



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

DGS 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 Görmin Göslow

Anlage: Solarpark Görmin Göslow
53.986660°, 13.318396°
17121 Görmin

in Auftrag gegeben von: Wattmanufactur GmbH & Co.KG
Gotteskoogdeich 32
25899 Galmsbüll

Projektnummer: A-LV23/0238

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Markus Stich

Berlin, 26.01.2024

Vereinsregister:
Amtsgericht
Berlin-Charlottenburg
VR 7591 B

Bankverbindung:
Bank für Sozialwirtschaft
BLZ 100 205 00
Konto 30 32 403

U-ID-Nr.: DE151155798
BIC: BFSWDE33BER
IBAN: DE74 1002 0500 0003 0324 03

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
	5.1 Bewertungsbasis	9
	5.2 Simulationstool und Modellierung	10
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	11
6	Simulation.....	12
	6.1 PV - Anlage.....	12
	6.2 Immissionsorte.....	13
7	Ergebnisse	14
8	Schlussbemerkung.....	19
9	Literaturverzeichnis	20
10	Abbildungsverzeichnis.....	21
11	Anhang	22

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Görmin Göslow 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 hierzu zunächst relevante Bereiche ausgemacht, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Wird für einen oder mehrere Bereiche potenzielle Blendung vermutet, kann dies anhand einer Simulation ausgeschlossen oder nachgewiesen werden. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet und eingeordnet und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

2 Beschreibung der Umgebung

Gelegen ist der geplante Solarpark in der Ortschaft Göslow zugehörig zur Gemeinde Görmin im Landkreis Vorpommern-Greifswald in Mecklenburg-Vorpommern. Der Solarpark ist auf und um ein früheres Hofgelände zur Rinderhaltung/Zucht geplant. Östlich an den Solarpark schließt die Kreisstraße 6 (auch als Hauptstraße geführt) an den Solarpark an. Weiter befinden sich nördlich und südöstlich des Solarparks Wohngebäude der Ortschaft Göslow. 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 Modulbelegungsplan der PV-Anlage ist in Abbildung 2 zu sehen. Die Modulflächen des Solarparks sind in zwei verschiedenen Ausrichtungen geplant. Die beiden südwestlichen Teilflächen sind mit einem Azimut von 204° ausgerichtet, die beiden nordöstlichen Teilflächen mit einem Azimut von 199° . Bei den Modultischen handelt es sich um ein Zwei-Pfeiler Rammsystem mit drei hochkant ausgerichteten Modulen über die Tischbreite mit Neigungswinkeln von 15° . Die Modulunterkante ist auf einer Höhe von ca. 0,8 m geplant, die Moduloberkante auf ca. 2,7 m. Eine schematische Darstellung der Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 gegeben.

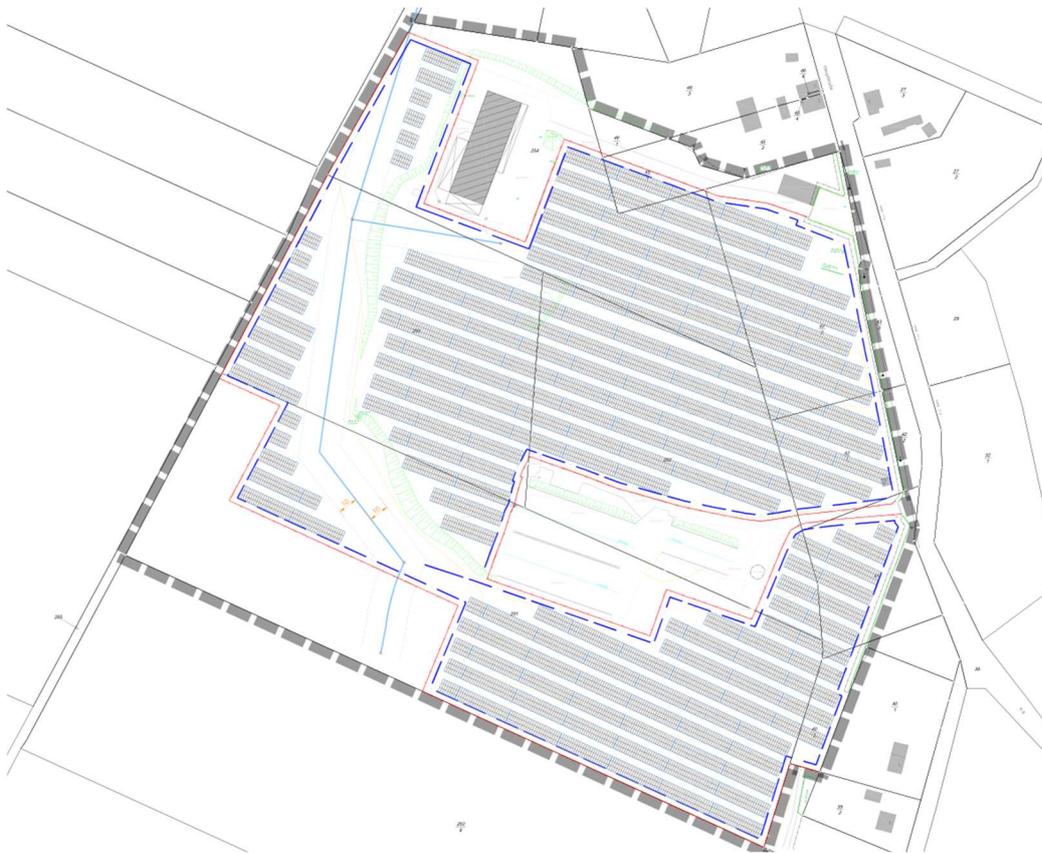


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

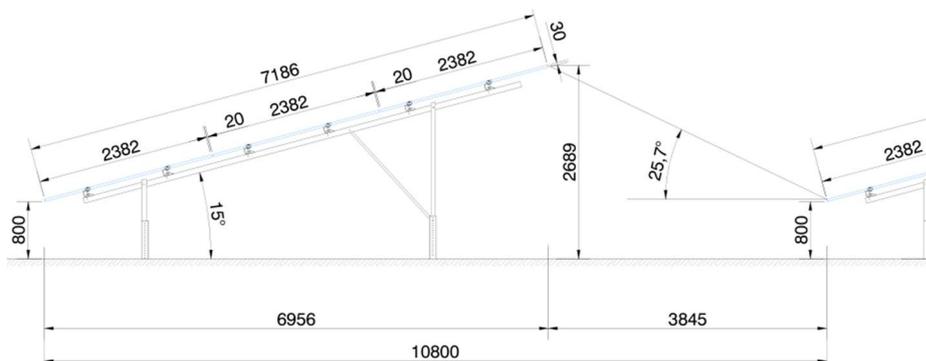


Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)

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 ($\alpha = \beta$).

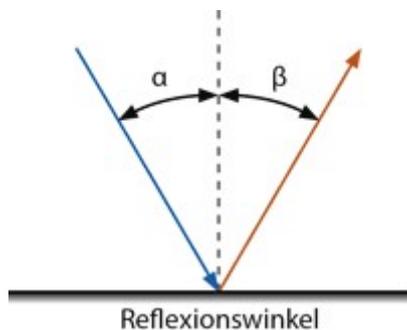


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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.

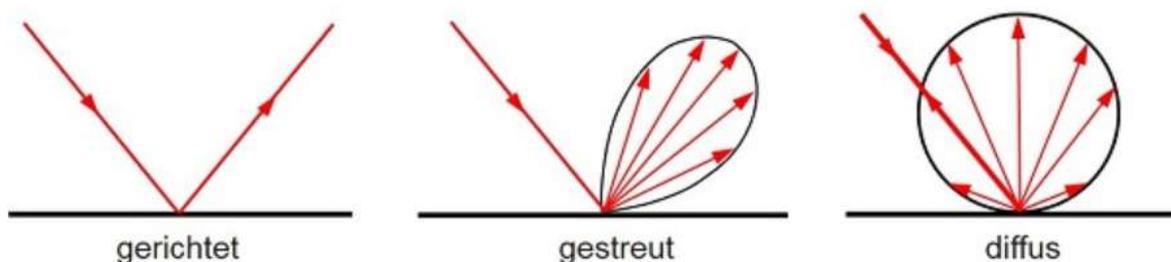


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)

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.

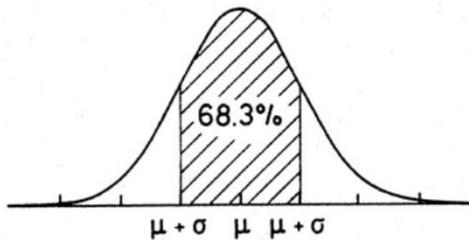


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

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.

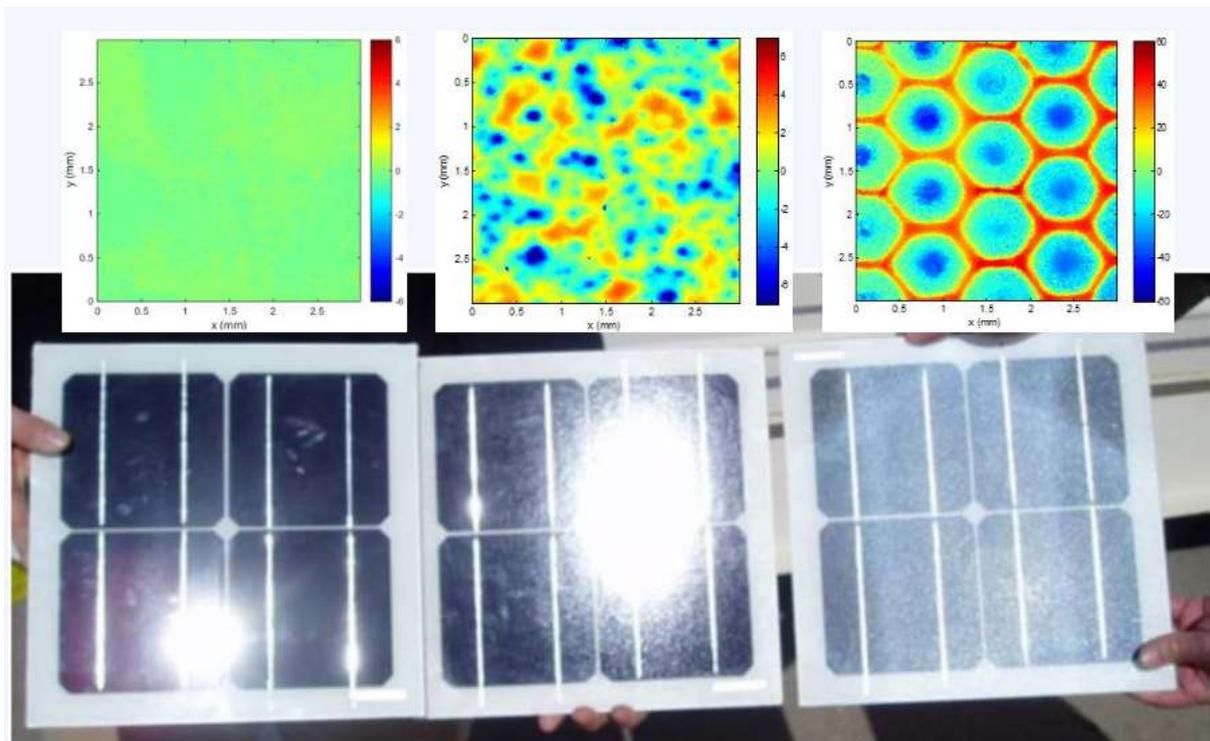


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad ($1,16^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweite von 92-184 mrad ($5,34-10,6^\circ$) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (58°) gemessen (Yellowhair und Ho 2015). Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tief-strukturiertem Glas noch nicht um Massenware, da die Herstellung mit erheblichen Mehrkosten einhergeht. Alternativ ist jedoch auch das Aufbringen geeigneter Folien oder das Verwenden von satiniertem Glas eine Möglichkeit beinahe vollständig blendfreie Module herstellen, siehe Abbildung 8.

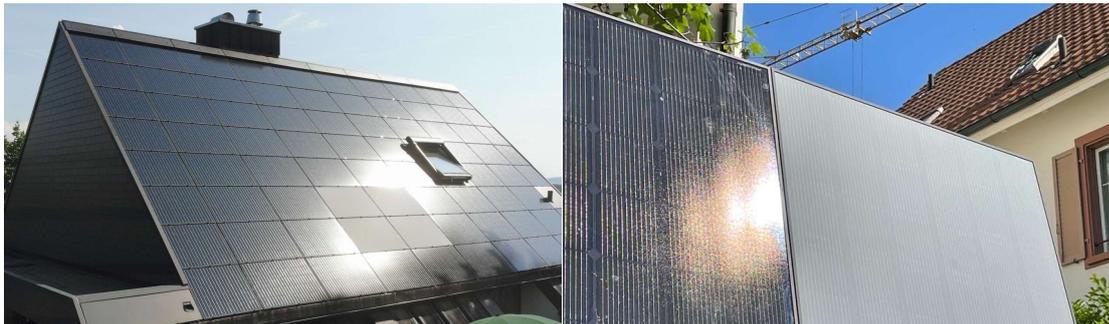


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes zu nutzen, das Frontglas also eine möglichst hohe Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläser liegt typischerweise bei rund 96% bei senkrechter Einstrahlung, sodass die Reflexionsverluste etwa 4% betragen. Mit Verwendung von Anti-Reflexions-Beschichtungen sind auch Reflexionsgrade von nur 2% möglich. Mit höheren Einfallswinkeln steigt der Reflexionsgrad jedoch bei beinahe allen Modularten stark an, zu sehen in Abbildung 9, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

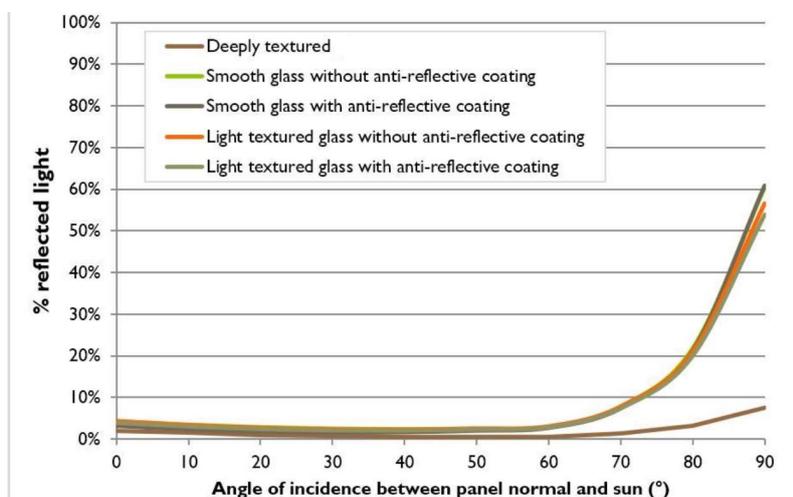


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

4.3 Blendung

Blendung wird hier definiert als eine Störung der Wahrnehmung durch eine Lichtquelle. Hierfür ist zum einen die gewichtete Helligkeit des Sichtfeldes relevant, welche zu einer entsprechenden Adaption des Auges führt. Zum anderen die Helligkeit des Objekts, auf welches das Auge fokussiert ist und welches wahrgenommen werden soll.

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).

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 Zielobjekt 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 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.

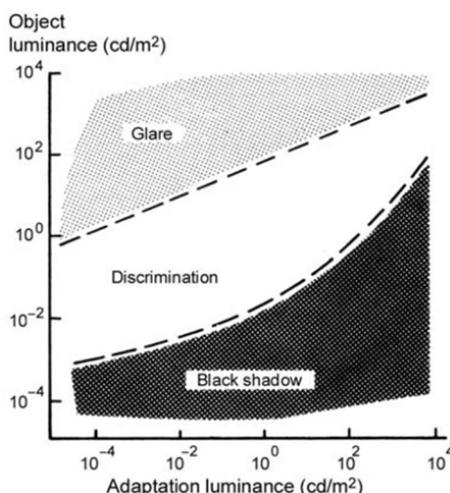


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014)

5 Methodik der Untersuchung

5.1 Bewertungsbasis

Um die betroffenen örtlich aufgelösten Bereiche bestimmen zu können und eine quantitative Aussage über die Reflexionsimmissionen zu treffen, wird ein Simulationstool verwendet. Dieses soll minutengenau darstellen, ob und zu welchem Zeitpunkt schutzwürdige Räume einer potenziellen Blendung ausgesetzt sind. Schutzwürdige Räume sind laut LAI-Hinweisen:

- 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 Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

5.2 Simulationstool und Modellierung

Als Simulationstool zur Bestimmung der auftretenden Blendung wird das Programm *ForgeSolar* der Firma Sims Industries, LLC verwendet. Dieses basiert auf dem wissenschaftlichen Modell „Solar Glare Hazard Analysis Tool“, welches durch die Sandia National Laboratories, New Mexico entwickelt wurde. Dieses wurde 2013 in den USA von staatlicher Seite anerkannt und bis 2021 war eine Analyse mit diesem Tool verpflichtend für PV-Flächen in Flughafenumgebung (Federal Aviation Administration 2013).

Das Tool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Hierzu werden auf einer Karte die Modulflächen markiert und Neigungswinkel und Azimut der Ausrichtung eingestellt. Mit den Höhendaten des Geländes wird hieraus eine einheitliche Fläche approximiert. Es lassen sich verschiedene Modultypen mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften auswählen, welche im Wesentlichen darüber entscheiden, wie stark das reflektierte Licht gestreut wird. Die Simulation wertet nur als relevant markierte Beobachtungspunkte und Strecken aus. Die Auflösung der Simulation ist minütlich und erfolgt für ein Kalenderjahr. Bei der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Blendwirkung wird unabhängig vom Bedeckungsgrad des Himmels berechnet. Somit ergeben sich die astronomisch maximalen Blendzeiträume. Das entspricht einer „worst case“ Betrachtung der Blendsituation. Das Vernachlässigen der Wetterverhältnisse empfiehlt auch das Ministerium für Umwelt (Ministerium für Umwelt 2012) und die TU Ilmenau (Schierz 2012).
- Zur Bewertung des Straßenverkehrs wird nur die Blendung im Bereich des Blickwinkels von $\pm 30^\circ$ berücksichtigt, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Blendung im Bereich des Blickwinkels von $\pm 20^\circ$ berücksichtigt. Zudem werden Blendungen nicht betrachtet, welche aus der gleichen Richtung wie die direkte Sonnenstrahlung kommen. Somit muss die Differenz der Richtungsvektoren von Reflexionsstrahl und Sonneneinstrahlung weniger als 10° betragen. Dies wird begründet dadurch, dass die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen wird und die Reflexion in diesen Fällen keine zusätzliche Blendungsquelle darstellt (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016).
- Der Immissionsort im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 3 m festgelegt, was in etwa der Sichthöhe von Lastkraftwagen entspricht. Grund hierfür ist, dass in der Regel höhere Beobachtungspositionen auch einer stärkeren Blendung ausgesetzt sind. In Situationen, in denen das nicht zutrifft, weil eine Blendung von oben stattfindet, wird die Sichthöhe stattdessen auf 1,5 m über dem Boden festgelegt, um in diesem Fall einen PKW abzubilden. Der Immissionsort von Bahntrassen wird typischerweise auf 3 m über dem Boden festgelegt.

Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Webseite von ForgeSolar verwiesen (ForgeSolar 2022).

5.3 Simulationsausgabe und -bewertung

Die Simulation wertet jede PV-Fläche und jeden Beobachtungspunkt bzw. Strecke einzeln aus. Es werden dabei folgende Werte für jede Minute, jeweils für die betreffende Position berechnet:

- Die Einstrahlungsstärke der Sonne in Abhängigkeit der Uhrzeit [W/m^2]
- Der berechnete Reflexionsgrad des PV-Fläche [-]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der Raumwinkel des blendenden Bereichs der PV-Fläche aus Sicht des Beobachters [rad]
- Die Bestrahlungsstärke der Reflexion auf der Netzhaut [W/cm^2]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [cd/m^2]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 11 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle (angegeben als Sichtwinkel in Milli-rad), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

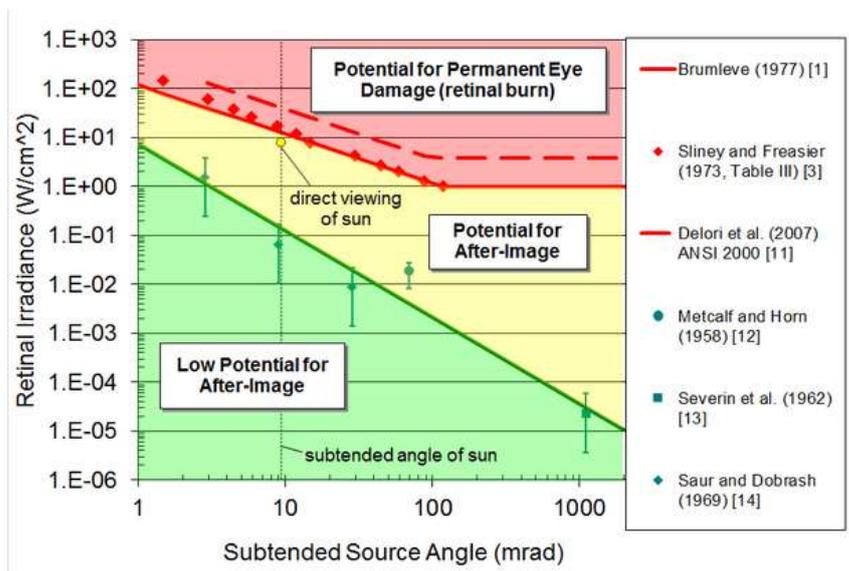


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

6 Simulation

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 12 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 12: Anlage der Modulflächen und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar

6.1 PV - Anlage

Für die Simulation werden die Eingabedaten der PV - Anlage mit den Koordinaten und der Höhe über Normalhöhennull ermittelt. Die Nachstellung der Modulflächen im Simulationsprogramm basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen, sowie Sattelitendaten und ist in Abbildung 12 in blau zu sehen. Die PV-Flächen sind mit 204° bzw. 199° Südwest ausgerichtet mit einem Neigungswinkel von 15° und einer mittleren Modulhöhe von 1,7 m. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind im Anhang in Tabelle 3 aufgeführt.

6.2 Immissionsorte

Die untersuchten Straßen sind in Abbildung 12 türkis gekennzeichnet, die untersuchten Wohngebäude sind als OPs (observation points) in Rot gekennzeichnet. Es wird der Verkehr der Hauptstraße (Kreisstraße 6) in beiden Fahrtrichtungen, sowie Fenster im 1. OG der umstehenden Wohngebäude untersucht. Für den Verkehr wird ein relevanter Sichtbereich von +/- 30° in Fahrtrichtung und eine Untersuchungshöhe von 3 m über der Straße festgelegt. Die exakten Koordinaten, Höhe ü. NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

Immissionsort	Punkt / OP	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe über NN [m]	Betrachtungshöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Hauptstraße(1)	1	53,9835482	13,3250772	28,5	3	31,5
	2	53,9842067	13,3239655	30,2	3	33,2
	3	53,9848588	13,3228108	30,8	3	33,8
	4	53,985574	13,3216829	30,8	3	33,8
	5	53,9859443	13,3212102	30,6	3	33,6
	6	53,9863713	13,3209091	30,4	3	33,4
	7	53,987241	13,3205912	30,3	3	33,3
	8	53,9880981	13,3202734	31,1	3	34,1
	9	53,9885267	13,3201359	31,3	3	34,3
	10	53,9889489	13,3198805	31,4	3	34,4
	11	53,9897618	13,3192729	32,1	3	35,1
Hauptstraße(2)	1	53,9835682	13,3188415	28,6	3	31,6
	2	53,9841801	13,3193511	28,5	3	31,5
	3	53,9848425	13,3199251	28,9	3	31,9
	4	53,9848425	13,3208907	29,3	3	32,3
	5	53,9857572	13,3212769	30,5	3	33,5
Wohngebäude	1	53,9850912	13,3207214	31,1	4,7	35,8
	2	53,9854019	13,3208676	31,2	4,7	35,9
	3	53,9878692	13,3227452	32	4,7	36,7
	4	53,9882319	13,3200415	31,1	4,7	35,8

7 Ergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Simulation bezüglich der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. Die Simulationsergebnisse werden aufgrund der technischen Limitierung der Simulationssoftware einer weiteren Korrektur unterzogen. So ist gemäß LAI-Hinweisen keine Blendung gegeben, wenn die Richtung des Vektors der Lichtreflexion und die des Vektors der Sonnenstrahlung weniger als 10° auseinander liegen. Das bedeutet, dass die Sonne aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexion der Sonne an den PV-Modulen. Somit wird die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen. Die Reflexion wird sozusagen von der Sonne überstrahlt und erscheint nicht als zusätzliche Blendung. Auch Sichtunterbrechungen werden durch die Simulation nicht ermittelt, sondern müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt.

In Tabelle 2 ist die simulativ ermittelte potenzielle Blenddauer über ein Jahr nach den genannten Korrekturen aufgeführt. Rot markierte Werte beziehen sich entweder auf schutzwürdige Orte gemäß LAI-Hinweisen, bei welchen es zu einer Überschreitung der potenziellen Blenddauer von 30 Stunden pro Jahr und/oder 30 Minuten pro Tag kommt, oder auf mögliche Blendung im Verkehr, welche potenziell zu einer Beeinträchtigung der Sicht der Verkehrsteilnehmer führt.

Tabelle 2: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer [in Stunden]
Hauptstraße(1)	22,45
Hauptstraße(2)	0
OP1	0
OP2	62,25
OP3	0
OP4	0

Nachfolgend werden Zeitraum und Immissionswinkel der auftretenden potenziellen Blendung für die einzelnen Immissionsorte dargestellt und eingeordnet.

Hauptstraße(1)

In Abbildung 13 ist der Zeitraum und die Richtung der potenziellen Blendung auf der Hauptstraße gemäß Simulation dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 26.04 bis zum 15.08 von 19:55 Uhr bis 20:36 Uhr mit Immissionswinkel zwischen 291° - 303° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 18 Minuten erreicht. Relevante Reflexionen treten nur im südöstlichen Streckenabschnitt in Fahrtrichtung Nordwesten auf. Der betroffene Streckenabschnitt ist in Abbildung 14 dargestellt.

Die Differenzwinkel der Reflexionen liegen bei über 15° zur Fahrtrichtung und bei über 20° zur Hauptsichtichtung. Da die Reflexionen somit nicht im zentralen Sichtfeld liegen, ist durch diese von keiner Beeinträchtigung der Sicht auszugehen. Linksseitig in Fahrtrichtung befindet sich eine einmündende untergeordnete Straße, welche jedoch bereits aus großer Entfernung einzusehen ist, auch hier ist daher von keiner Gefährdung der Verkehrssicherheit auszugehen. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich. Die relevanten Sichtwinkel und die auftretenden Immissionswinkel sind in Abbildung 15 dargestellt.

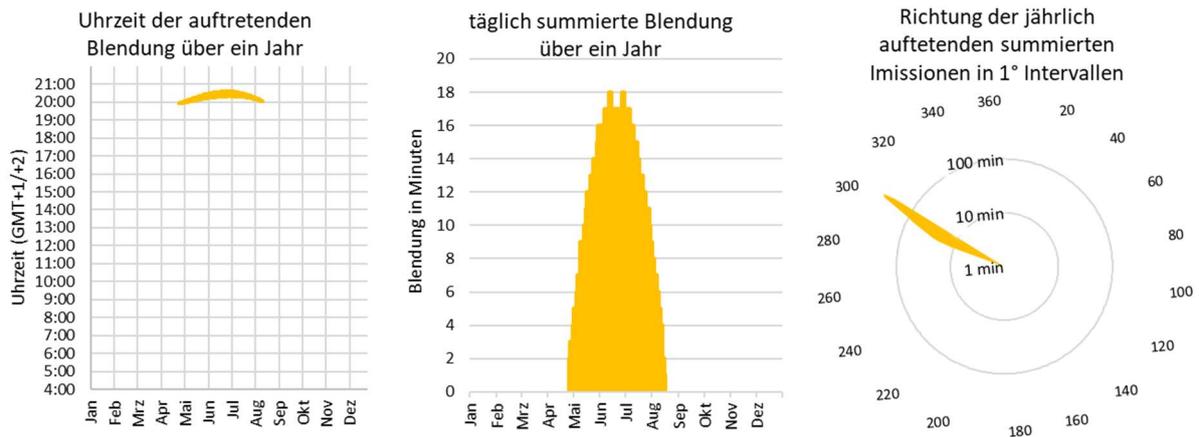


Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der Hauptstraße

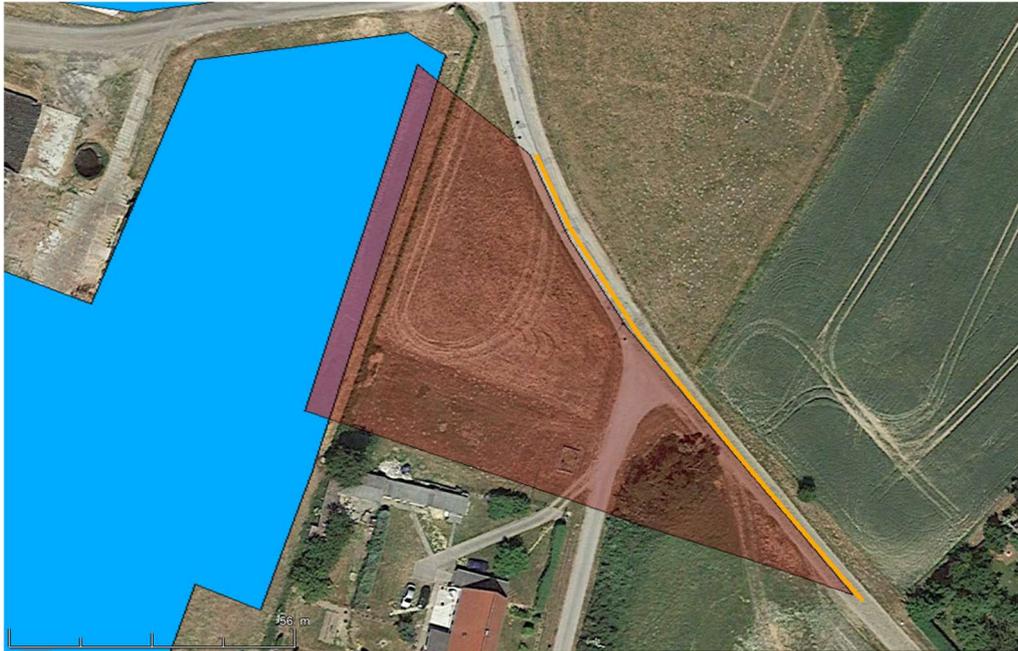


Abbildung 14: Betroffener Streckenabschnitt auf der Hauptstraße in Orange, auftretende Immissionswinkel in Rot



Abbildung 15: Immissionswinkel der Reflexionen in Rot, zentrales Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in Grün, erweitertes Sichtfeld in Gelb

OP 1

In Abbildung 16 ist der Zeitraum und die Richtung der potenziellen Blendung auf OP 1 gemäß Simulation dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 03.04 bis zum 07.09 von 19:27 Uhr bis 20:36 Uhr mit Immissionswinkel zwischen 280° - 303° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 33 Minuten erreicht.

Gemäß Satellitenbildaufnahmen liegt bei den ermittelten Immissionswinkeln eine Sichtunterbrechung zwischen Immissionsort und PV-Fläche in Form von Bewuchs vor. Eine Blendung wird daher mit Bestehen von diesem ausgeschlossen. Die Reflexionssituation ist schematisch in Abbildung 17 dargestellt.

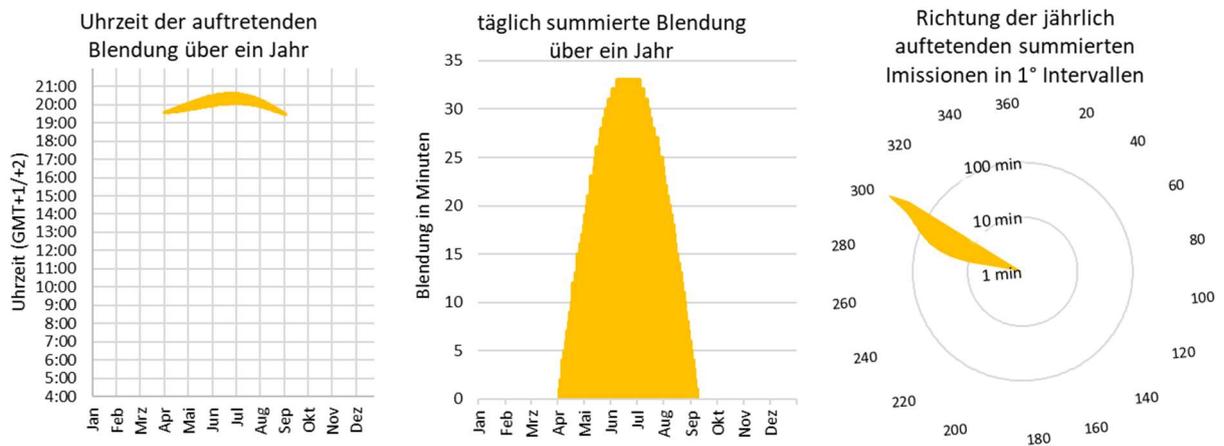


Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP 1

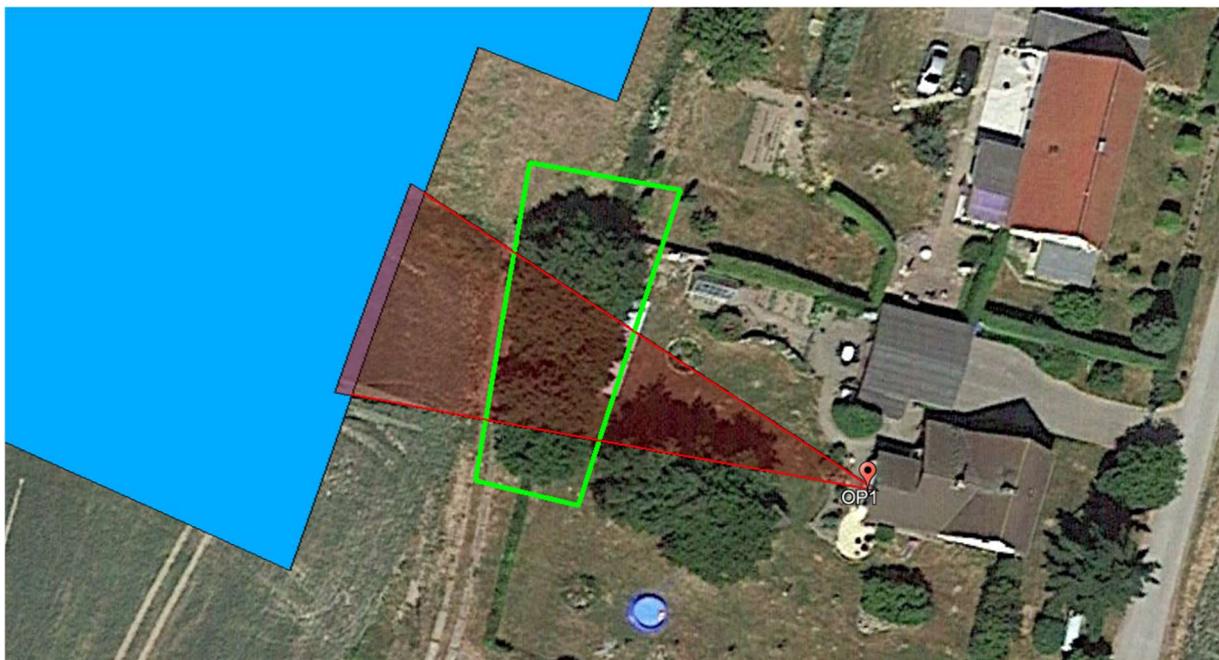


Abbildung 17: Immissionswinkel auf OP 1 in Rot, bestehende Sichtunterbrechungen in Grün

OP 2

In Abbildung 18 ist der Zeitraum und die Richtung der potenziellen Blendung auf OP 2 gemäß Simulation dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 14.04 bis zum 27.08 von 19:33 Uhr bis 20:36 Uhr mit Immissionswinkel zwischen 285° - 303° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 36 Minuten erreicht.

Gemäß Satellitenbilddaufnahmen treten die Reflexionen mit Einfallswinkeln über 70° zur Ausrichtung der Fenster auf. Eine potenzielle Blendung kann daher nur direkt hinter dem Fenster auftreten. Eine erhebliche Beeinträchtigung in der Nutzung des Raumes liegt damit nicht vor. Die Reflexionssituation ist schematisch in Abbildung 19 dargestellt.

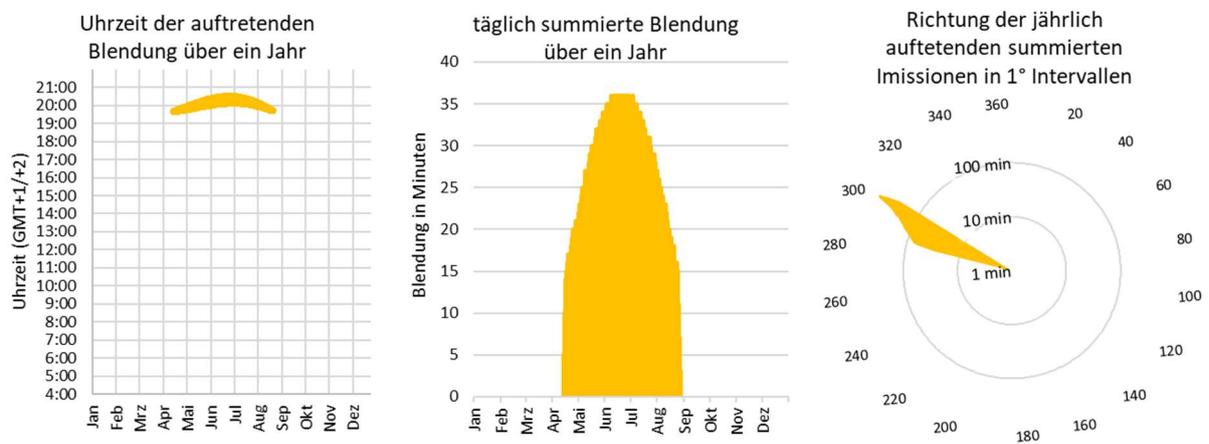


Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP 2

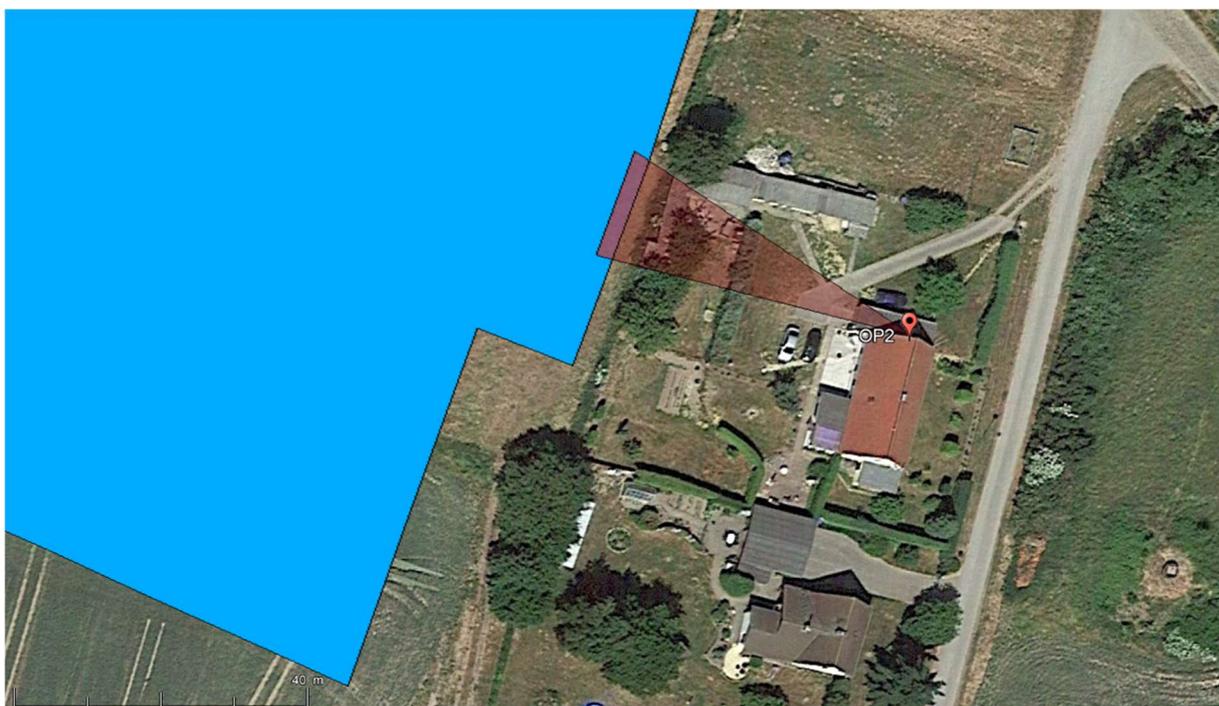


Abbildung 19: Immissionswinkel auf OP 2 in Rot



8 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen des geplanten Solarparks Görmin Göslow. Für den Verkehr der anliegenden Hauptstraße werden potenzielle Reflexionen im Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer festgestellt. Diese befinden sich jedoch nicht im zentralen Blickfeld in Fahrtrichtung, es ist daher keine Sichtbeeinträchtigung der Verkehrsteilnehmer zu erwarten. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit besteht daher nicht.

In Richtung der der südöstlich anliegenden Wohnbebauung kommt es gemäß Simulation zu Reflexionen. Für einen der relevanten Immissionsorte besteht jedoch bereits eine Sichtunterbrechung in Form sichtdichter Vegetation. Beim anderen relevanten Immissionsort, für welchen Reflexionen ermittelt werden, handelt es sich um ein Fenster im 1.OG in Richtung Nordosten. Da die Reflexionen der Modulfläche nur sehr steil gegenüber der Fensterausrichtung auftreten, ist in diesen Räumen nur unmittelbar hinter dem Fenster Blendung möglich. Eine erhebliche Beeinträchtigung liegt daher in der Nutzung dieser Räume nicht vor. Für die übrigen umgebenden Wohngebäude treten gemäß Simulation keine Reflexionen der Modulflächen auf.

9 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.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)	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 satiniertes 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: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)	11
Abbildung 12: Anlage der Modulflächen und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar.....	12
Abbildung 13: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf A28 West	15
Abbildung 14: Betroffener Streckenabschnitt auf der Hauptstraße und auftretende Immissionswinkel in Rot.....	16
Abbildung 15: Immissionswinkel der Reflexionen in Rot, zentrales Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in Grün, erweitertes Sichtfeld in Gelb	16
Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der A28 Ost.....	17
Abbildung 17: Immissionswinkel auf OP 1 in Rot, bestehende Sichtunterbrechungen in Grün	17
Abbildung 18: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf der A28 Ost.....	18
Abbildung 19: Immissionswinkel auf OP 2 in Rot.....	18

11 Anhang

Tabelle 3: Koordinaten, Höhe ü. NN, Untersuchungshöhe und Gesamthöhe über NN der PV-Flächen

PV-Fläche	Punkt	Breiten-grad [°]	Längen-grad [°]	Geländehöhe über NN [m]	Modul-höhe [m]	Höhe über NN gesamt [m]
PV-Feld-1	1	53,9856374	13,3172264	28,1	1,7	29,8
	2	53,9860459	13,3174852	29,5	1,7	31,2
	3	53,9860154	13,3180286	31,1	1,7	32,8
	4	53,9858239	13,3188914	30,2	1,7	31,9
	5	53,9859642	13,3189799	30,2	1,7	31,9
	6	53,9859847	13,3193138	30,2	1,7	31,9
	7	53,9859098	13,3196679	30,3	1,7	32
	8	53,9863388	13,3199938	30,2	1,7	31,9
	9	53,9863837	13,320616	30,1	1,7	31,8
	10	53,9863427	13,3207287	30,1	1,7	31,8
	11	53,9859826	13,3205331	29,9	1,7	31,6
	12	53,9856352	13,3203375	30,5	1,7	32,2
	13	53,9853647	13,320182	30,3	1,7	32
	14	53,9849799	13,3197086	28,9	1,7	30,6
	15	53,9853055	13,3184755	29,2	1,7	30,9
PV-Feld-2	1	53,9862932	13,3165042	28	1,7	29,7
	2	53,9866465	13,3161367	30,2	1,7	31,9
	3	53,986924	13,3160536	30	1,7	31,7
	4	53,9872765	13,3162293	28,7	1,7	30,4
	5	53,9876195	13,3163191	27,1	1,7	28,8
	6	53,9876621	13,3161716	27	1,7	28,7
	7	53,9870297	13,3156378	30,2	1,7	31,9
	8	53,9869398	13,3159999	30	1,7	31,7
	9	53,9864225	13,3156217	29,4	1,7	31,1
	10	53,9862459	13,3164774	27,5	1,7	29,2
PV-Feld-3	1	53,9862213	13,3176334	30,5	1,7	32,2
	2	53,9862891	13,3172552	30,2	1,7	31,9
	3	53,9868568	13,3166222	30	1,7	31,7
	4	53,9873867	13,3167456	29,6	1,7	31,3
	5	53,9875807	13,3169628	29,9	1,7	31,6
	6	53,9874325	13,317746	29,8	1,7	31,5
	7	53,9880554	13,3181055	29,3	1,7	31
	8	53,9878606	13,3190737	30,3	1,7	32
	9	53,9876659	13,3200527	30,7	1,7	32,4
	10	53,9874955	13,3199669	30,6	1,7	32,3
	11	53,9874167	13,3203719	30,4	1,7	32,1
	12	53,9869757	13,3205436	30,4	1,7	32,1



	13	53,9865568	13,3207152	30,3	1,7	32
	14	53,9864985	13,3206831	30,3	1,7	32
	15	53,986437	13,3198274	30,3	1,7	32
	16	53,9864843	13,3189638	30,5	1,7	32,2
	17	53,9866578	13,3178936	30,5	1,7	32,2
PV-Feld-4	1	53,9884389	13,3173582	28,8	1,7	30,5
	2	53,9884925	13,31709	27,7	1,7	29,4
	3	53,9879389	13,3167842	28,2	1,7	29,9
	4	53,9879153	13,3169156	28,7	1,7	30,4
	5	53,9882701	13,3172697	28,5	1,7	30,2