



**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.**  
International Solar Energy Society, German Section

Landesverband Berlin Brandenburg e. V.  
Erich-Steinfurth-Str. 8  
10243 Berlin

**Phone** +49 (030) 29 38 12 60

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

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

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

Anlage: Solarpark Niedermurach-Sallach  
49.431309° 12.391236°  
92525 Sallach (Niedermurach)  
Deutschland

in Auftrag gegeben von: Greenovative GmbH  
Fürther Str. 252  
90429 Nürnberg

Projektnummer: A-LV24/0068

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Christoph Johann

Berlin, 11.03.2024

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 .....	7
	4.1 Geometrische Reflexionssituation .....	7
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen .....	8
	4.3 Blendung.....	10
5	Methodik der Untersuchung .....	11
6	Ergebnisse .....	12
7	Schlussbemerkung.....	14
8	Literaturverzeichnis .....	15
9	Abbildungsverzeichnis.....	16



## 1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Niedermurach-Sallach 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

Gelegen ist der geplante in Sallach. Sallach ist ein Ortsteil der Gemeinde Niedermurach im Oberpfälzer Landkreis Schwandorf (Bayern). Sallach liegt ungefähr drei Kilometer südlich von Niedermurach am Südwesthang des 655 m hohen Kätzlesberges. Der Solarpark ist in der Gemarkung Wagnern, Flurstück 435 geplant. Westlich des Solarparks verläuft die Kreisstraße SAD43 (kurz: SAD43). Eine Übersicht der Umgebung ist in Abbildung 1 gegeben.



Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

### 3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Solarpark ist auf einer Fläche von 9,5 ha geplant während die Modulfläche 5,9 ha beträgt. Die DC – Nennleistung beträgt 5.443,2 kWp während die AC – Leistung 4.200 kW beträgt. Der Modulneigungswinkel beträgt  $15^\circ$  bei einem Azimut von  $180^\circ$  (Südausrichtung). Bei den Modultischen handelt es sich jeweils um ein Zwei-Pfeiler-System. Die Modulunterkante ist auf einer Höhe von ca. 0,8 m geplant, die Moduloberkante auf ca. 2,68 m. Der Modulbelegungsplan der PV-Anlage ist in Abbildung 2 zu sehen und die Unterkonstruktion in Abbildung 3.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber, Google Earth)



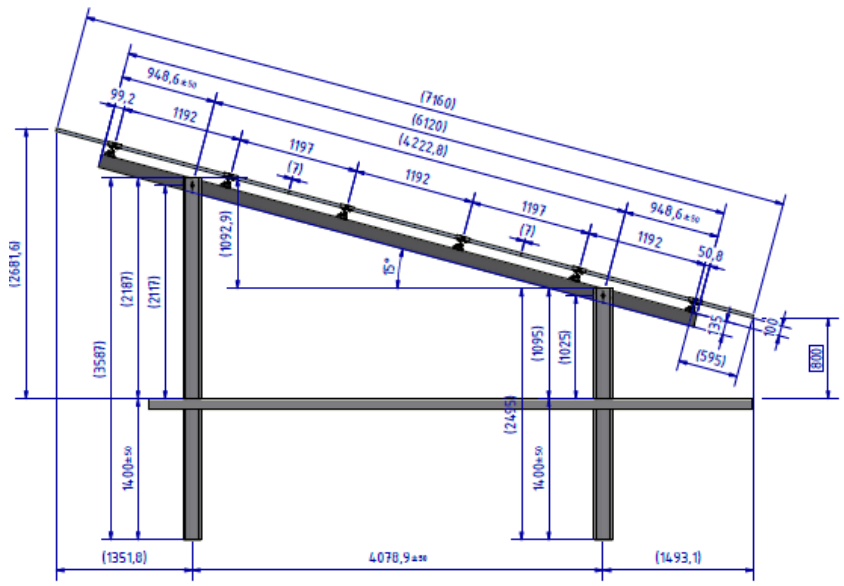


Abbildung 3: Maße der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

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

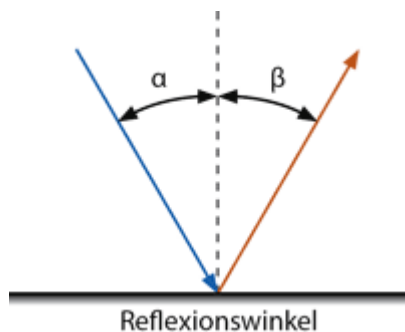


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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

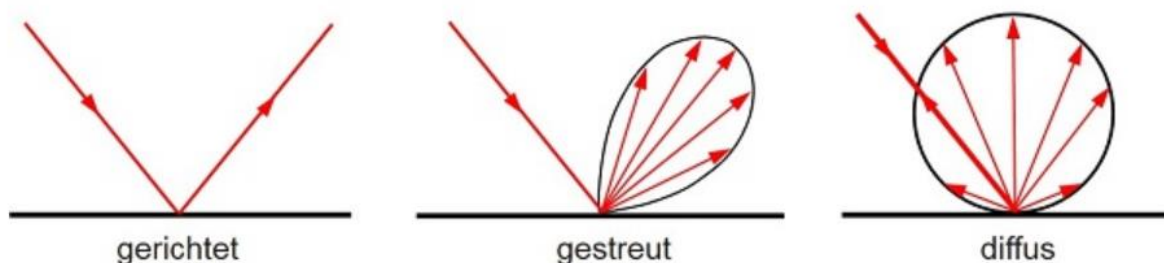


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

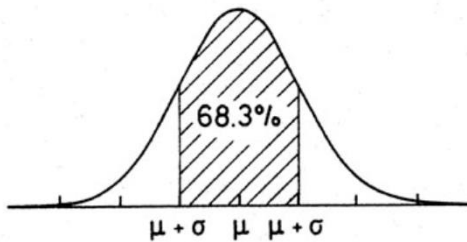


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 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.

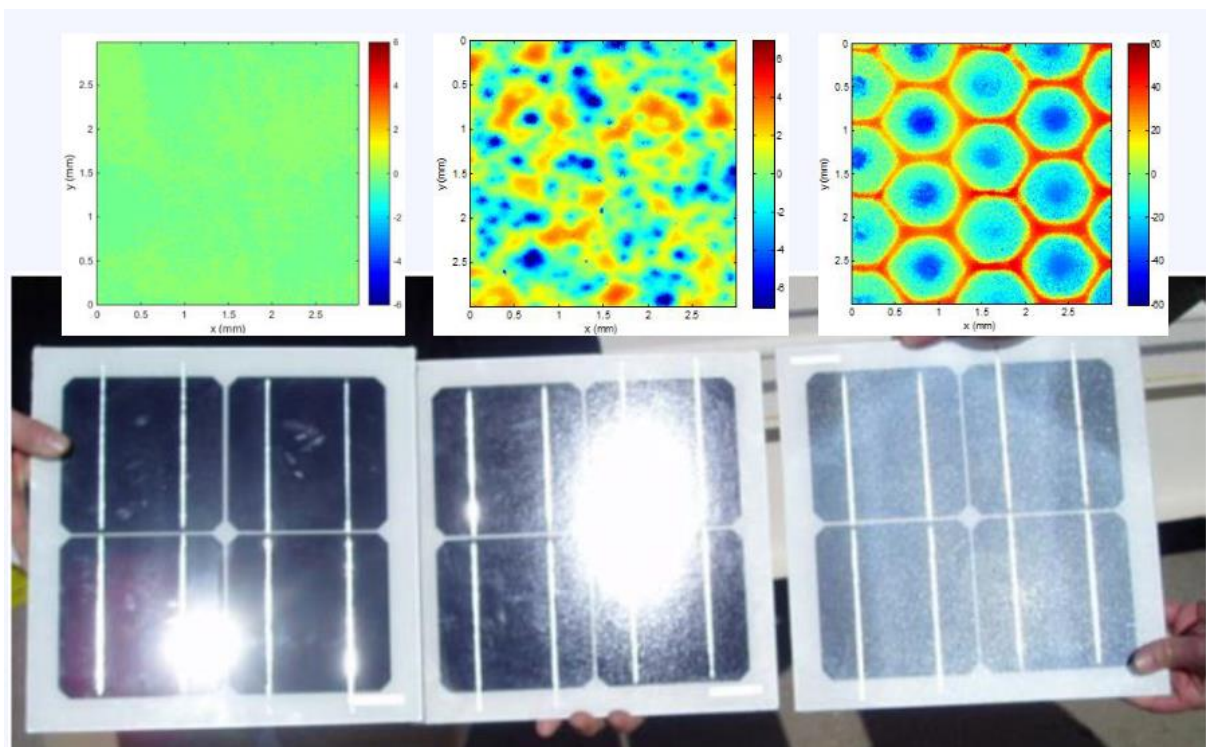


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)



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 ( $58^\circ$ ) 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.

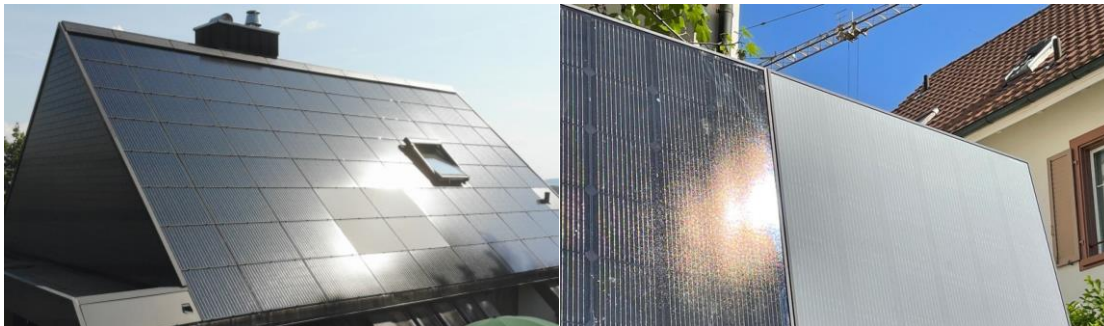


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Buchner 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

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.

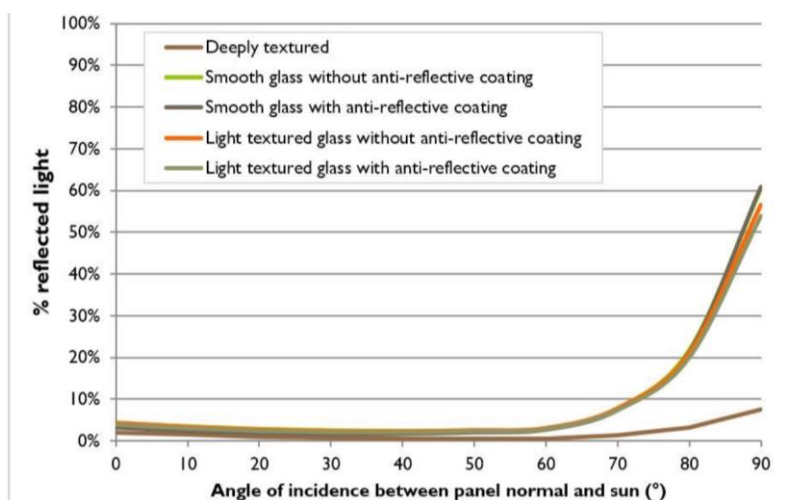


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

### 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.

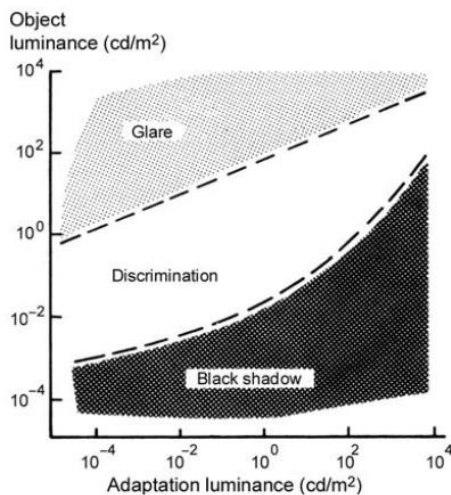


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

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 Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 11. In diesen ist die Richtung der möglichen Reflexionen der Sonne an den Modulflächen dargestellt. 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.

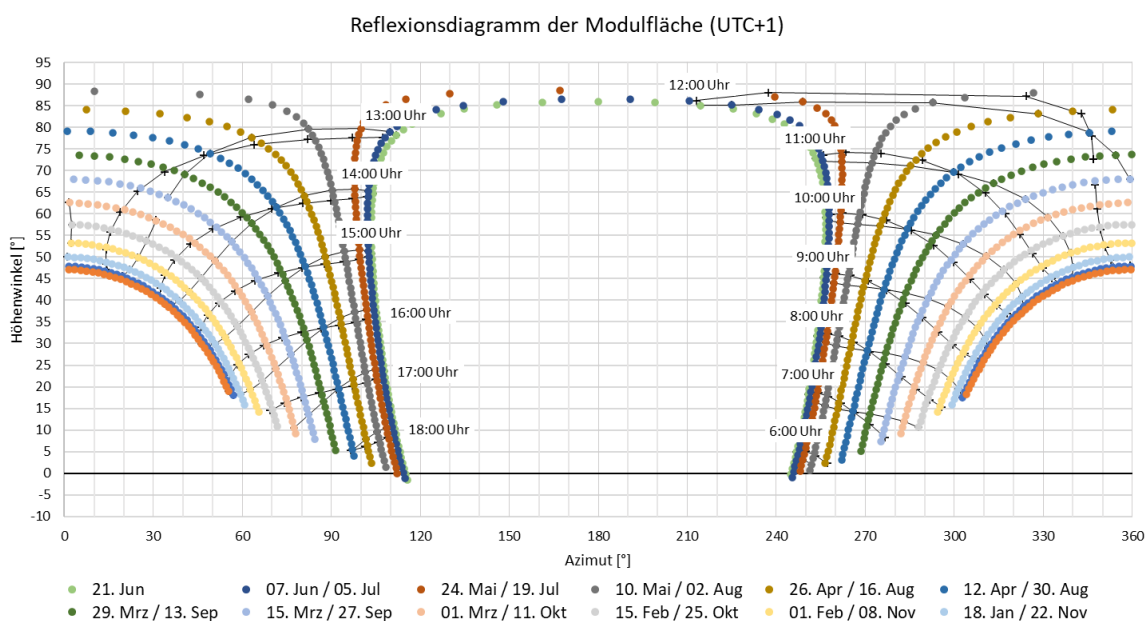


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für den Standort Niedermurach Sallach mit einem Azimutwinkel von  $180^\circ$  und einem Modulneigungswinkel von  $15^\circ$

Gemäß Diagramm treten horizontnahe Reflexionen/Emissionen in Richtung Osten zwischen  $80^\circ$ - $115^\circ$  (zwischen 17:00 und 19:30) und in Richtung Westen zwischen  $245^\circ$ - $280^\circ$  (zwischen 05:30 und 07:00) auf. Für den Straßenverkehr der SAD43 werden Immissionswinkel mit  $\pm 30^\circ$  zur Fahrtrichtung als relevant erachtet. In Fahrtrichtung Norden sind dies die Immissionswinkel zwischen  $321^\circ$ - $21^\circ$ , in Fahrtrichtung Süden die Immissionswinkel zwischen  $131^\circ$ - $201^\circ$ . Die Reflexionen, die vom Solarpark verursacht werden, treffen somit nicht in das Sichtfeld der StraßenverkehrsteilnehmerInnen. Abbildung 12 verdeutlicht die Reflexionen (Emissionswinkel) und die Immissionswinkel der Straßenverkehrsteilnehmer. Es wird deutlich, dass aufgrund der Ausrichtung der SAD43 die Reflexionen nicht in das relevante Sichtfeld treffen.



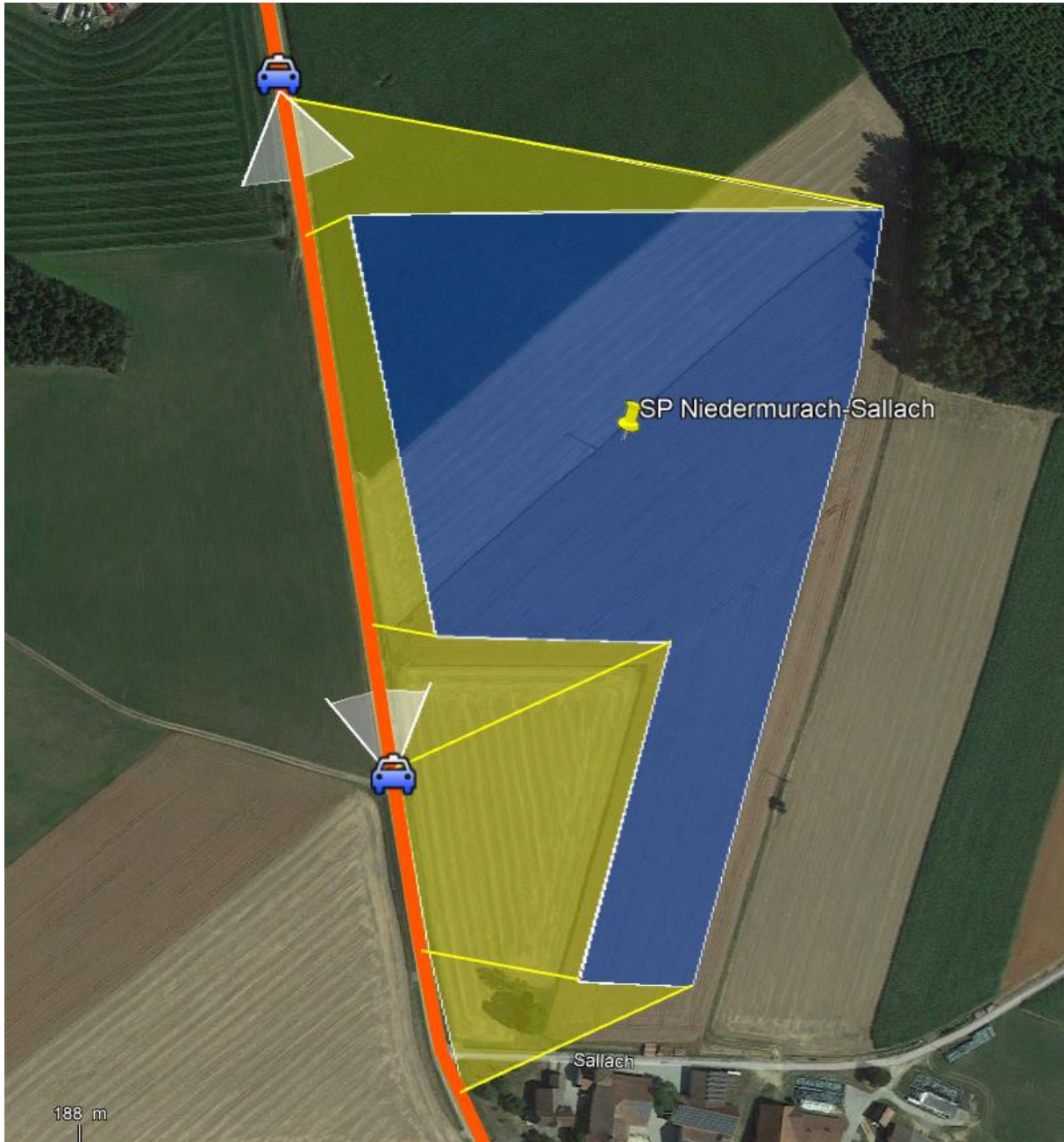


Abbildung 12: Emissionswinkel der PV-Fläche und Immissionswinkel der Straßenverkehrsteilnehmer mit Blickwinkelberücksichtigung von  $\pm 30^\circ$





## **7 Schlussbemerkung**

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen des geplanten Solarparks Niedermurach-Sallach für den Verkehr der westlich angrenzenden Kreisstr. SAD43 untersucht. Das Gutachten stellt fest, dass es bei der geplanten Modulausrichtung zu keinen Reflexionen im relevanten Sichtfeld von StraßenverkehrsteilnehmerInnen kommt. Eine Gefährdung des Straßenverkehrs durch Reflexionen an den Modulflächen wird daher ausgeschlossen. Es werden keine Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

## 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 Blendbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen*. Ilmenau: TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- Trempler, J. *Optische Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Warthmann, Peter. „gebaeudetechnik.ch.“ *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem*. 15. Oktober 2021. <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.
- Yellowhair, Julius Yellowhair, und Clifford K. Ho. „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and GlintGlare Impacts.“ *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability*. Albuquerque, New Mexico: Laboratories, Sandia National, 2015. 49481.
- Zehndorfer Engineering GmbH . „Lichttechnisches Gutachten Reflexionen KIOTO HC Modul.“ Klagenfurt, 2022.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth) .....	4
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber, Google Earth) .....	5
<b>Abbildung 3: Maße der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber) .....</b>	<b>6</b>
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	7
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015) .....	7
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung .....	8
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) .....	8
Abbildung 8: links: Module mit satiniertes Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021) .....	9
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015) .....	9
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	10
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für den Standort Niedermurach Sallach mit einem Azimutwinkel von 180° und einem Modulneigungswinkel von 20° .....	12
Abbildung 12: Emissionswinkel der PV-Fläche und Immissionswinkel der Straßenverkehrsteilnehmer mit Blickwinkelberücksichtigung von +-30°.....	13