

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

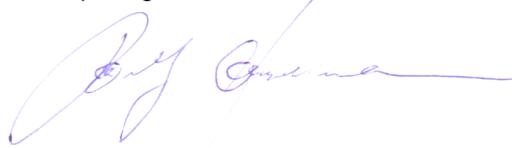
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Grabowhöfe 2

Anlage: Solarpark Grabowhöfe 2
53.578349°, 12.585547°
17194, Grabowhöfe

in Auftrag gegeben von: Aream Solar Ventures GmbH
Kaistraße 2
40221 Düsseldorf

Projektnummer: A-LV24/0216

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

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

Bearbeiter: M. Eng. Joris Neumann

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

Berlin, 31.01.2025

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 ForgeSolar	10
	5.1 Bewertungsbasis	10
	5.2 Simulationstool und Modellierung	11
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung	12
6	Simulation mit ForgeSolar	13
	6.1 PV-Anlage.....	13
	6.2 Immissionsorte.....	14
7	Ergebnisse mit ForgeSolar.....	16
8	Zusammenfassung.....	17
9	Literaturverzeichnis	18
10	Abbildungsverzeichnis.....	19
11	Gewährleistung	20
12	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	20

1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Grabowhöfe 2 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 in der Gemeinde Grabowhöfe im Landkreis Mecklenburgische Seenplatte in Mecklenburg-Vorpommern. Zwischen den geplanten PV-Feldern des Solarparks verläuft eine zweigleisige Bahntrasse. Im Osten des geplanten Solarparks befindet sich der Ort Grabowhöfe. Die Flächen des Solarparks werden derzeit als Ackerland genutzt. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin.

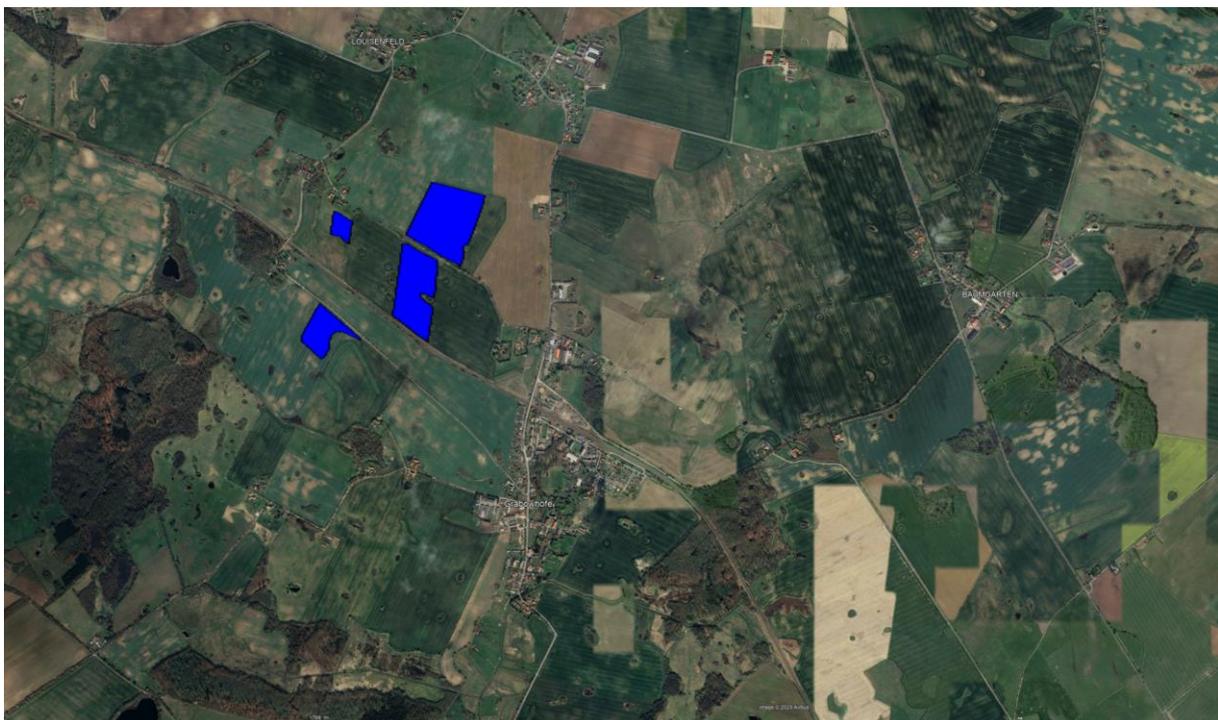


Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist mit einer DC-Leistung von 26.390 kWp geplant. Als Unterkonstruktion kommt ein 1-Pfeiler-System zum Einsatz mit zwei im Hochformat (portrait) ausgerichteten Modul über die Tischbreite. Die Trackingachse verläuft mit 180° Azimut und entspricht der Nord-Süd-Achse, möglich sind Neigungswinkel bis 70°. Der Reihenabstand beträgt 9,41 m, die GCR (Ground coverage ratio) 0,49. Bei dieser Art von nachgeführten Systemen folgt der Neigungswinkel dem Sonnenstand, von hohen Neigungswinkeln bei tiefstehender Sonne, zu flachen Winkeln bei hochstehender Sonne. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

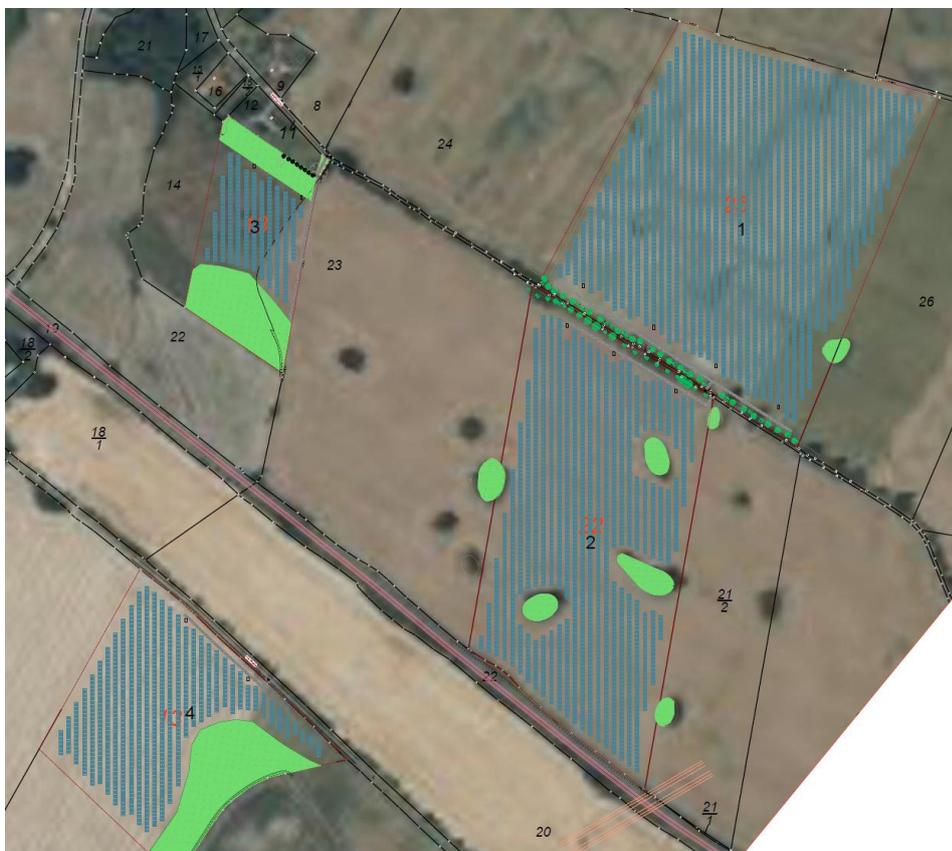
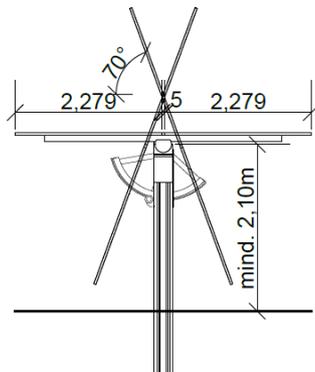


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)



Schnitt - Modulschnitt

Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

Der Azimut der Modulflächen variiert zwischen 90° Ost in der ersten Tageshälfte und 270° West in der zweiten Tageshälfte. Bei tiefstehender Sonne führt ein hoher Neigungswinkel jedoch - je nach Reihenabstand und Tischbreite - zur Eigenverschattung der Modulreihen. Dies wird meist durch ein aktives „Backtracking“ verhindert, durch welches bei auftretender Eigenverschattung der Modulreihen der Neigungswinkel reduziert wird. Der Verlauf des Neigungswinkels ergibt sich für dieses System dann gemäß Abbildung 4, wobei der Neigungswinkel bei Ostausrichtung negativ dargestellt ist. Im Sommer begrenzt das Backtracking demnach den maximalen Neigungswinkel in den Morgen- und Abendstunden. Mit höherem Sonnenstand wird der Neigungswinkel dann kurzzeitig auf eine maximale Neigung von 60° erhöht. Bis zum Mittag senkt er sich dann mit zunehmender Sonnenhöhe auf einen idealen Neigungswinkel von 0° ab. Je nach Hersteller ist auch eine Anpassung dieses Nachführverhaltes möglich, beispielsweise die Begrenzung der Absenkung des Neigungswinkels bei sehr tiefem Sonnenstand.

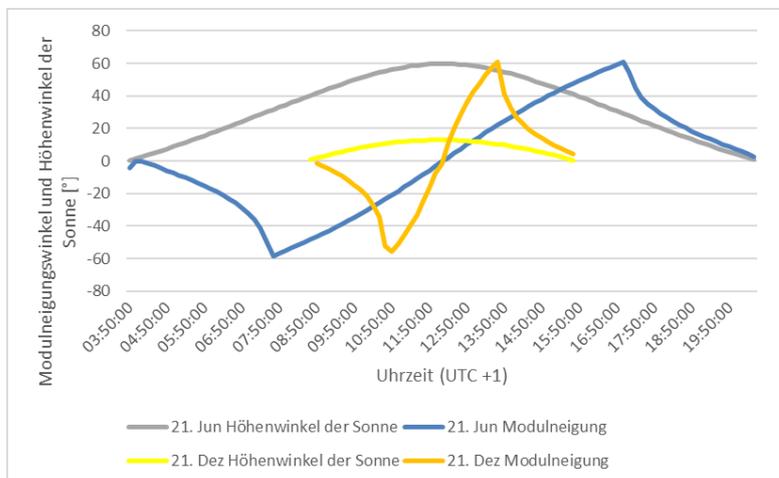


Abbildung 4: Neigungswinkel bei aktivem Backtracking

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 ($\alpha = \beta$).

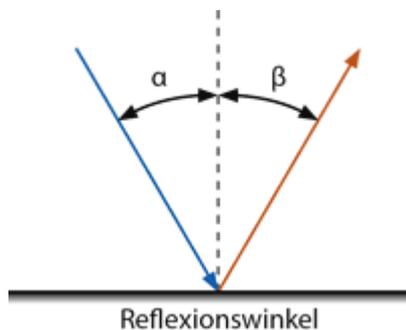


Abbildung 5: Reflexion eines Lichtstrahls

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 6 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.

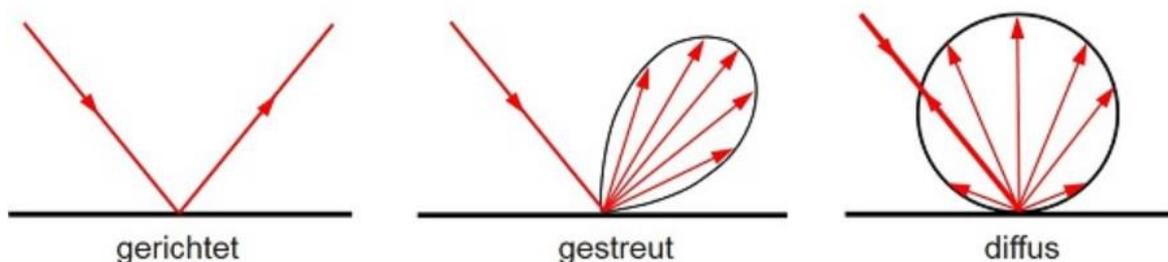


Abbildung 6: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

Bei realer Reflexion kommt es zudem zu sogenannter Bundelaufweitung, 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 Bundelaufweitung gesprochen wird, das Bogenmaß (oder der Winkel) der Standardabweichung um die Intensität der realen Reflexion verwendet (s. Abbildung 7).

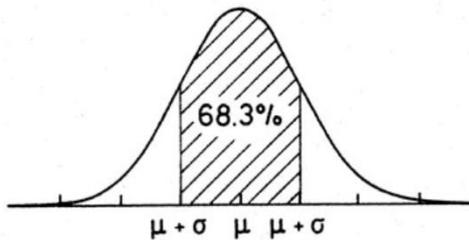


Abbildung 7: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 8 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontglaser zu sehen.

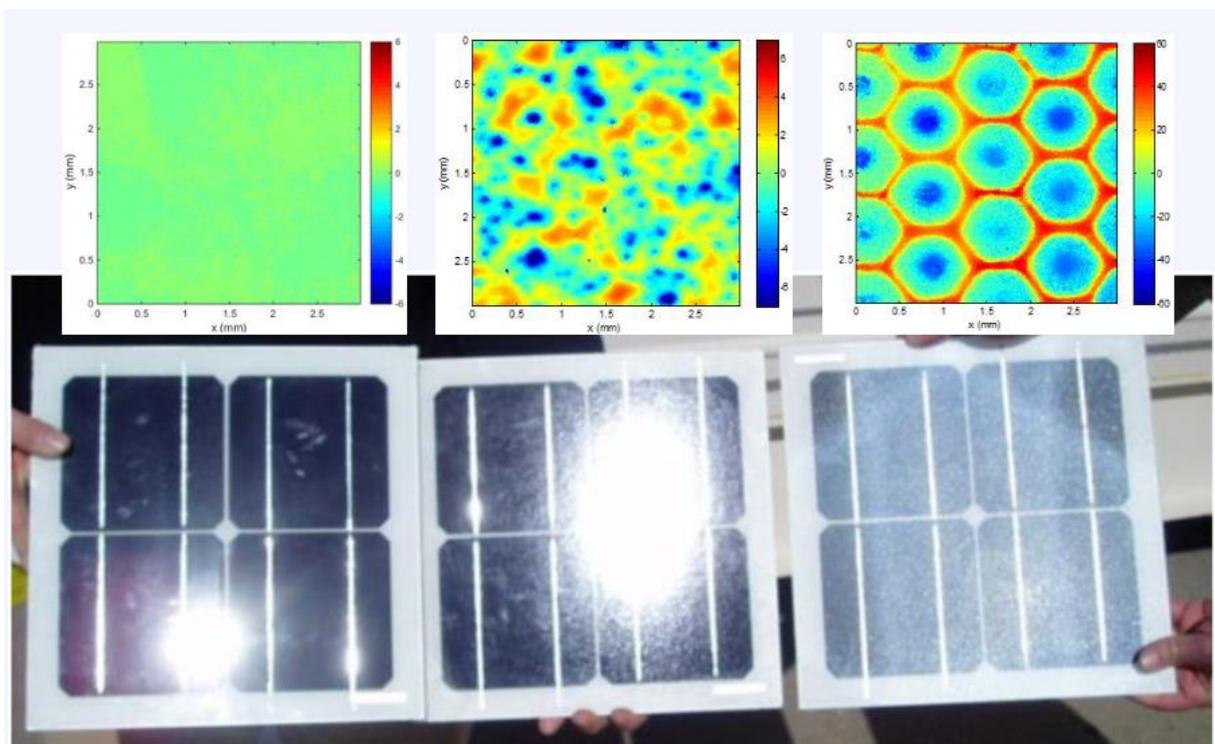


Abbildung 8: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad (1,15°), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweiteung von 92-184 mrad (5,27-10,56°) 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 9.

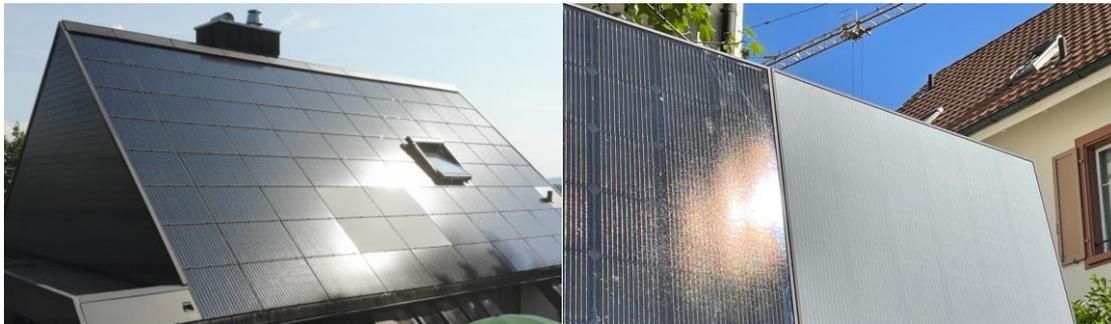


Abbildung 9: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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 Solarglasern 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, wie in Abbildung 10 zu sehen ist. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

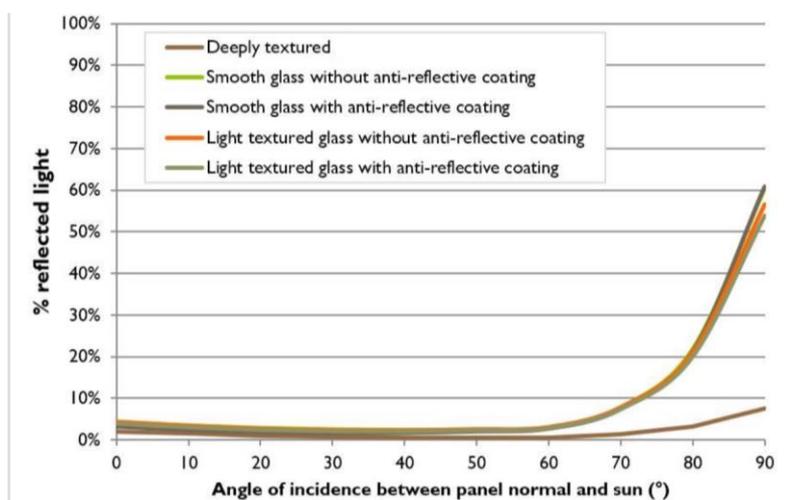


Abbildung 10 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

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 11 verdeutlicht: Erhohet sich die adaptive Helligkeit, erhöhet 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/m², 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.

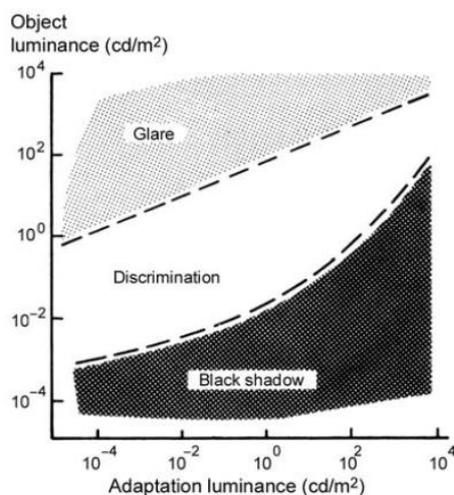


Abbildung 11: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

5 Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar

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 ubernachtungsraume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büro räume, 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. Allerdings leiten die LAI-Hinweise Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen [7] 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.“ [6]*

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte wird die Blendung als allgemein hinnehmbar bewertet. Auch der Osterreichische Verband für Elektrotechnik veröffentlichte im November 2016 eine Richtlinie mit identischen Richtwerten für die Ermittlung von durch Blendung verursachte Belästigung [8]. 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. Blendschutzmanahmen 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 [9].

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 Blendzeitraume. Das entspricht einer „worst case“ Betrachtung der Blendsituation. Das Vernachlässigen der Wetterverhältnisse empfiehlt auch das Ministerium für Umwelt [6] und die TU Ilmenau [10].
- 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 [8].
- Der Immissionsort im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 3 m festgelegt, was in etwa der Sichthohe 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 Sichthohe 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 [11].

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 Einstrahlungsstarke der Sonne in Abhängigkeit der Uhrzeit [W/m²]
- 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/cm²]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [cd/m²]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 12 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.

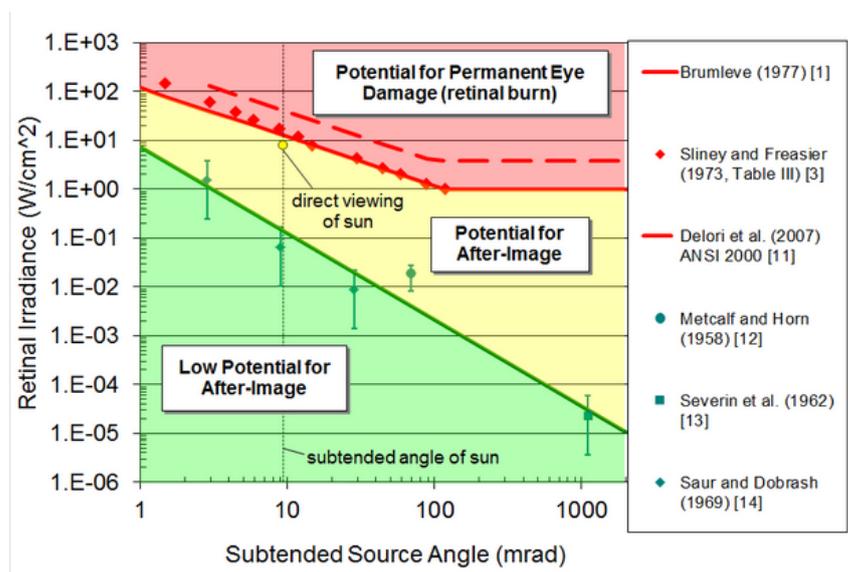


Abbildung 12: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeintrachtigung [11]

6 Simulation mit ForgeSolar

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 13 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.



Abbildung 13: Anlage 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 im Simulationsprogramm basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen, sowie Satellitendaten. Die PV-Flächen werden als einachsigenachgeführte Tische mit Rotationsachse von 180° simuliert. Das Nachführungsverhalten der Modultische in der Simulation entspricht dem in Kapitel 3 beschriebenen Backtracking-Verhalten. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 2,1 m. Als maximale Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche werden 1.000 W/m² angesetzt. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten der PV-Flächen

PV-Flächen	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV Feld 1	1	53,5827905	12,5778860	85,7	2,1	87,8

	2	53,5827682	12,5783098	85,7	2,1	87,8
	3	53,5822682	12,5795222	86,2	2,1	88,3
	4	53,5810962	12,5793130	84,9	2,1	87
	5	53,5816344	12,5784332	83,5	2,1	85,6
	6	53,5815930	12,5776339	82,7	2,1	84,8
PV Feld 2	1	53,5800105	12,5885613	83,6	2,1	85,7
	2	53,5815404	12,5841883	88,1	2,1	90,2
	3	53,5816757	12,5841266	88	2,1	90,1
	4	53,5843333	12,5862911	85,9	2,1	88
	5	53,5836263	12,5909045	80,4	2,1	82,5
	6	53,5810881	12,5894669	81,4	2,1	83,5
PV Feld 3	1	53,5762890	12,5857064	81,1	2,1	83,2
	2	53,5770025	12,5840649	81,4	2,1	83,5
	3	53,5776140	12,5825950	79,9	2,1	82
	4	53,581127	12,5838557	90,2	2,1	92,3
	5	53,5810887	12,5843170	88,6	2,1	90,7
	6	53,5802034	12,5868276	84,1	2,1	86,2
	7	53,5782542	12,5863287	84,1	2,1	86,2
PV Feld 4	1	53,5780822	12,5765869	83,5	2,1	85,6
	2	53,5762604	12,5803527	72,2	2,1	74,3
	3	53,5759928	12,5801703	71,4	2,1	73,5
	4	53,5766362	12,5785503	73,9	2,1	76
	5	53,5766426	12,5778636	74,2	2,1	76,3
	6	53,5764578	12,5771019	75,1	2,1	77,2
	7	53,5754768	12,5773272	72,7	2,1	74,8
	8	53,5752729	12,5767693	72,6	2,1	74,7
	9	53,5763432	12,5750956	78,5	2,1	80,6

Für die optischen Eigenschaften der Moduloberfläche wurde für die Simulation ein glattes Glas mit einer Rauigkeit (auf Englisch: slope error) von 6,55 mrad gewählt. Dies ist hinsichtlich der resultierenden Leuchtdichte als worst-case Szenario anzusehen, da die meisten handelsüblichen Module leicht texturiert sind und eine Antireflexionsbeschichtung aufweisen.

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden die Bahntrasse, die Dorfstraße / Alte Ziegelei sowie angrenzende Wohnbebauung untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers. Die Untersuchungshohe für den Straßenverkehr wird auf 3 m über der Strecke festgelegt. Für die Straßen wird ein relevanter Sichtwinkel von +/- 30° zur Fahrtrichtung untersucht. Für den Bahnverkehr wird ebenfalls eine Untersuchungshohe von 3 m über den Gleisen festgelegt und ein relevanter Sichtwinkel von +/- 20° zur Fahrtrichtung untersucht. Die exakten Koordinaten, die Höhe ü.

NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 2 und Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 2: Koordinaten der zu untersuchenden Verkehrsstrecken

Verkehrsstrecken	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Bahntrasse	1	53,5730989	12,5943485	75,5	3	78,5
	2	53,5739271	12,5917414	76,5	3	79,5
	3	53,5748381	12,5889948	77,8	3	80,8
	4	53,5755515	12,5869778	78,4	3	81,4
	5	53,5766281	12,5844351	78,8	3	81,8
	6	53,5778002	12,5817636	79,1	3	82,1
	7	53,5790169	12,5790706	79,9	3	82,9
	8	53,5800106	12,5768069	80,8	3	83,8
	9	53,5810106	12,5746061	82,3	3	85,3
	10	53,5821189	12,5721492	81,9	3	84,9
	11	53,5830297	12,5698640	82,8	3	85,8
Dorfstrasse	1	53,5720396	12,5889179	81	3	84
	2	53,5733648	12,5863000	81,3	3	84,3
	3	53,5750784	12,5829741	77,6	3	80,6
	4	53,5762658	12,5807852	74,1	3	77,1
	5	53,5778774	12,5776846	82,8	3	85,8
	6	53,5788966	12,5755281	84	3	87
	7	53,5795973	12,5739509	83,9	3	86,9
	8	53,5799922	12,5732643	84,8	3	87,8
	9	53,5803935	12,5731248	85,7	3	88,7
	10	53,5807884	12,5733286	87,6	3	90,6
	11	53,5810178	12,5736720	87,9	3	90,9
	12	53,5815655	12,5744444	89,4	3	92,4
	13	53,5820942	12,5749272	88,4	3	91,4
	14	53,5826037	12,5752384	88,5	3	91,5
	15	53,5830177	12,5752598	88,5	3	91,5
16	53,5836610	12,5752598	88,4	3	91,4	

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Beobachtungspunkte

Beobachtungspunkte	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
1	53,58360259	12,57772169	87,7	1,7	89,4
2	53,57993379	12,57368765	85,1	1,7	86,8
3	53,58277459	12,5953599	80,1	1,7	81,8

4	53,57878722	12,59688339	77,6	1,7	79,3
5	53,57638274	12,59181602	79,4	1,7	81,1

7 Ergebnisse mit ForgeSolar

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 und müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. In Tabelle 4 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt. Werte, welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten und einen schutzbedürftigen Ort betreffen oder eine kritische Blendung im Verkehr betreffen, sind in Rot dargestellt. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr	Längste potenzielle tägliche Blenddauer in Minuten
Bahntrasse	0	0
Dorfstraße	0	0
Beobachtungspunkt 1	0	0
Beobachtungspunkt 2	0	0
Beobachtungspunkt 3	0	0
Beobachtungspunkt 4	0	0
Beobachtungspunkt 5	0	0

8 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Neuss für die angrenzende Bahntrasse, die Dorfstraße / Alte Ziegelei, sowie angrenzende Wohnbebauung untersucht.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass es auf Basis der Simulationsergebnisse zu keinen Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Zugführer auf der Bahntrasse und im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Dorfstraße kommen kann. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird damit ausgeschlossen. Auch die angrenzende Wohnbebauung ist nicht durch potenzielle Reflexionen betroffen.

Es sind keine Blendschutzmanahmen erforderlich.

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 Windnergieranlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise)*, 2002.
- [8] OVE (österreichischer Verband für Elektrotechnik), *Blendung durch Photovoltaikanlagen*, Wien, 2016.
- [9] Federal Aviation Administration, *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, Federal Register, 2013.
- [10] C. Schierz, *über die Blendbewertung von reflektierendem Sonnenlicht bei Solaranlagen*, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- [11] ForgeSolar, <https://www.forgesolar.com/help/#assumptions>.
- [12] European Union Aviation Safety Agency, *Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN, Issue 6)*, 2022.

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 4: Neigungswinkel bei aktivem Backtracking	5
Abbildung 5: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 6: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	6
Abbildung 7: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	7
Abbildung 8: 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 9: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	8
Abbildung 10 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	8
Abbildung 11: Wahrnehmungsbereiche von Objekhelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	9
Abbildung 12: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [11]	12
Abbildung 13: Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar.....	13

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.