

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

Phone +49 (030) 29 38 12 80

Email solarservices@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

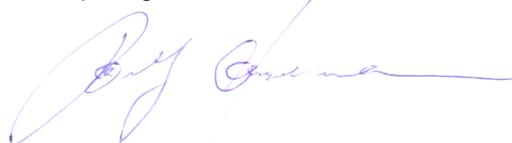
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Lützow

Anlage: Solarpark Lützow
53.658012°, 11.179204°
19209, Lützow

in Auftrag gegeben von: Becken Erneuerbare Energien GmbH
Langen Brützer Weg 2
19067 Cambs OT Kleefeld

Projektnummer: A-LV25/0169

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn



Bearbeiter: Dr.-Ing. Isaac Martinez-Noguez



Berlin, 30.07.2025

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) Lützow 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 Lützow im Landkreis Nordwestmecklenburg in Mecklenburg-Vorpommern. Westlich des Solarparks liegt die Bahnstrecke 6932 Lützow-Gadebusch an, ebenso die Speicherstraße und Bahnhofstraße. Das Gelände ist eben. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin.

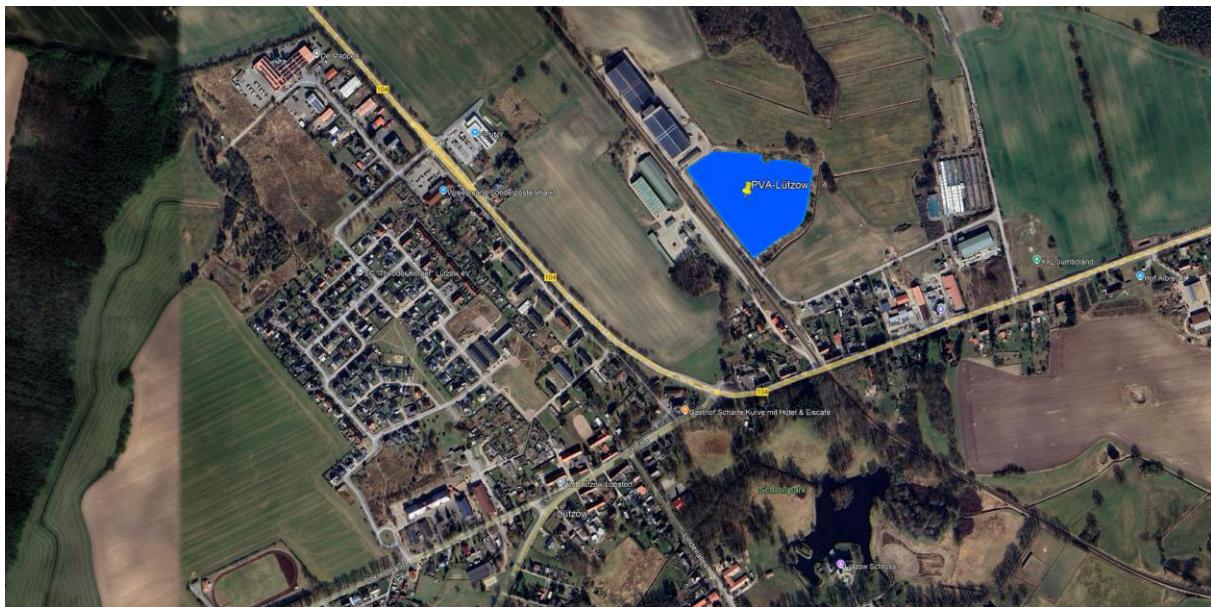


Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist auf einer Fläche von ca. 3,5 ha und mit einer DC-Leistung von 4.880 kWp geplant. Vorgesehen ist eine Süd-Ausrichtung mit 180° Azimut und einem Neigungswinkel von 17°. Der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit drei im Hochformat (Portrait) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 2,86 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt.

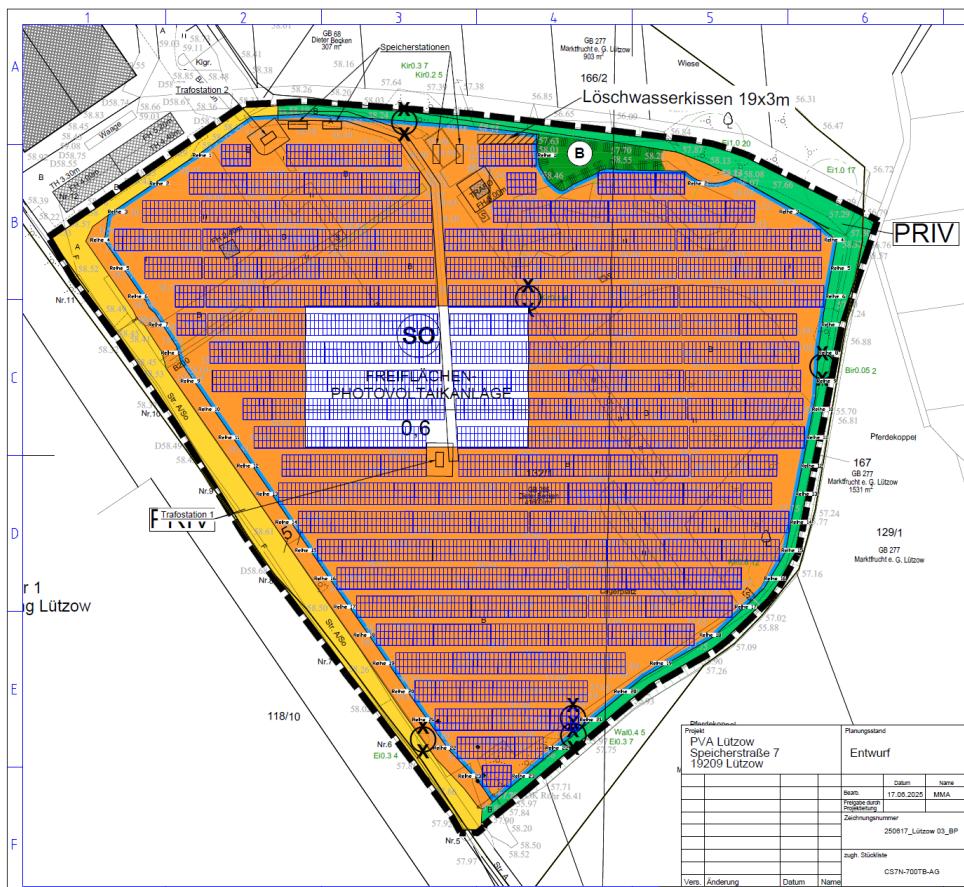


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

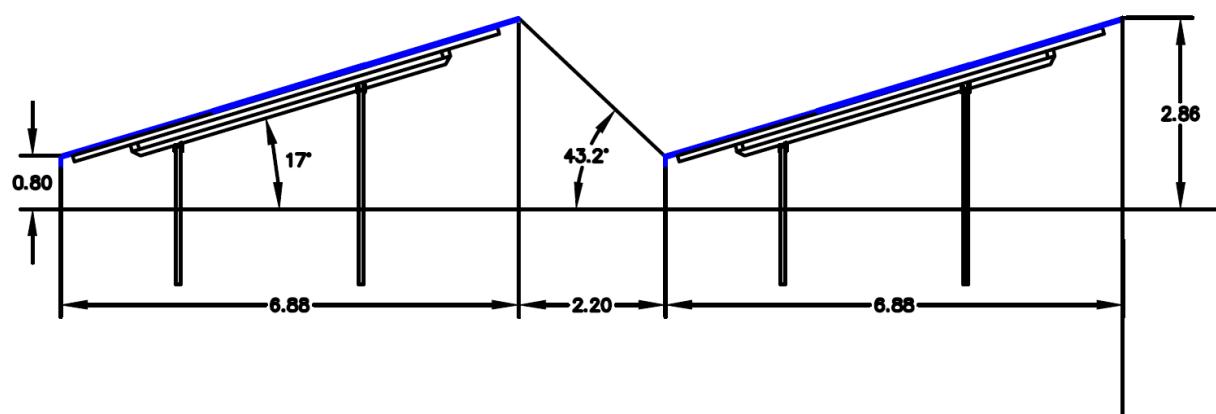


Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

4 Grundlagen der Optik

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zur Berechnung der Reflexion erläutert.

4.1 Geometrische Reflexionssituation

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Winkel des einfallenden Lichtstrahls bezogen auf die Flächennormale (Senkrechte, Lot zur Fläche) gleich dem Winkel des reflektierten Strahls zur Normalen ($\alpha = \beta$).

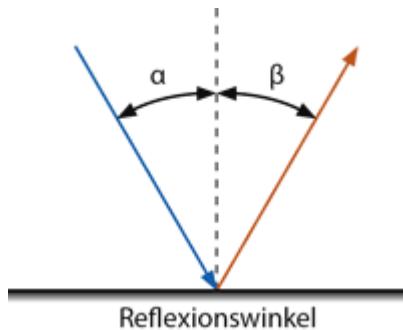


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

Das Reflexionsgesetz gilt grundsätzlich bei der Reflexion von Lichtstrahlen unabhängig davon, ob es sich bei der reflektierenden Fläche um eine ebene oder rauere Oberfläche handelt. Im Fall einer rauen Oberfläche ändert sich jedoch der Einfallswinkel mit dem konkreten Einfallsort, sodass es zu einer Aufweitung des reflektierten Strahls kommt. Generell gilt, je rauer die Oberfläche, desto diffuser die Reflexion. In Abbildung 5 ist in a) die ideal gerichtete Reflexion an einer völlig glatten Oberfläche, in b) eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und in c) eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

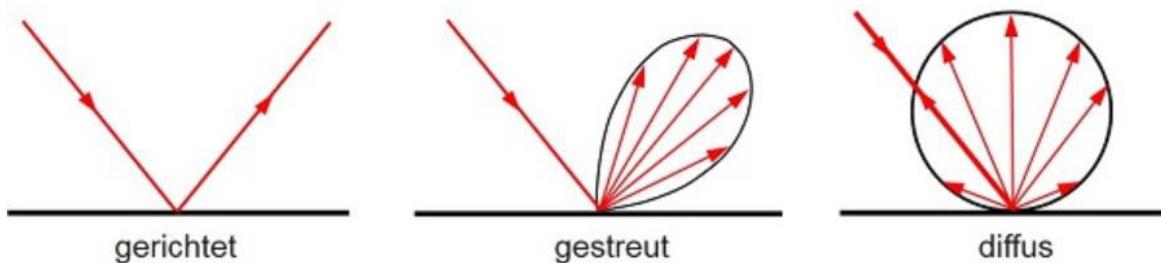


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

Bei realer Reflexion kommt es zudem zu sogenannter Bündelaufweitung, einer Streuung um den idealen Reflexionswinkel. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen idealem Reflexionswinkel und Streuungswinkel nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung stark ab. Hier wird, wenn von einer Bündelaufweitung gesprochen wird, das Bogenmaß (oder der Winkel) der Standardabweichung um die Intensität der realen Reflexion verwendet (s. Abbildung 6).

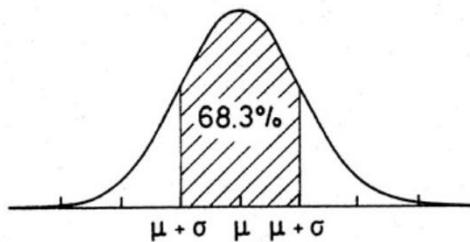


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 7 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

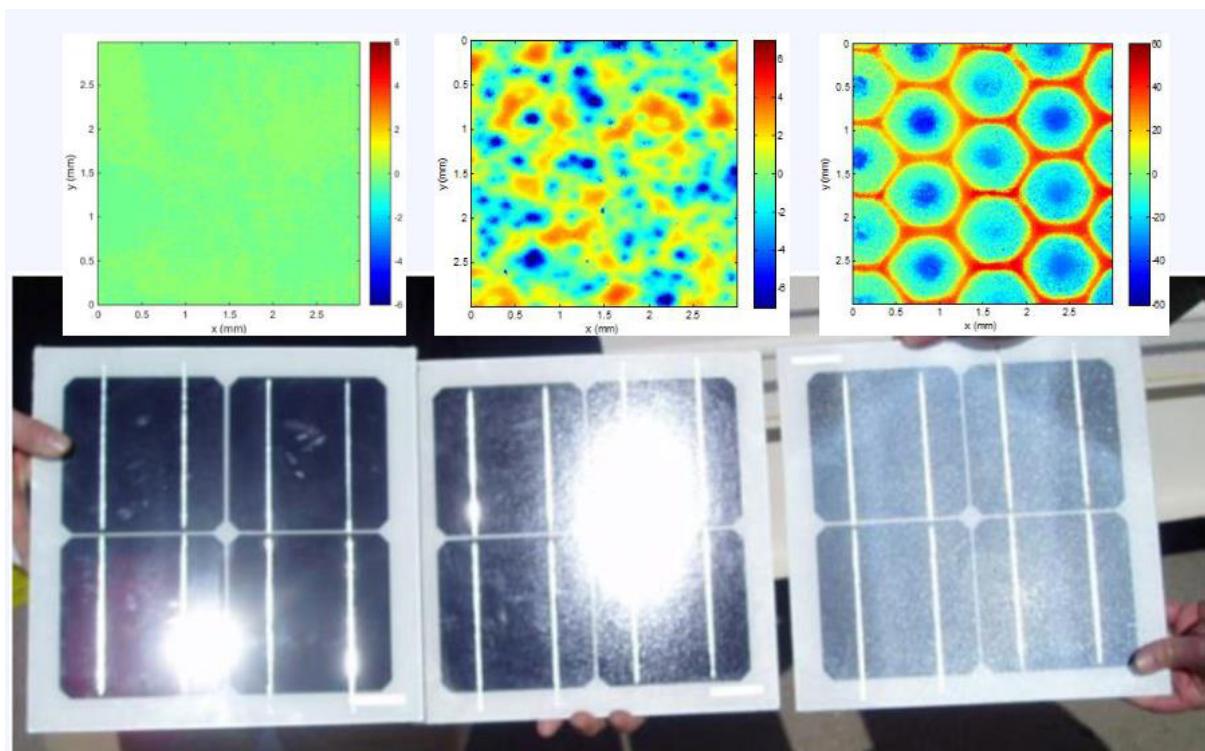


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas eine Strahlweitung von 20 mrad ($1,15^\circ$), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad ($5,27\text{-}10,56^\circ$) 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 satinierterem Glas eine Möglichkeit, um beinahe vollständig blendfreie Module herzustellen, siehe Abbildung 8.

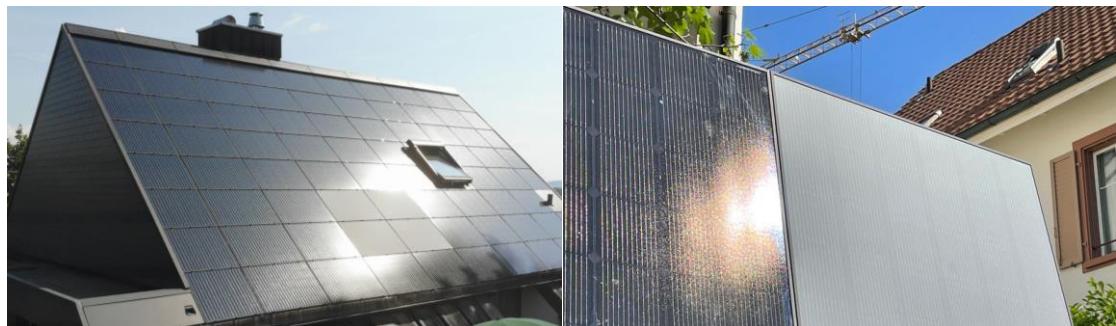


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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

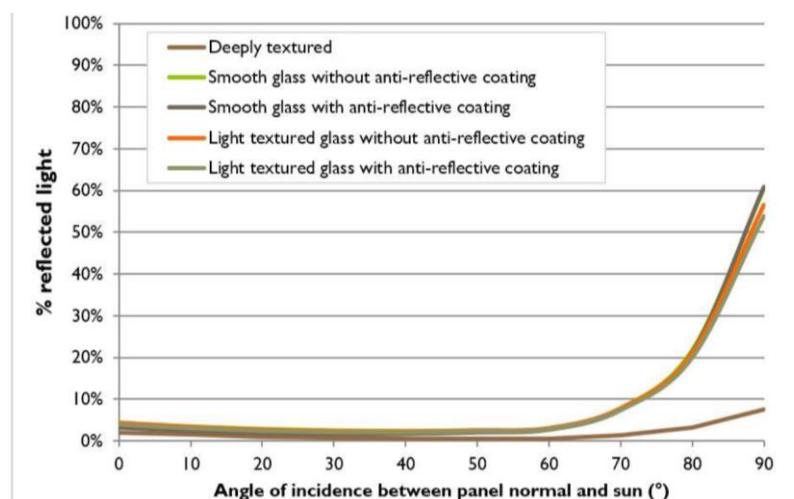


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

4.3 Blendung

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

Es wird zwischen einer Blendung, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung, welche „nur“ als unangenehm empfunden wird, unterschieden. Während eine Beeinträchtigung der Sicht in Verkehrssituationen gänzlich vermieden werden sollte, ist für ortsfeste Beobachter eine kurzeitige Beeinträchtigung durch Blendung ein geringeres Problem als eine lang andauernde „nur“ unangenehm empfundene Blendung. Wann eine Reflexion als unangenehm empfunden wird, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. In der Literatur werden verschiedene Berechnungsmethoden vorgeschlagen, es hat sich jedoch bisher kein Standard etablieren können [5].

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld) eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann. Dies wird in Abbildung 10 verdeutlicht: Erhöht sich die adaptive Helligkeit, erhöht sich auch die minimale Helligkeit, die ein Objekt haben muss, um gut erkennbar zu sein. Das Anpassungsvermögen an die Umgebungshelligkeit endet bei einer Helligkeit zwischen 10^4 - 10^5 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.

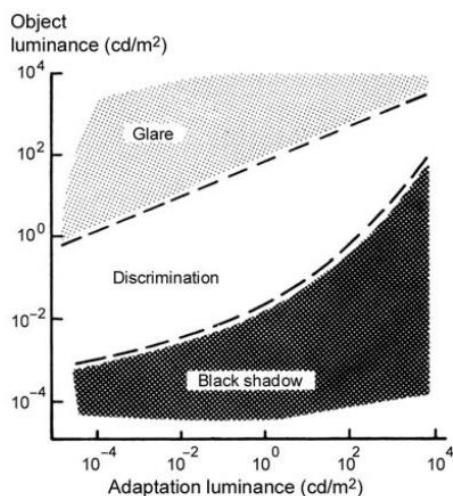


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

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 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. Allerdings leiten die LAI-Hinweise Bewertungsgrößen aus einem Hinweisblatt für Windenergieanlagen [7] ab. Die LAI-Hinweise definieren diese Bewertungsgrößen wie folgt:

*„[Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass...] eine erhebliche Belästigung im Sinne des BlmSchG 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 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. 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 [10].

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 [6] und die TU Ilmenau [11].
- 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 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 [12].

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 Blendpotential 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 Sicht einschränkungen 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 Blendpotential.

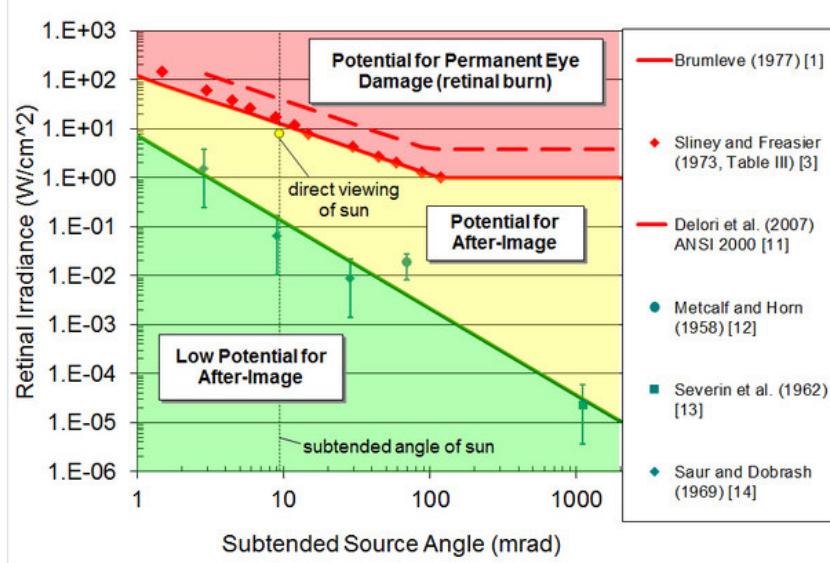


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [12]

6 Simulation mit ForgeSolar

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

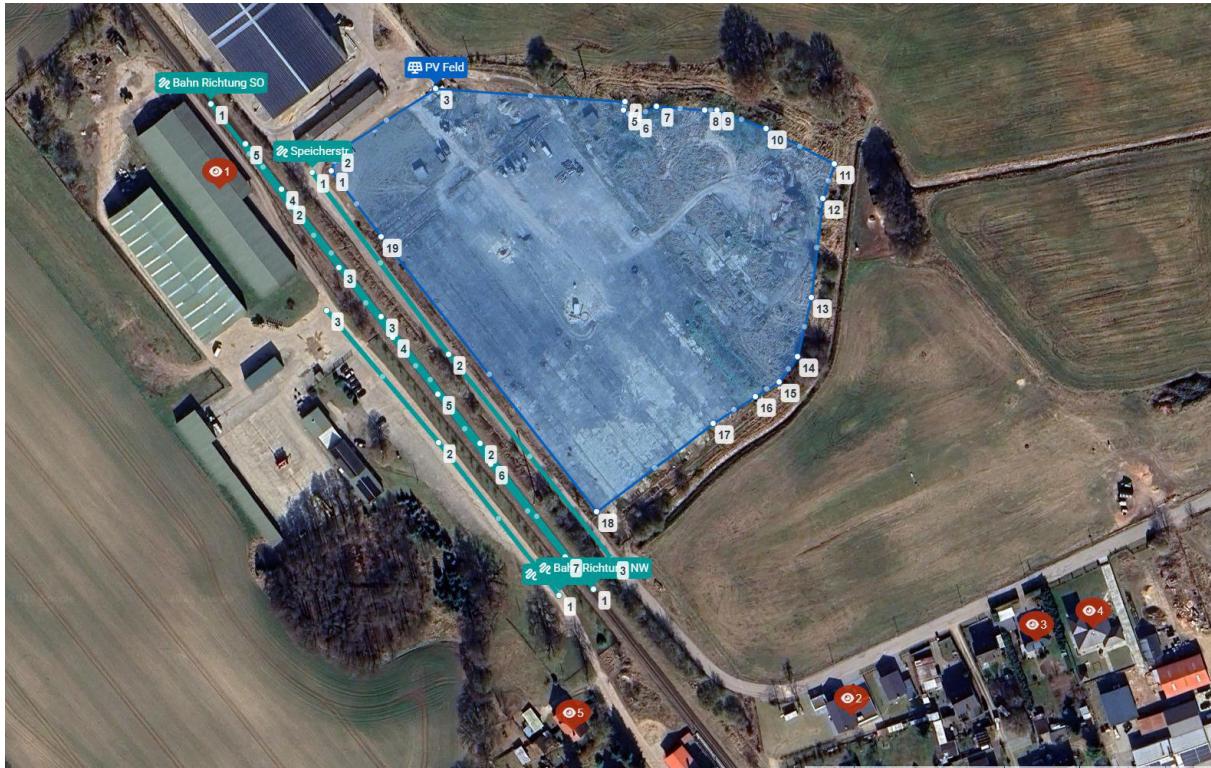


Abbildung 12: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar

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 mit 180° Azimut und 17° Neigungswinkel simuliert. Die mittlere Modulhöhe ergibt sich zu 2 m. Als maximale Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche werden 1000 W/m² angesetzt. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten der PV-Fläche

PV-Fläche	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV Feld	1	53,65843924	11,17761275	56,4	1,8	58,2
	2	53,65851951	11,1776503	56,5	1,8	58,3

3	53,65878018	11,17834365	56,2	1,8	58
4	53,65872455	11,17966598	56,5	1,8	58,3
5	53,65868958	11,17965793	56,6	1,8	58,4
6	53,65866335	11,17973437	57	1,8	58,8
7	53,65870547	11,17988458	57,2	1,8	59
8	53,65869117	11,18022656	56,3	1,8	58,1
9	53,65869037	11,18030837	56,8	1,8	58,6
10	53,65861487	11,18065169	57,7	1,8	59,5
11	53,65846864	11,1811318	56,4	1,8	58,2
12	53,65832559	11,18105	56,3	1,8	58,1
13	53,6579163	11,18096819	56,4	1,8	58,2
14	53,65767152	11,18087163	56,8	1,8	58,6
15	53,65756581	11,18074557	56,4	1,8	58,2
16	53,65750541	11,18057793	56,5	1,8	58,3
17	53,65739494	11,18028423	55,8	1,8	57,6
18	53,65702701	11,17947011	56,3	1,8	58,1
19	53,65816615	11,17796308	55,5	1,8	57,3

Für die optischen Eigenschaften der Moduloberfläche wurde für die Simulation mit Straßen 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.

Für die optischen Eigenschaften der Moduloberfläche wurde für die Simulation mit Beobachtungspunkten ein glattes Glas mit einer Rauigkeit (auf Englisch: slope error) von 0 mrad gewählt, um den Ansatz der LAI [7] (ideale Verspiegelung) nachzubilden.

6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden die Bahnstrecke 6932 (Lützow-Gadebusch), die Speicherstraße und die Bahnhofstraße sowie schutzwürdige Nachbarschaften untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder von März 2025. Die Untersuchungshöhe 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 Schienenverkehr wird ein Sichtwinkel von ±20° zur Fahrtrichtung berücksichtigt. 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]
Bahnhof Str.	1	53,65668299	11,17920374	58,2	3	61,2
	2	53,65731562	11,17836152	56,7	3	59,7
	3	53,65786241	11,17757832	56,7	3	59,7
Bahn Richtung NW	1	53,65670877	11,17944659	57,9	3	60,9
	2	53,65731248	11,17865254	56,7	3	59,7
	3	53,65783702	11,17796053	56,4	3	59,4
	4	53,65836234	11,17726181	56,5	3	59,5
	5	53,65855228	11,17701371	56,6	3	59,6
Bahn Richtung SO	1	53,65871547	11,17676819	56,8	3	59,8
	2	53,6583038	11,17731301	56,5	3	59,5
	3	53,65803994	11,17766438	56,5	3	59,5
	4	53,65774907	11,17804391	56,4	3	59,4
	5	53,65751541	11,17835907	56,8	3	59,8
	6	53,65722532	11,17872788	56,9	3	59,9
	7	53,65683986	11,17924822	58,3	3	61,3
Speicherstr.	1	53,65843463	11,17747639	56,4	3	59,4
	2	53,65768121	11,17843126	56,8	3	59,8
	3	53,65683241	11,17957388	57,1	3	60,1

Tabelle 3: Koordinaten der zu untersuchenden Beobachtungspunkte

Beobachtungs-punkte	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Bahnhof Lützow 1	53,65838694	11,1768273	56,7	2,7	59,4
Wohnhaus 2	53,65620348	11,18125088	57,1	4,7	61,8
Wohnhaus 3	53,65651036	11,18253998	58,5	4,7	63,2
Wohnhaus 4	53,65656679	11,18293963	58,1	4,7	62,8
Wohnhaus 5	53,65614469	11,17930056	58	4,7	62,7

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.

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass es weder auf der Bahnstrecke noch auf der Bahnhofstraße und der Speicherstraße zu Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten kommen kann. Für den Bahnhof Lützow liegen die täglichen und jährlichen potenziellen Blenddauern deutlich unterhalb der Grenzwerte gemäß den LAI-Hinweisen. Eine erhebliche Beeinträchtigung kann daher ausgeschlossen werden.

Tabelle 4: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr	Längste potenzielle tägliche Blenddauer in Minuten
Bahn Richtung NW	0	0
Bahn Richtung SO	0	0
Bahnhof Str.	0	0
Speicherstr.	0	0
Bahnhof Lützow	2	2
Wohnhaus 2	0	0
Wohnhaus 3	6	4
Wohnhaus 4	6	4
Wohnhaus 5	0	0

8 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Lützow für den Verkehr an den angrenzenden Verkehrswegen untersucht. Als relevante Immissionsorte wurden dabei die Bahnstrecke 6932 (Lützow–Gadebusch), die Speicherstraße, die Bahnhofstraße der Bahnhof Lützow sowie schutzwürdige Nachbarschaften betrachtet.

Das Gutachten kommt zu dem Schluss, dass es auf Basis der Strahlengeometrie weder auf der Bahnstrecke noch auf der Speicherstraße oder der Bahnhofstraße zu Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten kommen kann. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird somit ausgeschlossen.

Für den Bahnhof Lützow sowie die Wohngebäude bzw. schutzwürdigen Nachbarschaften liegen die täglichen und jährlichen potenziellen Blenddauern deutlich unterhalb der in den LAI-Hinweisen definierten Grenzwerte. Eine erhebliche Beeinträchtigung kann daher ausgeschlossen werden. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen 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 Lichtimmisionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immisionsschutz (LAI)*, 2012.
- [7] Länderausschuss für Immisionsschutz, *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immision von Windnergieanlagen (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 (Quelle: Auftraggeber)	4
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	5
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	6
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	6
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	7
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]	7
Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]	8
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]	8
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]	9
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [12]	12
Abbildung 12: PV-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.