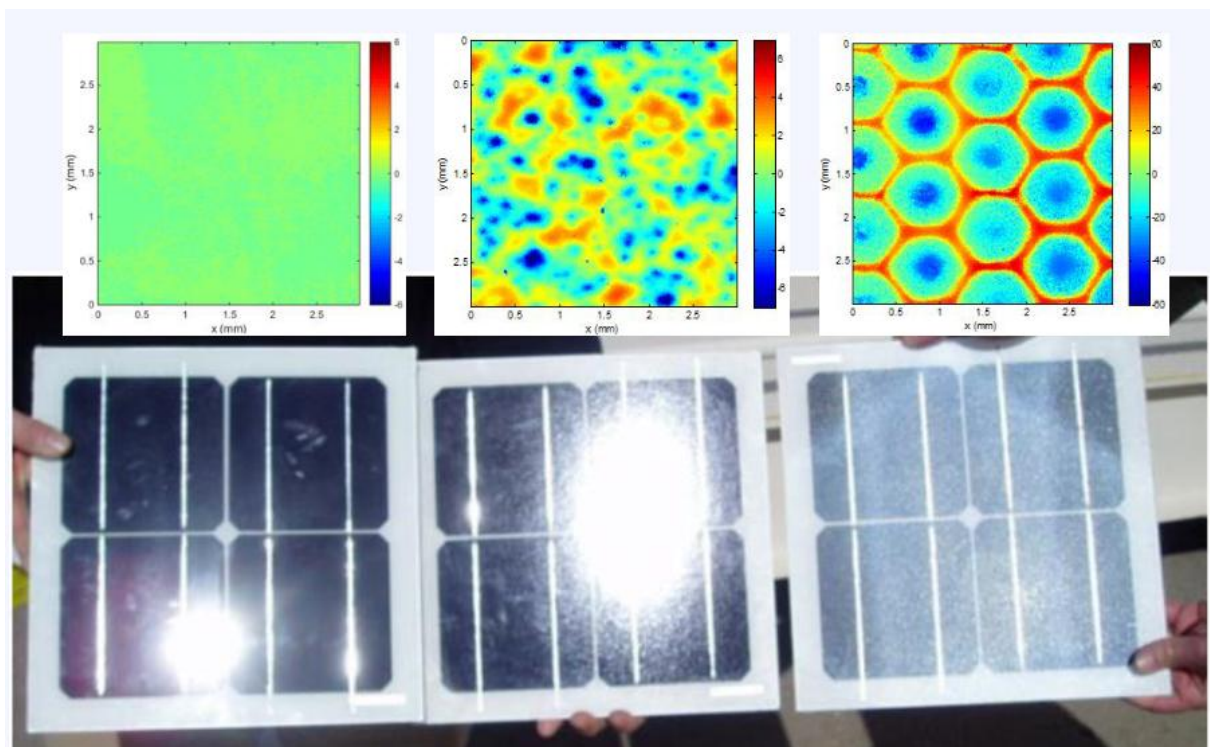


Abbildung 10: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

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°) 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 11.

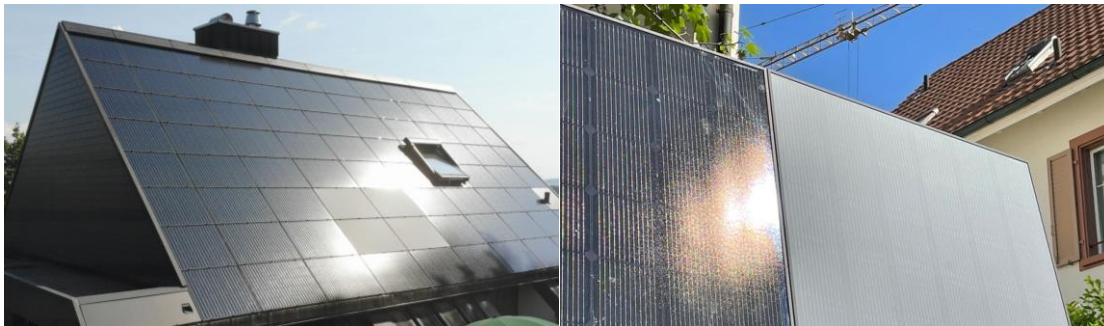


Abbildung 11: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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 12 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

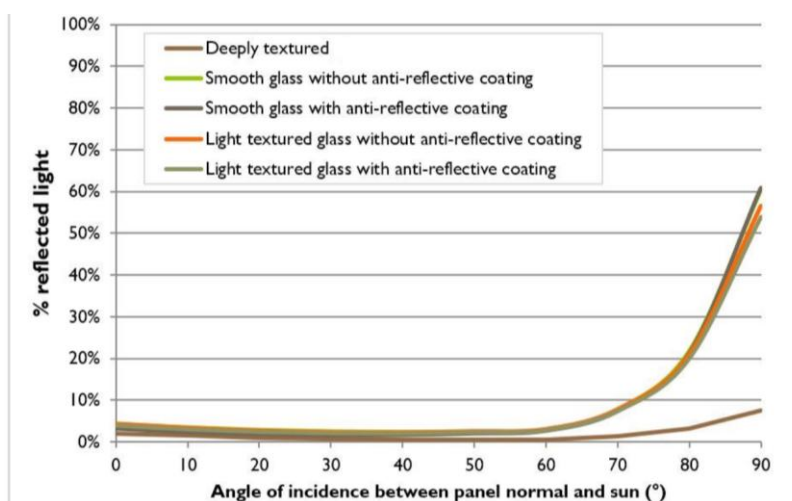


Abbildung 12 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

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 13 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.

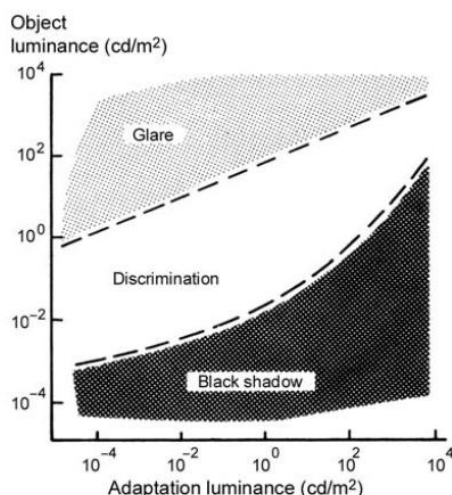


Abbildung 13: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

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 cd/m^2 definiert.

6 Auswertung mit Reflexionsdiagramm

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Auswertungen der einzelnen PV-Freiflächen dargestellt.

6.1 PV-Freifläche 1

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 14 (ost-ausgerichtete PV-Flächen) und Abbildung 15 (west-ausgerichtete PV-Flächen). 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° gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von 90° gehen in Richtung Osten.

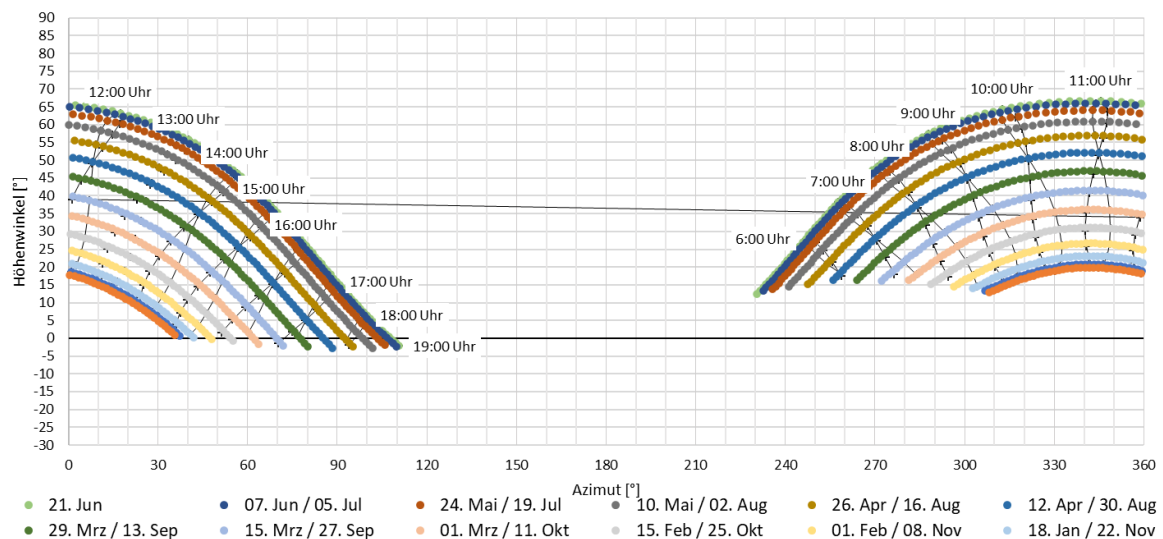


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 1 für die nach Osten ausgerichteten Module: 90° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Osten zwischen 30° - 107° auf.

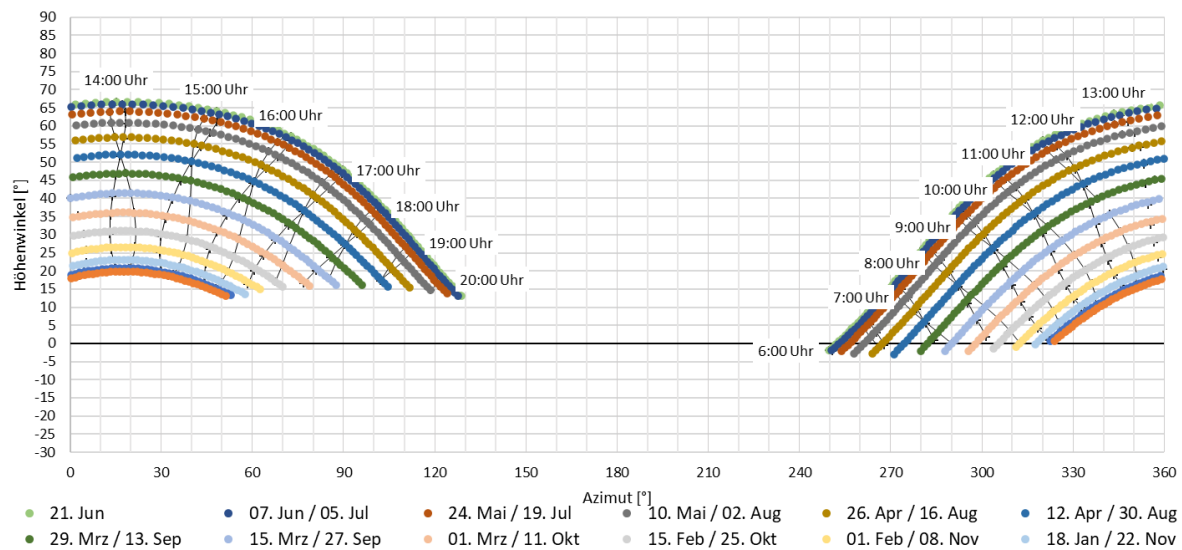


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 1 für die nach Westen ausgerichteten Module: 270° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Westen zwischen 253 - 333° auf.

Die Landesstr. L516 verläuft in Nord/Süd-Richtung mit 0°/180°. Für den Straßenverkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Süden liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen 150 - 210°, in Fahrtrichtung Norden zwischen 330 - 30°. Die Reflexionen der ostausgerichteten Module sind relevant für den Straßenverkehr der L516. Die Reflexionen liegen im äußersten Rand des relevanten Sichtfeld des Straßenverkehrs, aber nicht innerhalb des Blickfeldes. Die Reflexionen der westausgerichteten Module sind nicht relevant für den Straßenverkehr der L516, weil diese nicht in Richtung der Straße auftreten. Die relevante Reflexionssituation für den Straßenverkehr ist in Abbildung 16 dargestellt. Für beide Fahrtrichtungen liegen die Reflexionswinkel außerhalb des Blickfeldes des Straßenverkehrs.

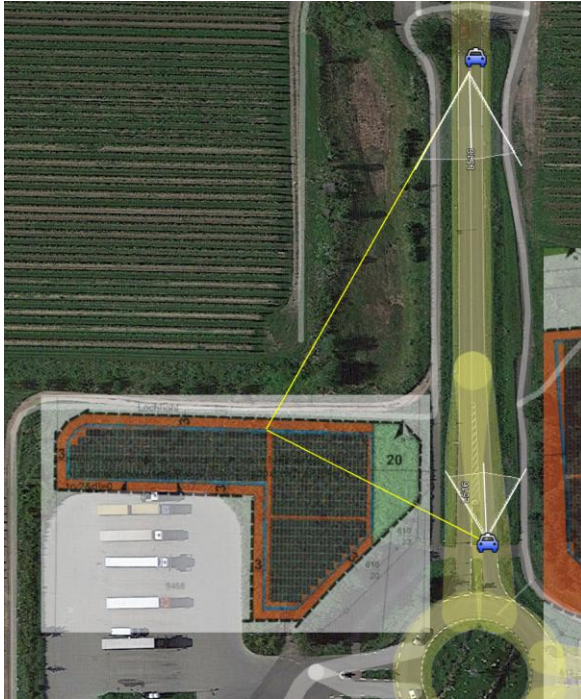


Abbildung 16: Relevanter Sichtwinkel des Straßenverkehrs der L516, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)

Die Kreisstr. K6 verläuft in Ost-West-Richtung mit $100^{\circ}/280^{\circ}$. Für den Straßenverkehr wird ein Sichtwinkel von $\pm 30^{\circ}$ zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Osten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen $70 - 130^{\circ}$, in Fahrtrichtung Westen zwischen $250 - 310^{\circ}$.

Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Westen besteht keine Sichtverbindung zum Solarpark, siehe Abbildung 17. Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Osten sind die Reflexionen nicht relevant.



Abbildung 17: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 2

Der Kreisverkehr, welcher die L516 und K6 verbindet, verzeichnet entsprechend den Fahrtrichtungen größere Bereiche an Immissionswinkeln, welche von einer potenziellen Blendung betroffen sein könnten. Für die östliche Einfahrt auf den Kreisverkehr von der Kreisstr. K6 wurden potenzielle Reflexionen festgestellt, siehe Abbildung 18. Aus diesem Grund werden in diesem Bereich Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

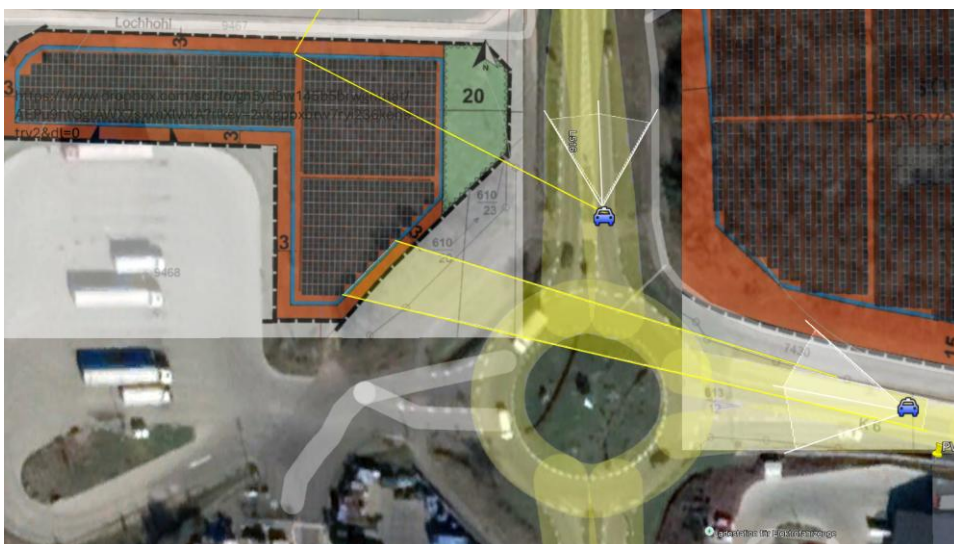


Abbildung 18: Emissionswinkel in gelb auf die westliche Ausfahrt des Kreisverkehrs

6.2 PV-Freifläche 2

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 19 (ost-ausgerichtete PV-Flächen) und Abbildung 20 (west-ausgerichtete PV-Flächen). 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° gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von 90° gehen in Richtung Osten.

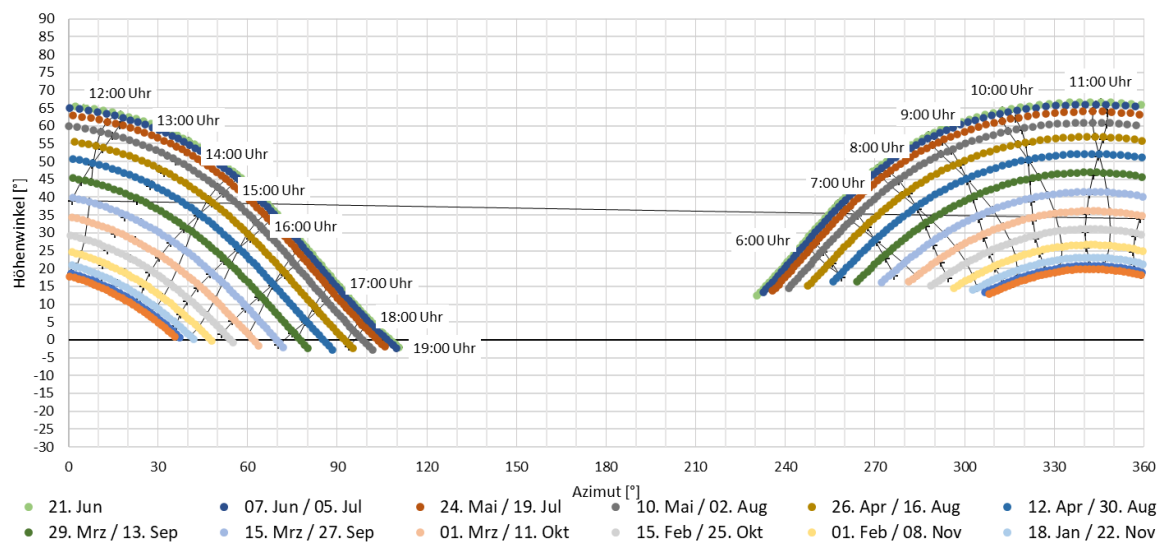


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 2 für die nach Osten ausgerichteten Module: 90° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Osten zwischen 30° - 107° auf.

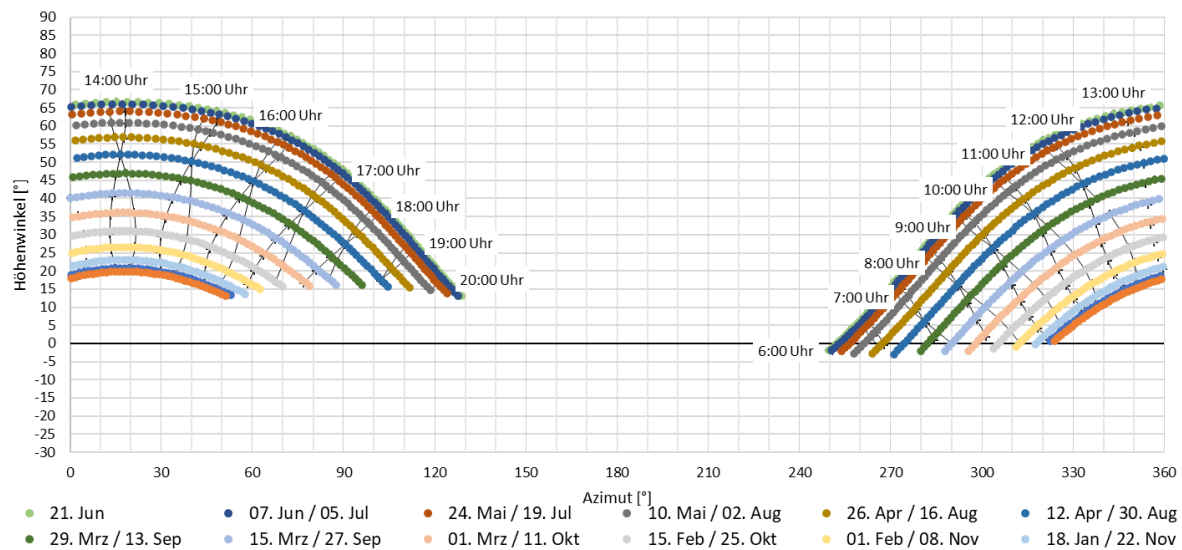


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 2 für die nach Westen ausgerichteten Module: 270° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 5° in Richtung Westen zwischen 253 - 333° auf.

Die Bahnstrecke 3433 verläuft in Nord/Süd-Richtung mit 189°/11°. Für den Bahnverkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 20° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Süden liegen die relevanten Immissionswinkel für den Bahnverkehr zwischen 169 - 209°, in Fahrtrichtung Norden zwischen 351 - 31°. Die Bahnstrecke liegt in einer Entfernung von mind. 80 m zu den Modulflächen. Weiterhin liegt die Bahnstrecke auf einem erhöhten Damm mit einer variablen Höhendifferenz zur PV-Fläche. Mit einer angenommenen maximalen Immissionshöhe von 3 m über der Fahrbahn ergibt sich hieraus, dass Reflexionen bis zu einem Höhenwinkel von 5° relevant sind. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen bei dieser (und größerer) Entfernung über die Bahn hinweg. Die Reflexionen der ostausgerichteten Module sind relevant für den Bahnverkehr. Sie liegen in beiden Fahrtrichtungen im äußeren Sichtfeld der Bahnstrecke. Die Distanz der Reflexionen beträgt mindestens 250 m bis zum ersten Eintreten in Richtung des Bahnverkehrs. Weiterhin sind auf diesem Streckenabschnitt keine Lichtsignale installiert. Die Reflexionen der westausgerichteten Module sind nicht relevant, da sie nach Westen verursacht werden. Die Reflexionssituation für den Bahnverkehr für die nach Osten ausgerichteten Module ist in Abbildung 21 dargestellt. Für beide Fahrtrichtungen liegen die Reflexionswinkel am äußersten Rand des Blickfeldes des Bahnverkehrs, aber nicht innerhalb des Blickfeldes.

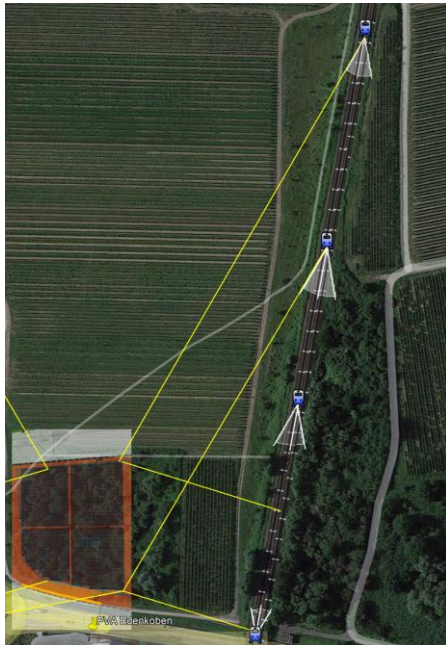


Abbildung 21: Relevanter Sichtwinkel der Bahnstrecke, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)

Die Landesstr. L516 verläuft in Nord/Süd-Richtung mit $0^\circ/180^\circ$. Für den Straßenverkehr wird ein Sichtwinkel von $\pm 30^\circ$ zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Süden liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen $150^\circ - 210^\circ$, in Fahrtrichtung Norden zwischen $330^\circ - 30^\circ$. Die Reflexionen der westausgerichteten Module sind relevant für den Straßenverkehr der L516. Die Reflexionen liegen im äußersten Rand des relevanten Sichtfeld des Straßenverkehrs, aber nicht innerhalb des Blickfeldes. Die Reflexionen der ostausgerichteten Module sind nicht relevant für den Straßenverkehr der L516, weil diese in Richtung Osten verursacht werden. Die Reflexionssituation für den Straßenverkehr für die nach Westen ausgerichteten Module ist in Abbildung 22 dargestellt. Für beide Fahrtrichtungen liegen die Reflexionswinkel außerhalb des Blickfeldes.



Abbildung 22: Relevanter Sichtwinkel des Straßenverkehrs der L516, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)

Die Kreisstr. K6 verläuft in Ost-West-Richtung mit $100^{\circ}/280^{\circ}$. Für den Straßenverkehr wird ein Sichtwinkel von $\pm 30^{\circ}$ zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Osten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen $70 - 130^{\circ}$, in Fahrtrichtung Westen zwischen $250 - 310^{\circ}$. Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Westen besteht keine Sichtverbindung zum Solarpark, siehe Abbildung 23. Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Osten sind die Reflexionen nicht relevant.



Abbildung 23: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 2

Der Kreisverkehr, welcher die L516 und K6 verbindet, verzeichnet entsprechend den Fahrtrichtungen größere Bereiche an Immissionswinkeln, welche von einer potenziellen Blendung betroffen sein könnten. Für die westliche Einfahrt auf den Kreisverkehr wurden potenzielle Reflexionen festgestellt. Aus diesem Grund werden in diesem Bereich Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

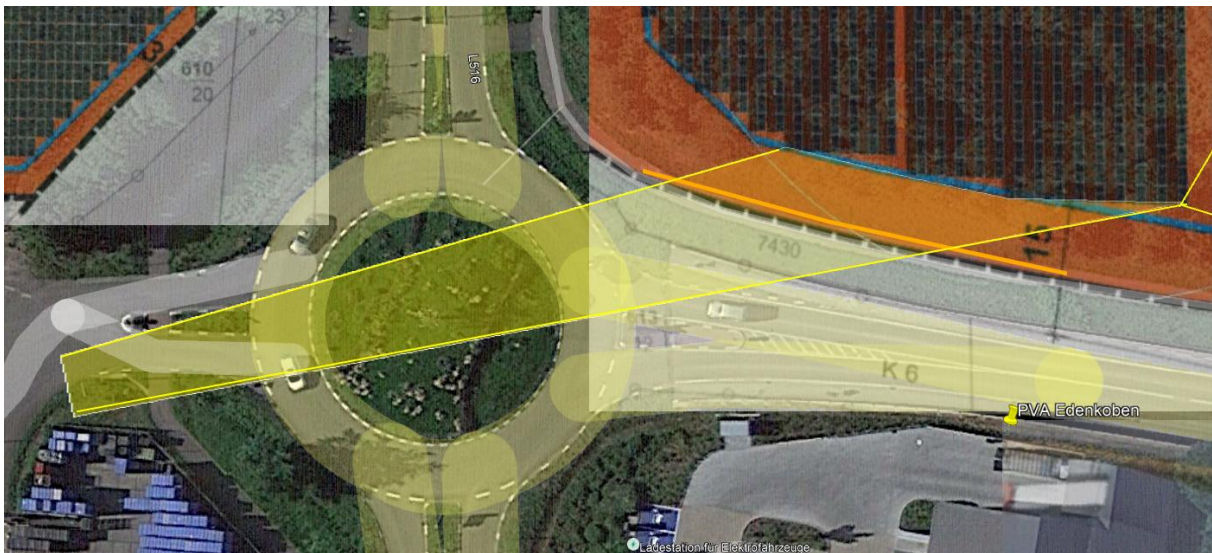


Abbildung 24: Emissionswinkel in gelb auf die westliche Ausfahrt des Kreisverkehrs

6.3 PV-Freifläche 3

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 25 (ost-ausgerichtete PV-Flächen) und Abbildung 26 (west-ausgerichtete PV-Flächen). 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° gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von 90° gehen in Richtung Osten.

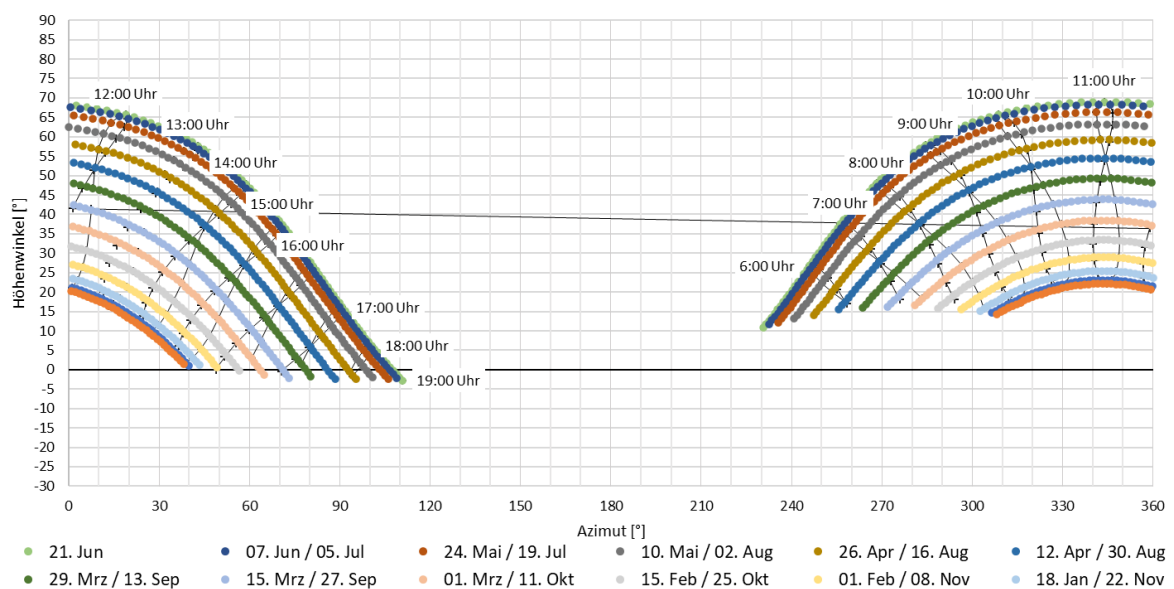


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module: 100° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms der Modulfläche für die nach Osten ausgerichteten Module treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 6° in Richtung Osten zwischen 34° - 107° auf.

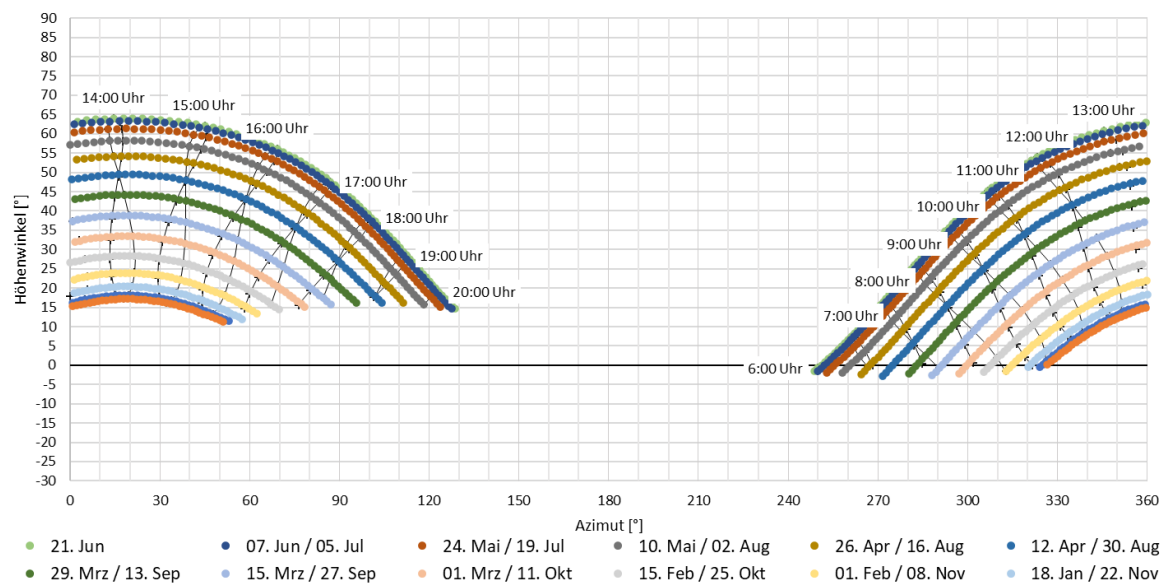


Abbildung 26: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 3 für die nach Westen ausgerichteten Module: 280° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms der Modulfläche für die nach Westen ausgerichteten Module treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis 6° in Richtung Osten zwischen 251 - 334° auf.

Die Bahnstrecke 3433 verläuft in Nord/Süd-Richtung mit 189°/11°. Für den Bahnverkehr wird ein Sichtwinkel von +/- 20° zur Fahrtrichtung für relevant erachtet. In Fahrtrichtung Süden liegen die relevanten Immissionswinkel für den Verkehr zwischen 169 - 209°, in Fahrtrichtung Norden zwischen 351 - 31°. Die Bahnstrecke liegt in einer Entfernung von ca. 10 m zu den Modulflächen. Weiterhin liegt die Bahnstrecke auf einem erhöhten Damm mit einer Höhendifferenz von mindestens 3 m zur PV-Fläche. Mit einer angenommenen maximalen Immissionshöhe von 3 m über der Fahrbahn ergibt sich hieraus, dass Reflexionen bis zu einem Höhenwinkel von 6° relevant sind. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen bei dieser (und größerer) Entfernung über die Bahn hinweg. Dies schränkt den Bereich möglicher Reflexionen für die Bahnstrecke auf die Immissionswinkel zwischen 278 – 294° ein. Die Reflexionen liegen damit in beiden Fahrtrichtungen nicht im relevanten Sichtfeld der Bahnstrecke, es ist daher durch die Reflexionen nicht von einer wahrnehmungsbeeinträchtigenden Blendwirkung auszugehen. Die Reflexionssituation für den Bahnverkehr ist in Abbildung 27 dargestellt. Für die Fahrtrichtung Süden liegen die Reflexionswinkel leicht außerhalb des Blickfeldes des Bahnverkehrs. Für die Fahrtrichtung Süden liegen die Reflexionswinkel nicht im Blickfeld des Bahnverkehrs. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen für die Freifläche 3 erforderlich.

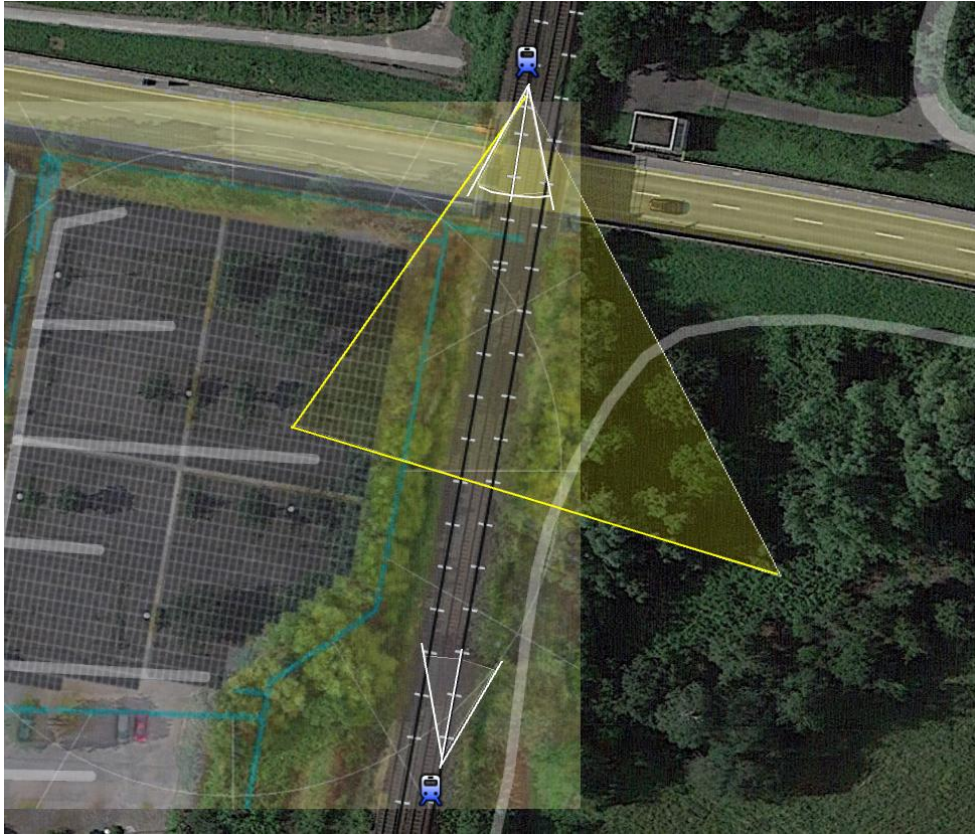


Abbildung 27: Relevanter Sichtwinkel der Bahnstrecke, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)

Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Westen besteht keine Sichtverbindung zum Solarpark, siehe Abbildung 28.

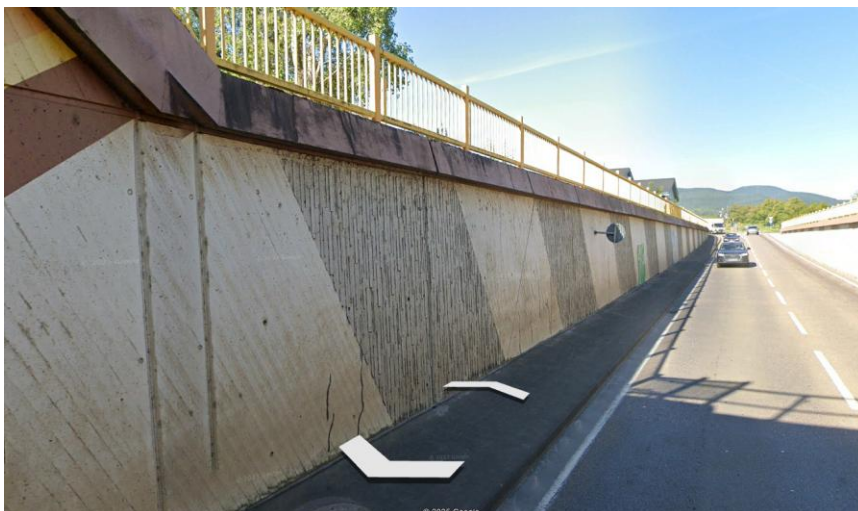


Abbildung 28: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module

Für den Straßenverkehr der Kreisstraße K6 in Fahrtrichtung Osten besteht ebenfalls keine Sichtverbindung zum Solarpark, siehe Abbildung 29. Der vorhandene Bewuchs darf über die Laufzeit der PV-Anlage nicht entfernt werden. Sollte dies der Fall sein, muss erneut geprüft werden, ob eine theoretische Sichtverbindung zum Solarpark besteht.



Abbildung 29: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module

7 Blendschutzmaßnahmen

Es werden nachfolgend Blendschutzmaßnahmen vorgeschlagen, mit welchen sich Reflexionen im relevanten Sichtbereich der Verkehrsteilnehmer vermeiden lassen. Es handelt sich lediglich um Vorschläge, auch andere Arten von Blendschutzmaßnahmen können zielführend sein.

Die Umsetzung der Sichtunterbrechung kann beispielsweise in Form eines blickdichten Zauns, einer blickdichten Folie an der geplanten Einfriedung oder gepflanzten blickdichten Bewuchses (wie z.B. Buchenhecken) realisiert werden. Die Maßnahmen zur Sichtunterbrechung zwischen den PV-Modulen des Solarparks und dem Straßenverkehr können in der weiteren Phase 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.

PV – Freifläche 1:

Um Reflexionen auf den Kreisverkehr und in Teilen auf den Straßenverkehr der K6 zu vermeiden, wird eine Sichtunterbrechung zur Straße mit einer Höhe entsprechend der Moduloberkante empfohlen, mindestens jedoch 1,80 m, wobei der untere Bereich bis zu einer Höhe von 60 cm ausgelassen werden kann. Für die Umsetzung bieten sich feinmaschige Netze an, welche an der bestehenden Umzäunung angebracht werden können. Die empfohlenen Abmessungen der Sichtunterbrechung sind in Abbildung 30 dargestellt.

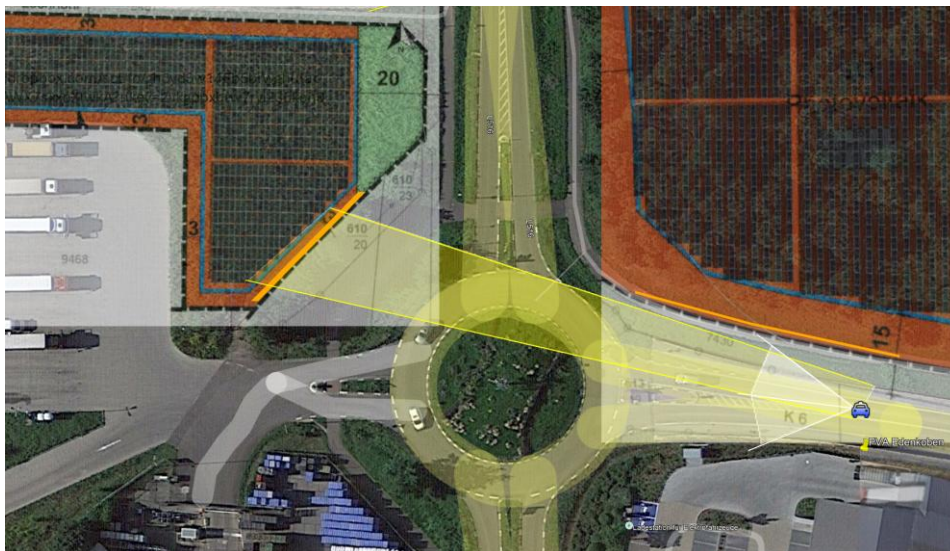


Abbildung 30: Kreisverkehr und Streckenabschnitt der K6 mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth)

PV-Freifläche 2:

Um Reflexionen auf den Kreisverkehr und in Teilen auf den Straßenverkehr der K6 zu vermeiden, wird eine Sichtunterbrechung zur Straße mit einer Höhe entsprechend der Moduloberkante empfohlen, mindestens jedoch 1,80 m, wobei der untere Bereich bis zu einer Höhe von 60 cm ausgelassen werden kann. Für die Umsetzung bieten sich feinmaschige Netze an, welche an der bestehenden Umzäunung angebracht werden können. Die empfohlenen Abmessungen der Sichtunterbrechung sind in Abbildung 31 dargestellt.

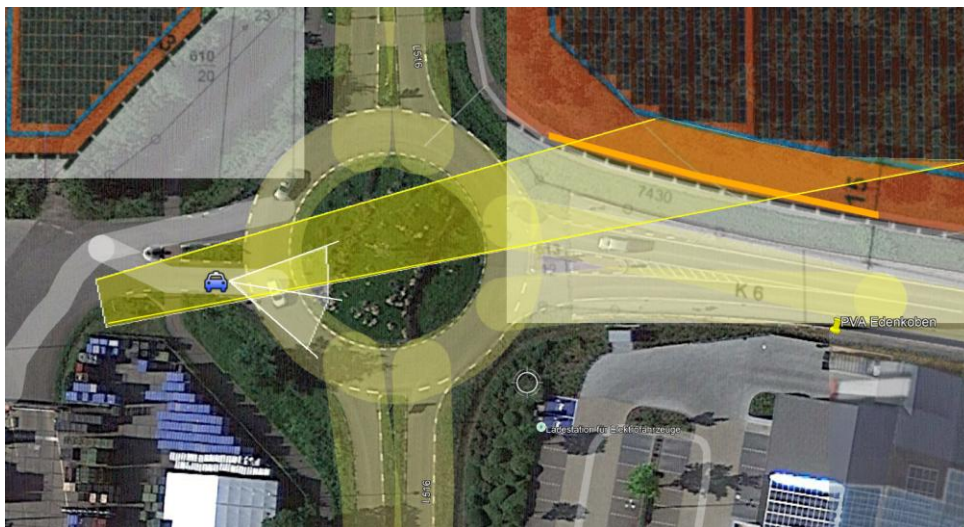


Abbildung 31: Kreisverkehr mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Emissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth)

PV-Freifläche 3:

Für PV-Freifläche 3 sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

Sollte der aktuelle Bewuchs, welcher in Abbildung 32 dargestellt ist, bestehen bleiben, ist dieser als gültige Sichtunterbrechung zwischen der PV-Freifläche 1 und 2 und den Immissionsorten zu bewerten. Dabei ist seitens des Auftraggebers sicher zu stellen, dass dieser über die Laufzeit der PV-Anlage bestehen bleibt und eine ausreichende Sichtunterbrechung gewährleisten kann.



Abbildung 32: Bewuchs, welcher als Sichtunterbrechung argumentiert werden könnte

8 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Edenkoben für den Bahnverkehr der Bahnlinie 3433, der Kreisstraße K6, der Landesstr. L516 und dem Kreisverkehr untersucht.

In Richtung der Kreisstraße K6 und dem Kreisverkehr kann eine potenzielle Gefährdung durch Reflexionen in Richtung des Straßenverkehrs nicht ausgeschlossen werden. Aus diesem Grund werden Blendschutzmaßnahmen empfohlen, welche in Kapitel 8 beschrieben sind.

Für den Bahnverkehr liegen die ermittelten Reflexionen aufgrund der Strahlengeometrie nicht im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird damit ausgeschlossen.

9 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 Windenergieanlagen (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>.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 1 (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 2 (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 4: Modulbelegungsplan der PV-Freifläche 3 (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 5: Zeichnung der Unterkonstruktion I (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 6: Zeichnung der Unterkonstruktion II (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 7: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 8: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]	6
Abbildung 9: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	7
Abbildung 10: 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 11: links: Module mit satinierte Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4].....	8
Abbildung 12 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	8
Abbildung 13: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	9
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 1 für die nach Osten ausgerichteten Module: 90° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	11
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 1 für die nach Westen ausgerichteten Module: 270° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	12
Abbildung 16: Relevanter Sichtwinkel des Straßenverkehrs der L516, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)	13
Abbildung 17: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 2	14
Abbildung 18: Emissionswinkel in gelb auf die westliche Ausfahrt des Kreisverkehrs	14
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 2 für die nach Osten ausgerichteten Module: 90° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	15
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 2 für die nach Westen ausgerichteten Module: 270° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	16
Abbildung 21: Relevanter Sichtwinkel der Bahnstrecke, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)	17
Abbildung 22: Relevanter Sichtwinkel des Straßenverkehrs der L516, Emissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in gelb (Quelle: Google Earth)	18
Abbildung 23: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 2	19
Abbildung 24: Emissionswinkel in gelb auf die westliche Ausfahrt des Kreisverkehrs	19

Abbildung 25: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module: 100° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	20
Abbildung 26: Reflexionsdiagramm der PV-Freifläche 3 für die nach Westen ausgerichteten Module: 280° Azimut, 8° Neigung, (UTC +1)	21
Abbildung 27: Relevanter Sichtwinkel der Bahnstrecke, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)	22
Abbildung 28: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module	22
Abbildung 29: Sicht von Straßenverkehr K6 auf PV-Freifläche 3 für die nach Osten ausgerichteten Module	23
Abbildung 30: Kreisverkehr und Streckenabschnitt der K6 mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Immissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth)	24
Abbildung 31: Kreisverkehr mit Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer, auftretende Immissionswinkel in gelb, relevantes Sichtfeld in weiß, empfohlene Sichtunterbrechung in orange (Quelle: Google Earth)	25
Abbildung 32: Bewuchs, welcher als Sichtunterbrechung argumentiert werden könnte	26

11 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.

12 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.