

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

Tel. +49 (0)30 29 38 12 80

E-Mail solarservices@dgs-berlin.de

Web www.dgs-berlin.de

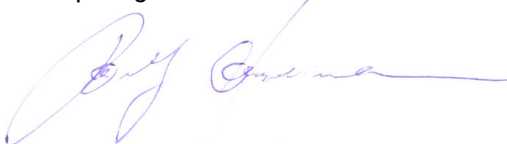
Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Bebra

Anlage: Solarpark Bebra
50.986690°, 9.794499°
36179, Bebra

in Auftrag gegeben von: Wattner Projektentwicklungsgesellschaft mbH
Maximinenstraße 6
50668 Köln

Projektnummer: A-LV26/0070

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn



Bearbeiter: Dr.-Ing. Isaac Martinez-Noguez



Berlin, 22.05.2026

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Untersuchungsziel und Bewertungsgrundlagen	4
3	Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar	5
3.1	Simulationstool und Modellierung	5
3.2	Bewertung der Blendwirkung	6
4	Projektbeschreibung	8
4.1	Beschreibung der Umgebung	8
4.2	Beschreibung der PV-Anlage	8
5	Simulation mit ForgeSolar	11
5.1	PV-Anlage	11
5.2	Immissionsorte	11
6	Ergebnisse mit ForgeSolar	12
6.1	Immissionsort Justus-Liebig-Str. in Fahrtrichtung Osten	12
6.2	Route 6 Justus-Liebig-Straße, Abbiegebereich in den Nebenweg	14
6.3	Ernst-Abbe-Str.	15
	Literaturverzeichnis	17
	Abbildungsverzeichnis	19
	Gewährleistung	20
	Vorbehaltsklausel für die Veröffentlichung des Gutachtens	20
Anhang	21	
A	Fachliche Bewertungsgrundlagen	21
B	Rechtliche Beurteilungsgrundlagen	28
C	Koordinaten der Simulation	31

1 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen der geplanten PV-Anlage Bebra (siehe Abschnitt 4.1) für den Verkehr der anliegenden Bundesstraße 27, der Justus-Liebig-Straße mit dem Abbiegebereich in den Nebenweg, der Kreuzung der Ernst-Abbe-Straße, der Bundesstraße B83 sowie für die angrenzenden Bebauungen untersucht.

Das Gutachten kommt auf Basis der durchgeführten Simulation zu dem Schluss, dass es zu keinen Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten auf der **Bundesstraße 27** kommen kann. Es ist entsprechend von **keiner Blendwirkung** und damit von keiner Gefährdung der Verkehrssicherheit auszugehen.

Für die **anliegende Wohnbebauung** werden die Grenzwerte für die potenzielle Blenddauer, wie sie durch die Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (kurz: LAI) vorgeschlagen werden, **unterschritten**. Es ist entsprechend auf Basis der LAI-Hinweise von keiner relevanten Blendwirkung für die Anwohner auszugehen.

Für die Immissionsorte **Justus-Liebig-Straße in Fahrtrichtung Osten, den Abbiegebereich in den Nebenweg sowie die Kreuzung der Ernst-Abbe-Straße** wurden potenzielle Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer ermittelt. werden die potenziellen Blendwirkungen insgesamt als nicht erheblich eingestuft.

Zusätzliche Maßnahmen zur Blendminderung werden daher nicht als erforderlich angesehen.

2 Untersuchungsziel und Bewertungsgrundlagen

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Bebra und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung umliegender definierter Immissionsorte (siehe Abschnitt 4) untersucht. Sofern potenzielle Lichtimmissionen zu einer Gefährdung oder erheblichen Beeinträchtigung der Umgebung führen können, werden geeignete Maßnahmen zur Vermeidung entsprechender Auswirkungen dargestellt.

Die Beurteilung der Immissionswirkung erfolgt unter Berücksichtigung der fachlichen Literatur und der maßgeblichen rechtlichen Dokumente. Die Grundlagen der fachlichen Bewertung sind im Anhang A (Seite 21) dargestellt. Eine Übersicht der bestehenden Regulatorik zum Thema Lichtimmissionen ist im Anhang B (Seite 28) aufgeführt.

3 Methodik der Untersuchung mit ForgeSolar

3.1 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 [4].

Das Tool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die mit Modulen belegte Fläche. Hierzu werden auf einer Karte die belegten Flächen markiert und die Ausrichtung (Neigungswinkel und Azimut) eingestellt. Mit den Höhendaten des Geländes für die Ecken der belegten Fläche wird 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. Die Blendwirkung wird für einen perfekt wolkenlosen Himmel berechnet. Somit ergeben sich die astronomisch maximalen Blendzeiträume. Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Webseite von ForgeSolar verwiesen [5].

Über die Parametrisierung der Rauigkeit der Moduloberfläche lässt sich in der Simulation die Strahlaufweitung verschiedener Modulklassen abbilden. Wenn hierzu keine genaueren Angaben in Form von Messprotokollen vorliegen, wird für die Simulation der potenziellen Blendwirkung auf den Verkehr von einem marktüblichen Glas mit einer Rauigkeit (slope error) von 6,55 mrad gewählt, was einer Aufweitung von ca. +/- 2,5° entspricht. 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 Simulation der potenziellen Blendzeiträume auf schutzwürdige Immissionsorte wird in einer zweiten Simulation dagegen eine Rauigkeit von 0 mrad gewählt, um den Ansatz der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (kurz: LAI) [6] (ideale Verspiegelung) nachzubilden.

Zur Bewertung der Blendung im Straßenverkehr werden nur Reflexionen im Bereich des Blickwinkels von $\pm 30^\circ$ berücksichtigt, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs werden die Reflexionen im Bereich des Blickwinkels von $\pm 20^\circ$ berücksichtigt. In Verkehrssituationen, in welchen ein erweitertes Blickfeld relevant ist, werden entsprechend größere Blickwinkel berücksichtigt. Bei einfachen, nicht konzentrierenden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfelds ist von keinen relevanten Blendwirkungen für die Erfüllung der Fahraufgaben auszugehen.

Die Immissionshöhe im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 2,7 m festgelegt, was der maximalen 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

zutritt, weil eine Blendung von oben stattfindet, wird die Sichthöhe stattdessen auf 1,0 m über der Fahrbahn festgelegt, um in diesem Fall einen PKW abzubilden. Die Untersuchung unter Ansatz der maximalen Sichthöhe von 2,7 m stellt eine konservative Worst-Case-Betrachtung dar; da niedrigere Beobachtungshöhen grundsätzlich geringeren potenziellen Blendwirkung ausgesetzt sind, sind Pkw-Fahrer damit stets implizit berücksichtigt. Die Immissionshöhe für Bahntrassen wird typischerweise auf 3 m über der Trasse festgelegt. Werden Reflexionen im relevanten Sichtfeld festgestellt, so erfolgt die Berechnung der Blendwirkung auf Basis der Strahlengeometrie und der physiologischen Grundlagen des Sehapparats, wie sie detaillierter in Anhang A (Seite 21) beschrieben werden.

Bei der Untersuchung schutzwürdiger Immissionsorte (z. B. Wohngebäude) werden exemplarisch diejenigen Gebäude, Fenster und Aufenthaltsbereiche betrachtet, die aufgrund ihrer Lage die längsten potenziellen Blendzeiträume erwarten lassen (Worst-Case-Ansatz). Vor diesem Hintergrund ist nicht davon auszugehen, dass andere umliegende Immissionsorte, die nicht im Detail aufgeführt werden, höhere potenzielle Immissionsdauern aufweisen.

Reflexionen, welche aus der gleichen Richtung wie die direkte Sonnenstrahlung kommen, werden in Übereinstimmung mit der beschriebenen Methodik der LAI-Hinweise [2] bei Untersuchung schutzwürdiger Immissionsorte nicht betrachtet. Die Differenz der Richtungsvektoren von Reflexionsstrahl und Sonneneinstrahlung darf hierzu 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. Im Straßen- und Bahnverkehr werden die Reflexionen erst bei sehr tiefen Sonnenständen (Höhe $\leq 5^\circ$) gefiltert, weil dann eine Sonnenblende nicht mehr effektiv zum Einsatz kommen kann [3].

3.2 Bewertung der Blendwirkung

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 Reflexionsgrad der PV-Fläche [%]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der äquivalente Öffnungswinkel der blendenden 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]
- Die Leuchtdichte der Reflexionen [cd/m^2]

Das Blendpotenzial bei einem direkten Blick in die Blendquelle wird gemäß Abbildung 1 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine anhaltende Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen mit einer Dauer länger einer Sekunde kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle ist (angegeben als äquivalenter Sichtwinkel in Milliradian), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

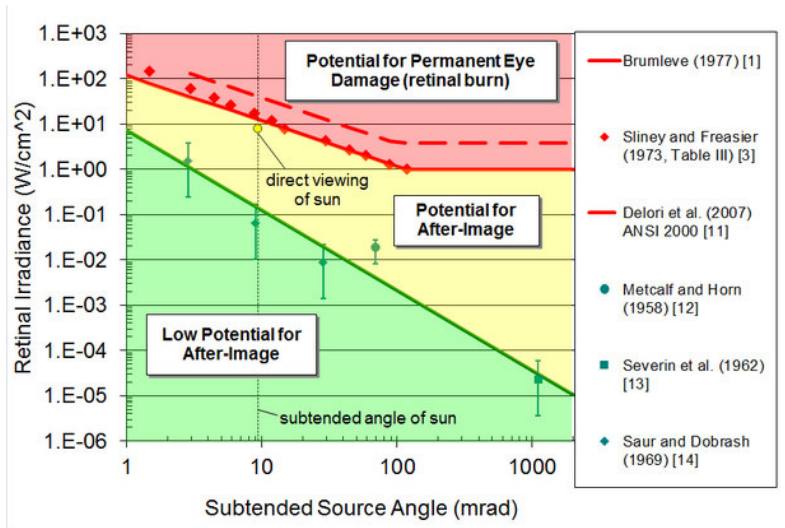


Abbildung 1: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [5]

4 Projektbeschreibung

In diesem Abschnitt erfolgt die Beschreibung der Umgebung und der PV-Anlage.

4.1 Beschreibung der Umgebung

Die geplante PVA liegt nördlich des Ortsteils Bebra im Landkreis Harburg in Niedersachsen. Südlich und westlich des Solarparks liegt die Bundesstraße 27 (A27) an, westlich die Justus-Liebig-Straße. Die PVA ist auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen geplant. Das Gelände weist keine ebene Topografie auf, sondern verfügt über eine vorhandene Basisneigung. Die jeweilige Basisneigung wurde für jedes PV-Feld berechnet und ist in Tabelle 1 dargestellt. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 2 gegeben. Ein Ortstermin wurde nicht durchgeführt.

Als relevante Immissionsorte werden die Bundesstraße 27, die Justus-Liebig-Straße mit dem Abbiegebereich in den Nebenweg, die Kreuzung Ernst-Abbe-Straße, die Bundesstraße B83 sowie angrenzende Bebauungen untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers sowie Satellitenbilder.



Abbildung 2: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

4.2 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist auf einer Fläche von ca. 13,7 ha und mit einer DC-Leistung von 15.393,24 kWp geplant. Für die PV-Felder 1 und 2 ist ein Azimut von 180° vorgesehen, während für das PV-Feld 3 ein Azimut von 161,7° angesetzt

wird. Für die PV-Felder 4 und 5 ist ein Azimut von $170,3^\circ$ geplant. Der Modulneigungswinkel beträgt für sämtliche PV-Felder 17° .

Wie bereits zuvor beschrieben, weist das Gelände keine ebene Topographie auf, sondern verfügt über eine vorhandene Basisneigung. Unter Berücksichtigung dieser Geländeneigung ergibt sich für die geplante Anlagenkonfiguration ein resultierender realer Azimut, welcher in Tabelle 1 dargestellt ist.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Werte für den realen Azimut sowie die reale Modulneigung wurden als Grundlage für die durchgeführten Blendungssimulationen verwendet.

Abbildung 3 zeigt den vom Auftraggeber bereitgestellten maximalen Bereich der geplanten Anlagengeometrie. Dieser Bereich diente als Grundlage für die weitere Modellierung und Durchführung der Blendungssimulationen. Für die Analyse wird ein geodätisches Referenzsystem verwendet.

Tabelle 1: Anlagengeometrie unter Berücksichtigung der Geländebasisneigung

PV-Anlage	Geplanter Azimut	Geplante Modulneigung	Basisneigung	Realer Azimut	Real Basisneigung
1	180	17	0,5	181	17
2	180	17	4,6	194,7	17,6
3	161,7	17	-7,9	137,5	18,6
4	170,3	17	-7,3	147,7	18,4
5	170,3	17	-6,9	148,9	18,3

Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit drei im Querformat (Landscape) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 2,93 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 3: Für die Blendungssimulation berücksichtigte Untersuchungsfläche (Quelle: ForgeSolar)

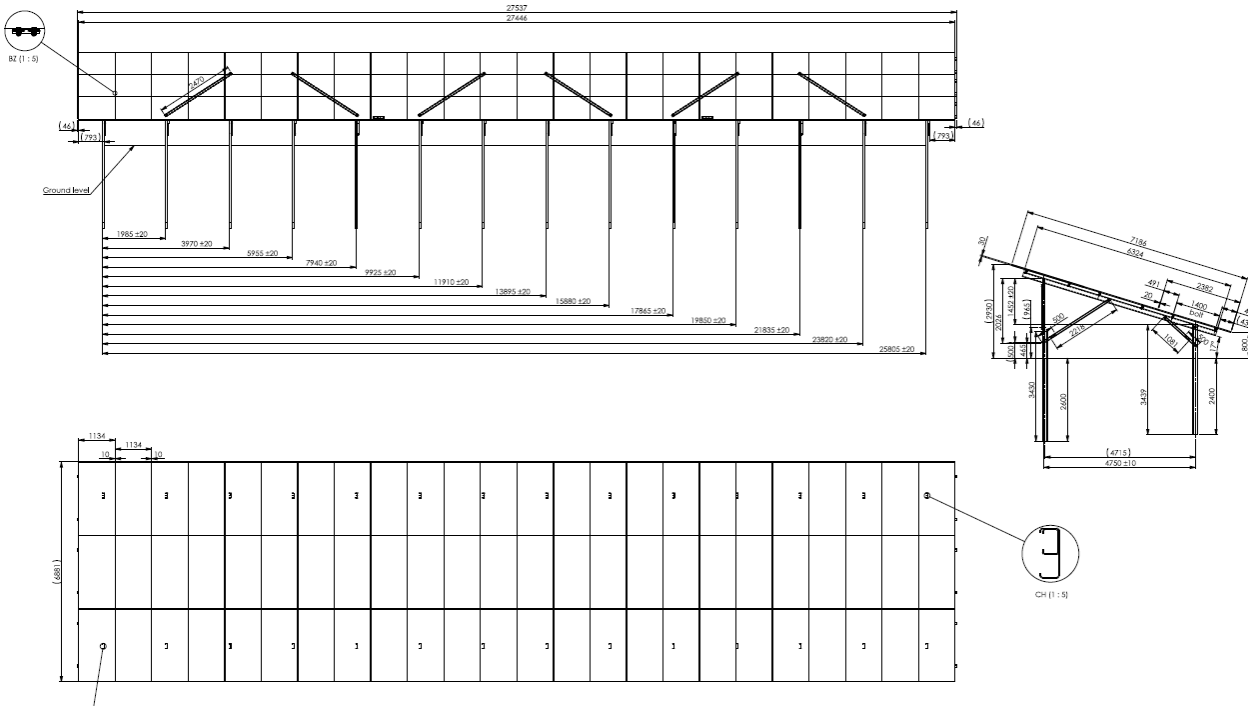


Abbildung 4: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

5 Simulation mit ForgeSolar

Dieser Abschnitt stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 5 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt. Sichtunterbrechungen durch das Gelände oder Objekte/Häuser werden durch die Simulation nicht automatisch ermittelt und müssen manuell eingetragen werden.

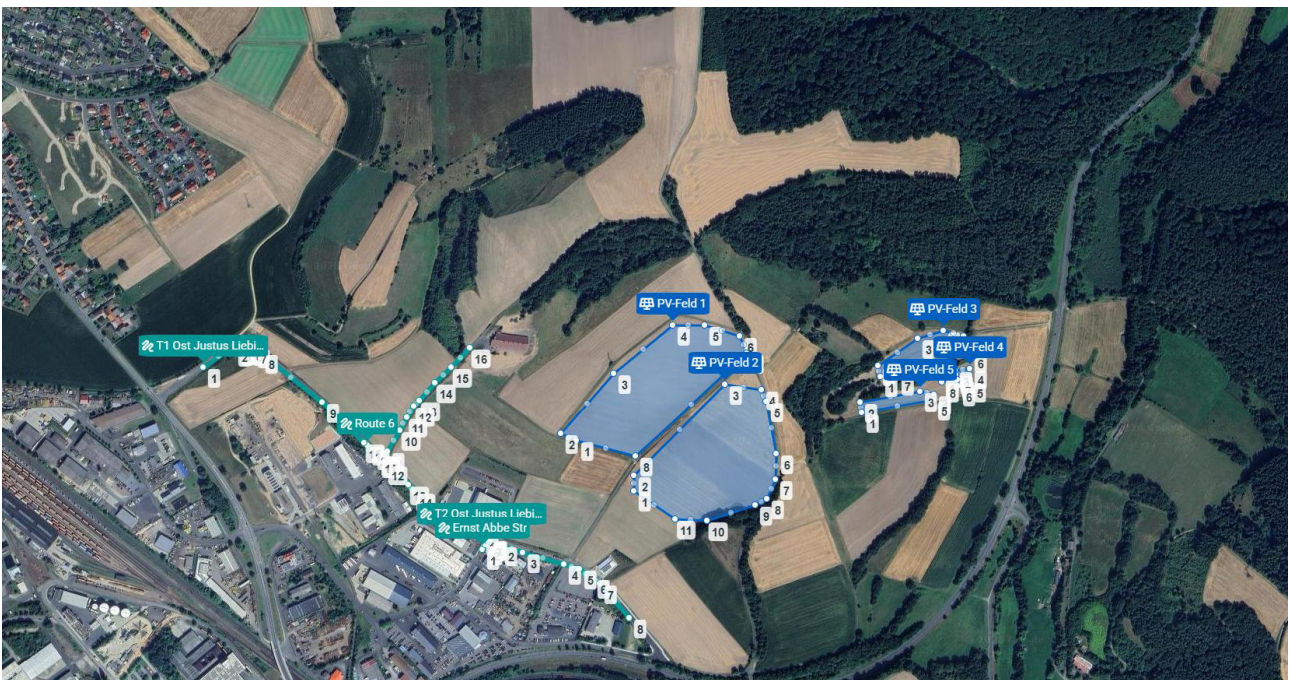


Abbildung 5: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar

5.1 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 bereitgestellten Planungsunterlagen sowie auf Satellitendaten. Als maximale Bestrahlungsstärke auf die horizontale Fläche werden 1000 W/m^2 angesetzt. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 3 im Anhang C (Seite 31) aufgeführt.

5.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte wurden die Bundesstraße B27, die Justus-Liebig-Straße mit dem Abbiegebereich in den Nebenweg (in der Modellierung als Route 6 definiert), die Kreuzung Ernst-Abbe-Straße sowie die Bundesstraße B83 und die angrenzenden Bebauungen untersucht. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers sowie Satellitenbilder. Die exakten Koordinaten, die Höhen

ü. NN, die für die Simulation angenommenen Untersuchungshöhen und die daraus resultierenden Gesamthöhen sind aus Tabelle 4 im Anhang C (Seite 31) zu entnehmen.

6 Ergebnisse mit ForgeSolar

In Tabelle 2 sind die ermittelten Ergebnisse der Simulation bezüglich der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. 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.

Tabelle 2: Simulationsergebnisse nach Filterung der Ergebnisse

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden über ein Jahr	Längste potenzielle tägliche Blenddauer in Minuten
Gebäude 1	26	11
Gebäude 2	0	0
Gebäude 3	11	8
Gebäude 4	6	6
Ernst-Abbe-Str.	51	23
Route 6	42	23
Justus-Liebig-Str. Richtung Osten	28	20
Justus-Liebig-Str. Richtung Westen	0	0
B27 Richtung Süden	0	0
B27 Richtung Norden	0	0

6.1 Immissionsort Justus-Liebig-Str. in Fahrtrichtung Osten

Die Ergebnisse der Simulation für die Justus-Liebig-Str. in Fahrtrichtung Osten sind in Abbildung 6 dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 04.04. bis zum 24.05. und vom 20.07. bis zum 08.09. zwischen 7:02 - 7:44 Uhr mit Immissionswinkeln zwischen 73 - 89° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 20 Minuten erreicht und über das gesamte Jahr eine potenzielle Dauer von 27,4 Stunden.

Die Reflexionen können **am Rand des relevanten Sichtfeldes** der Verkehrsteilnehmer auftreten. Der betroffene Streckenabschnitt sowie die möglichen Immissionswinkel sind in Abbildung 7 dargestellt.

Darüber hinaus befindet sich der betrachtete Immissionsort in einer Entfernung von mehr als 280 m zum nächstgelegenen Punkt der geplanten PV-Anlage. Aufgrund dieser vergleichsweise großen Distanz ist von einer zusätzlichen Reduzierung der wahrnehmbaren Blendwirkung auszugehen. Weiterhin beschränkt sich der Bereich, in dem potenzielle Reflexionen auftreten können, auf einen Abschnitt von lediglich ca. 130 m. Die potenzielle Wahrnehmbarkeit der Reflexionen ist somit räumlich und zeitlich deutlich begrenzt.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der betroffene Straßenabschnitt geradlinig verläuft und keine Kurvensituation vorliegt. Die Sichtbeziehungen auf den Gegenverkehr sowie auf den weiteren Straßenverlauf sind als gut einzustufen. Darüber hinaus gilt in diesem Bereich eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, wodurch ausreichend Reaktions- und Anpassungszeit für Verkehrsteilnehmer gegeben ist.

Unter Berücksichtigung der dargestellten Randbedingungen, insbesondere der reduzierten Blendrelevanz der reflektierten Lichtanteile, der großen Entfernung zwischen PV-Anlage und Immissionsort, der begrenzten räumlichen Ausdehnung des betroffenen Bereichs sowie der günstigen verkehrlichen Situation, werden die potenziellen Blendwirkungen insgesamt als nicht erheblich eingestuft. Vor diesem Hintergrund werden keine zusätzlichen Maßnahmen zur Blendminderung empfohlen.

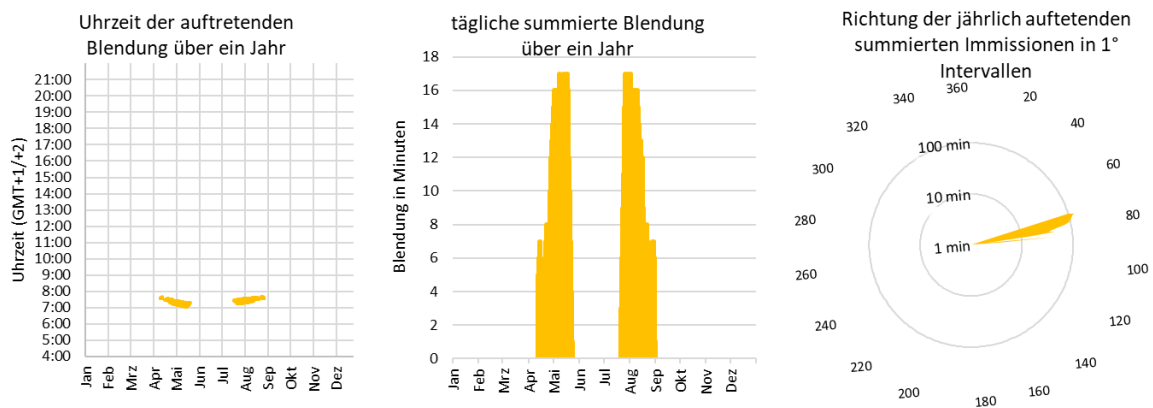


Abbildung 6: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung



Abbildung 7: Von potenzieller Blendung (rot) betroffenes Sichtfeld (gelb) sowie betroffener Streckenabschnitt (orange)

6.2 Route 6 Justus-Liebig-Straße, Abbiegebereich in den Nebenweg

Die Ergebnisse der Simulation für die Justus-Liebig-Str. in Fahrtrichtung Osten sind in Abbildung 8 dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 21.03. bis zum 22.09. zwischen 6:18 - 8:00 Uhr mit Immissionswinkeln zwischen 63 - 96° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 23 Minuten erreicht und über das gesamte Jahr eine potenzielle Dauer von 41,8 Stunden.

Der betroffene Streckenabschnitt und die möglichen Immissionswinkel sind in Abbildung 9 dargestellt. Im Bereich der Route 6 können potenzielle Reflexionen während des Abbiegevorgangs in den Nebenweg auftreten. Bei dem betroffenen Nebenweg handelt es sich jedoch um eine untergeordnete einspurige Straße, auf der lediglich mit geringen Geschwindigkeiten gefahren wird. Darüber hinaus ist das Verkehrsaufkommen im Bereich dieses Abbiegevorgangs insgesamt als gering einzustufen.

Zusätzlich gilt auf der Justus-Liebig-Straße eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h. Aufgrund des geradlinigen Straßenverlaufs bestehen gute Sichtbeziehungen sowohl auf den Gegenverkehr als auch auf den nachfolgenden Verkehr. Eine angemessene Reaktion der Verkehrsteilnehmer ist daher jederzeit möglich. Der Gegenverkehr kann ungeachtet einer möglichen kurzzeitigen Sichtbeeinträchtigung weiterhin sicher erkannt werden.

Aus den genannten Gründen wird das Gefährdungspotenzial für den Straßenverkehr durch mögliche Reflexionen an den Modulflächen insgesamt als sehr gering eingestuft. Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen werden daher nicht als erforderlich angesehen.

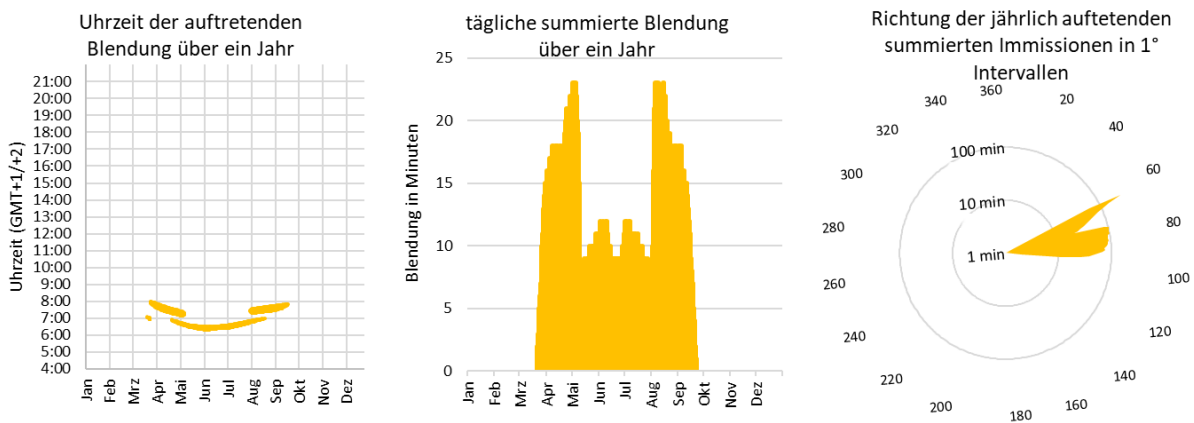


Abbildung 8: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung

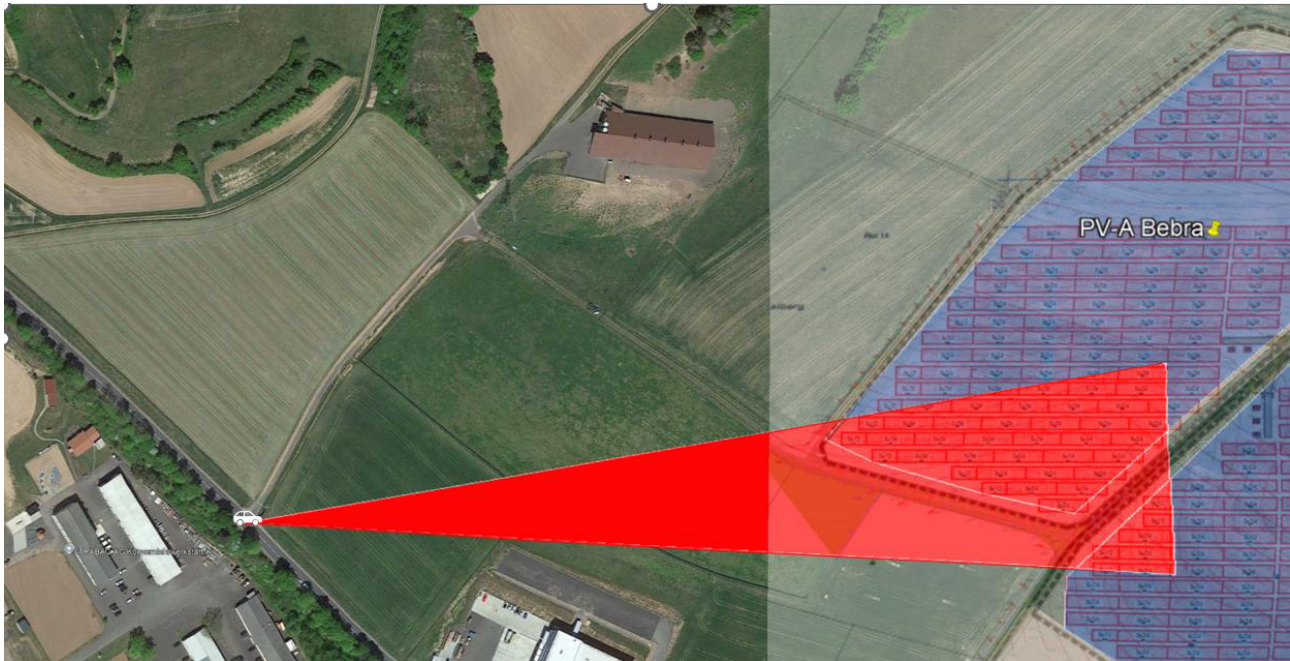


Abbildung 9: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld (rot)

6.3 Ernst-Abbe-Str.

Die Ergebnisse der Simulation für die Ernst-Abbe-Str. in Fahrtrichtung Osten sind in Abbildung 10 dargestellt. Potenzielle Blendung tritt demnach vom 07.04. bis zum 05.09. zwischen 6:58 - 7:42 Uhr mit Immissionswinkeln zwischen 68 - 87° auf. Es werden tägliche potenzielle Blenddauern bis 23 Minuten erreicht und über das gesamte Jahr eine potenzielle Dauer von 51,2 Stunden.

Im Bereich der Ernst-Abbe-Straße besteht – ähnlich wie bei der Route 6 – lediglich während des Einfahr- bzw. Abbiegevorgangs in die Justus-Liebig-Straße die Möglichkeit potenzieller Blendwirkungen durch Reflexionen an den Modulflächen. Die möglichen Reflexionen sind in Abbildung 11 dargestellt.

Das Abbiegemanöver auf die Justus-Liebig-Straße setzt für beide Abbiege-Richtungen die Sicht auf den aus Richtung Osten kommenden Verkehr der Justus-Liebig-Straße voraus, da dieser Vorfahrt hat. Dieser ist jedoch erst auf den letzten Metern vor der Einmündung in die Justus-Liebig-Straße einzusehen. Die Verkehrsteilnehmer kommen an der Abbiegung daher entweder zum Stehen oder zum Rollen mit niedriger Geschwindigkeit. Die Reflexionen liegen nicht im Sichtfeld beim Blick in Richtung des Verkehrs auf der Justus-Liebig-Straße aus Richtung Westen und Osten. Beim Abbiegemanöver ist daher von keiner relevanten Blendwirkung auf die Verkehrsteilnehmer auszugehen.

Aus Sicht des Gutachters besteht daher auf der Abfahrt und beim Abbiegen keine Gefährdung durch die möglichen Reflexionen des Modulfeldes. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

Aus den genannten Gründen wird das Gefährdungspotenzial für den Straßenverkehr durch mögliche Reflexionen an den Modulflächen insgesamt als sehr gering eingestuft. Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen werden daher nicht als erforderlich angesehen.

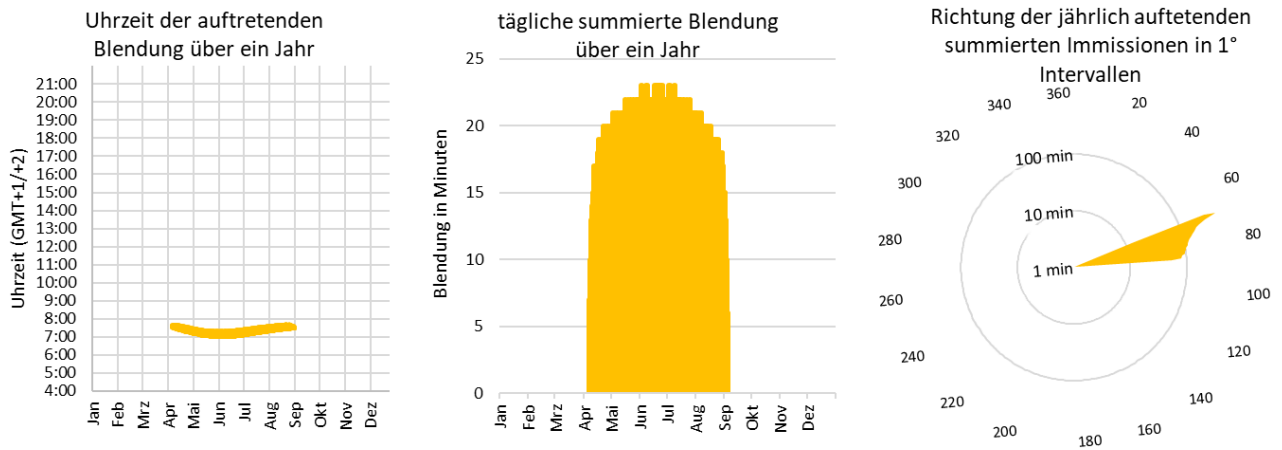


Abbildung 10: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung



Abbildung 11: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld (rot)

Literaturverzeichnis

- [1] Federal Aviation Administration (FAA), *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, 2013.
- [2] ForgeSolar / Sims Industries, LLC, *ForgeSolar Help – Guidance and methodology for PV glare analysis*, 2025.
- [3] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen, redaktionelle Überarbeitung mit Formelkorrektur, Stand 03.2018,“ 2018.
- [4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windkraftanlagen (WKA – Schattenwurfhinweise), Aktualisierung 2019, Stand 23.01.2020,“ Deutschland, 2020.
- [5] Fernstraßen-Bundesamt (FBA) and Autobahn GmbH des Bundes and Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) and Bayerisches Staatsministerium für Wohnen, Bau und Verkehr and Landesbetrieb Straßenwesen Brandenburg and Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr and Landesbetrieb für Straßenbau - Saarland and Straßenbauverwaltung Schleswig-Holstein, „Eckpunktepapier Photovoltaik: Blendwirkungen und Blendgutachten,“ 2025.
- [6] J. Trempler, *Optische Eigenschaften*, München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- [7] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts,“ 2015.
- [8] C. Bucher, *Reflexionen an Photovoltaikanlagen*, 2021.
- [9] P. Warthmann, *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem bei Photovoltaikanlage*, 2021.
- [10] P. R. Boyce, *Human Factors in Lighting*, 3 Hrsg., Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2014.
- [11] J. J. Vos, „Reflections on glare,“ *Lighting Research & Technology*, Bd. 35, p. 163–175, June 2003.
- [12] H.-D. Reidenbach, K. Dollinger, G. Ott, M. Janßen und M. Brose, *Blendung durch optische Strahlungsquellen*, 1 Hrsg., Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), 2008, p. 407.
- [13] H.-W. Bodmann und E. A. Voit, „Versuche zur Beschreibung der Hellempfindung,“ *Lichttechnik*, Bd. 14, p.

394–400, 1962.

- [14] J. W. A. M. Alferdinck, A. Toet, N. van der Leden und L. Zonneveldt, „Glare from sound barriers. Phase 2 and 3: Experiments and modelling,“ Soesterberg, 2008.
- [15] A. Stockman, M. Langendörfer, H. E. Smithson und L. T. Sharpe, „Human cone light adaptation: from behavioral measurements to molecular mechanisms,“ *Journal of Vision*, Bd. 6, p. 1194–1213, 2006.
- [16] N. Gaspelin, E. Ruthruff und M.-C. Lien, „The problem of latent attentional capture: Easy visual search conceals capture by task-irrelevant abrupt onsets,“ *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Bd. 42, p. 1104–1120, August 2016.
- [17] EASA, „CS-ADR-DSN Issue 6,“ 2022.
- [18] I. Reda und A. Andreas, „Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications,“ Golden, 2008.
- [19] S. J. Anderson und I. E. Holliday, „Night driving: effects of glare from vehicle headlights on motion perception,“ *Ophthalmic and Physiological Optics*, Bd. 15, pp. 545-551, 1995.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung [5].....	7
Abbildung 2: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)	8
Abbildung 3: Für die Blendungssimulation berücksichtigte Untersuchungsfläche (Quelle: ForgeSolar)	10
Abbildung 4: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)	10
Abbildung 5: PV-Anlage und Immissionsorte in der Simulationssoftware ForgeSolar	11
Abbildung 6: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung	13
Abbildung 7: Von potenzieller Blendung (rot) betroffenes Sichtfeld (gelb) sowie betroffener Streckenabschnitt (orange).....	13
Abbildung 8: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung	14
Abbildung 9: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld (rot).....	15
Abbildung 10: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung	16
Abbildung 11: Von potenzieller Blendung betroffenes Sichtfeld (rot).....	16
Abbildung 12: Reflexion eines Lichtstrahls.....	21
Abbildung 13: ideale, gerichtete Reflexion, reale Reflexion mit Aufweitung, ideale diffuse Reflexion [7].....	21
Abbildung 14: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung	22
Abbildung 15: 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 [8].....	22
Abbildung 16: links: Module mit satiniertes Folie [9], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [10]	23
Abbildung 17 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [8]	23
Abbildung 18: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit von der Helligkeitsadaption des Auges, adaptiert nach [11]	24

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 und 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. Dies gilt ebenso für die Haftung wegen Vorsatzes.

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.

Anhang

A Fachliche Bewertungsgrundlagen

In diesem Abschnitt werden die Grundlagen zur Berechnung von Reflexionen erläutert.

A.1 Reflexionen an Oberflächen

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 ($\alpha = \beta$).

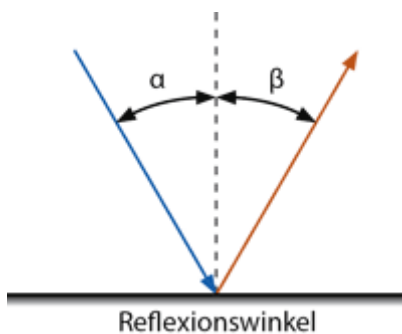


Abbildung 12: Reflexion eines Lichtstrahls

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 13 sind schematisch eine ideal gerichtete Reflexion an einer völlig glatten Oberfläche, eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambert'schen Gesetz zu sehen.

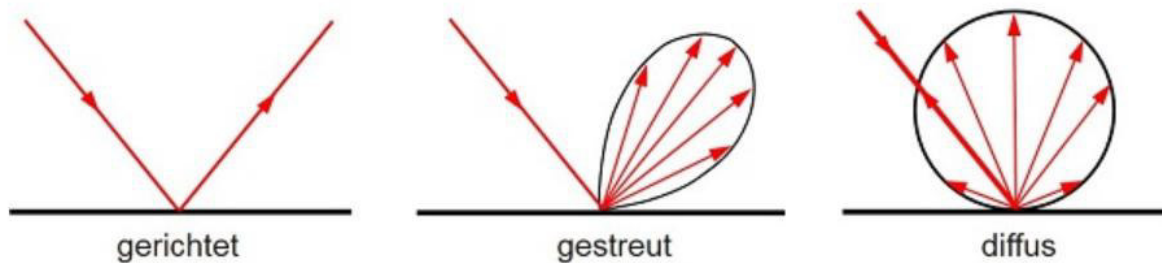


Abbildung 13: ideale, gerichtete Reflexion, reale Reflexion mit Aufweitung, ideale diffuse Reflexion [7]

Bei nicht idealen Reflexionen kommt es damit zu sogenannter Bündelaufweitung, einer Streuung um den idealen Reflexionswinkel. Mit steigendem Differenzwinkel zwischen idealem Reflexionswinkel und Streuwinkel nimmt die Intensität der reflektierten Strahlung in der Regel 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 14).

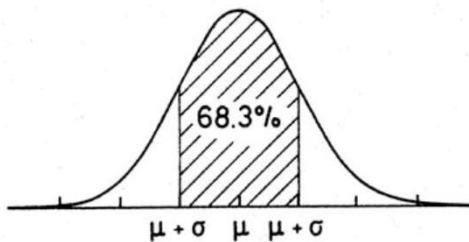


Abbildung 14: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

A.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 15 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

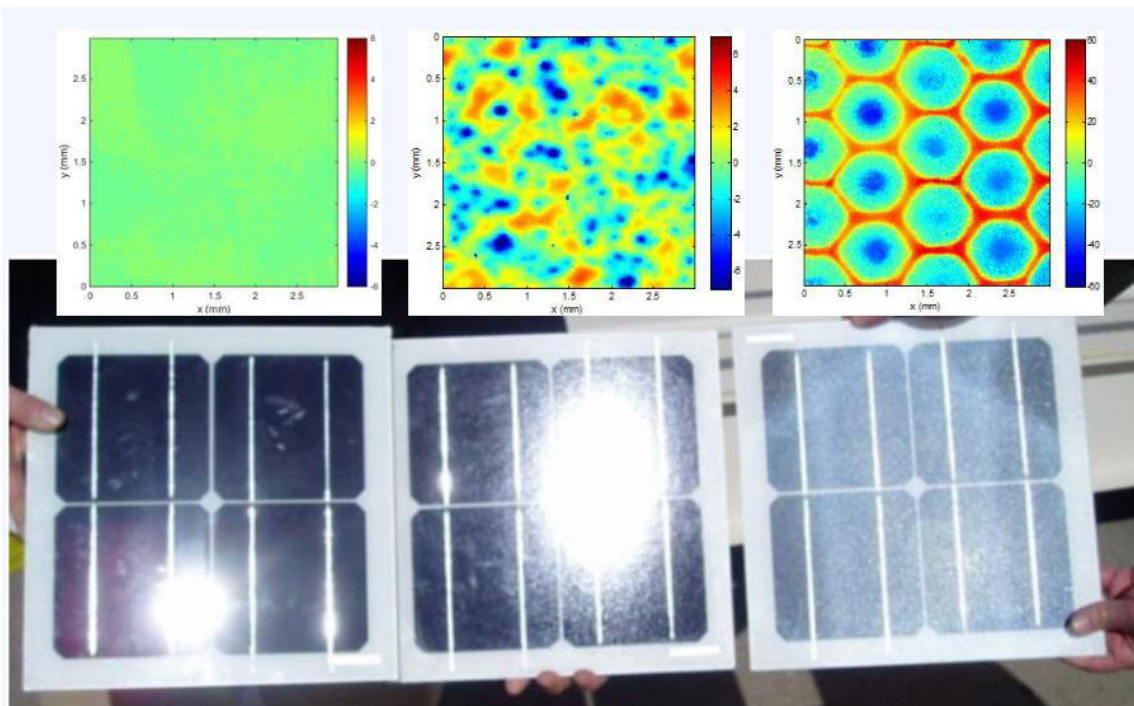


Abbildung 15: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, Mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [8]

In der Messdatenanalyse wurden für Floatglas eine Strahlweite von 20 mrad (1,15°), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweite von 92-184 mrad (5,27-10,56°) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (57°) gemessen [8]. 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 16.

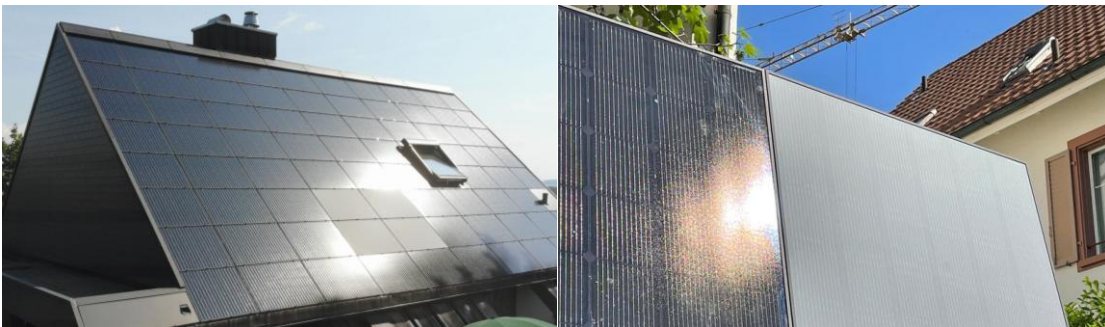


Abbildung 16: links: Module mit satinierter Folie [9], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [10]

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

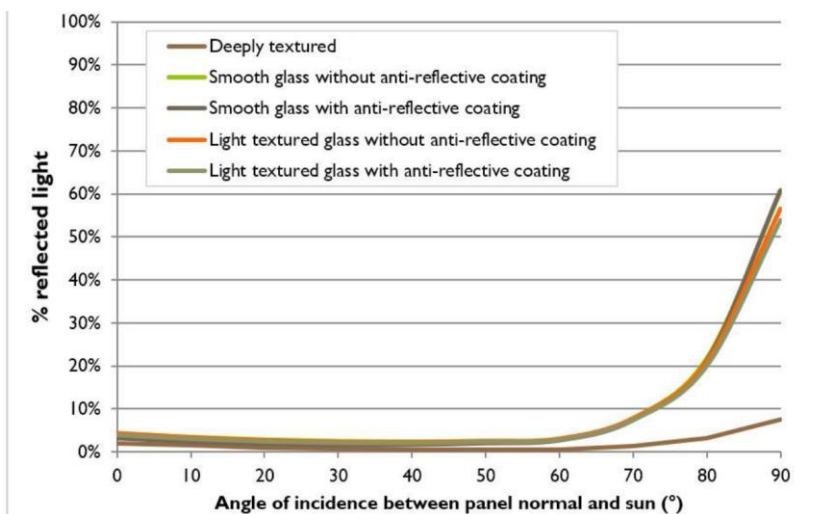


Abbildung 17 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [8]

A.3 Blendung

Blendung wird hier definiert als eine Störung der Wahrnehmung durch eine Lichtquelle. Hierfür sind zum einen die gewichtete, mittlere Helligkeit des Sichtfeldes relevant, welche zu einer entsprechenden Adaption des Auges führt, zum anderen die Helligkeiten und Kontraste der Objekte, welche wahrgenommen werden sollen.

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass die Sehaufgabe schlechter erfüllt werden kann. Es wird hierfür oft der Begriff Relativblendung verwendet, welcher in Abbildung 18 vereinfacht dargestellt wird: Erhöht sich die adaptive Helligkeit, erhöht sich auch der minimale Helligkeitskontrast, den ein Objekt zur Umgebung haben muss, um gut erkennbar zu sein. Die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Sehens endet bei einer Helligkeit zwischen 10^4 und 10^5 cd/m^2 , eine Überschreitung dieser Helligkeiten wird als Absolutblendung bezeichnet.

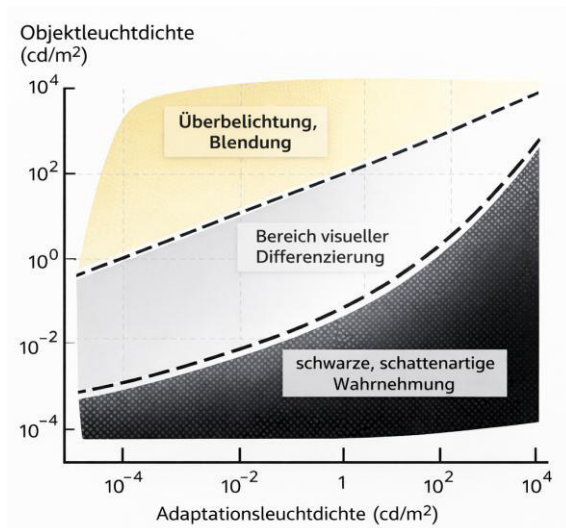


Abbildung 18: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit von der Helligkeitsadaption des Auges, adaptiert nach [11]

In der Literatur wird zwischen der psychologischen und der physiologischen Blendung unterschieden. Erstere beschreibt, wie unangenehm eine Blendquelle empfunden wird. Die Datenerhebung erfolgt hier generell über Befragung der Testpersonen. Letztere beschreibt die messbaren Auswirkungen der Blendung auf das visuelle System und dessen Funktion und wird über direkte Messungen am Auge oder indirekte Messungen anhand von Leistungen in Testaufgaben ermittelt.

Wann eine Lichtquelle als unangenehm oder blendend empfunden wird, also eine psychologische Blendung auftritt, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, insbesondere von der subjektiven Wahrnehmungssituation (Tätigkeit, Gefühlslage, etc.), in der sich die betrachtende Person befindet. In der Literatur werden entsprechend auch je nach Umgebung verschiedene Berechnungsmethoden vorgeschlagen [11].

A.4 Mechanismus der physiologischen Blendung

Der Funktionsmechanismus, durch welchen es zu einer physiologischen Blendwirkung kommt, ist ausreichend untersucht. Ursächlich ist die Streuung von Licht an Strukturen des visuellen Apparates (Hornhaut, Regenbogenhaut, Glaskörper). Ein Teil des gestreuten Lichts trifft auf den zentralen Sehbereich der Netzhaut (Fovea) und führt zur Erhöhung der Beleuchtung dieser Sinneszellen. Dieser zentrale Bereich der Netzhaut ist mit einer sehr viel höheren Dichte an Zapfen versehen und für das eigentliche Erkennen verantwortlich. Die Zapfen passen sich bei zusätzlichem Licht an eine höhere Helligkeit an und sind damit nicht mehr ideal zur Erfüllung der eigentlichen Sehaufgabe adaptiert [12].

Diese zusätzliche Helligkeit (durch Streuung) wird in der Literatur als Schleierleuchtdichte bezeichnet. Die internationale Beleuchtungskommission (CIE, franz. Commission Internationale de l'Éclairage) hat für die Berechnung eine empirisch validierte Formel veröffentlicht. Mit in der Formel berücksichtigt sind Alter und Augenfarbe (p_i) der Person, welche ebenfalls einen relevanten Einfluss auf die Streuung und damit die Intensität der Schleierleuchtdichte haben.

$$L_{eq,verall.} = E_B \cdot \left\{ \frac{10}{\Theta^3} + \left[\frac{5}{\Theta^2} + 0,1 \cdot \frac{p_i}{\Theta} \right] \cdot \left\langle 1 + \left(\frac{Alter}{62,5} \right)^4 \right\rangle + 0,0025 \cdot p_i \right\}$$

Die Position der Blendquelle (Theta) im Sichtfeld der Person ist demnach im hohen Maße relevant für deren Blendwirkung. Zu einer Absolutblendung kann es in der Regel nur bei einer Blickrichtung direkt in die Blendquelle oder in deren unmittelbare Nähe kommen, eine Relativblendung ist jedoch auch bei größeren Differenzwinkeln möglich.

Für die Beschreibung der physiologischen Blendwirkung eignet sich die Angabe der relativen Kontrastschwellerhöhung ΔK_{rel} , welche als Faktor angibt, wieviel stärker der minimale Kontrast eines Objekts zu seiner Umgebung unter Anwesenheit einer Blendquelle sein muss, damit das Objekt gleich gut erfasst werden kann. L_0 ist hierbei die ursprüngliche Adaptionshelligkeit der Sehfunktion und L_V die zusätzliche Helligkeit, auch Schleierleuchtdichte L_{eq} genannt, welche durch die Blendquelle verursacht wird [13].

$$\Delta K_{rel} = \frac{L_0 + L_V}{L_0}$$

In anderer Form ist die Kontrastschwellerhöhung als TI-Wert (Threshold Increment) bekannt. Abweichende Formeln für den TI-Wert versuchen die ursprüngliche Adaptionshelligkeit L_0 beispielsweise anhand der durchschnittlichen Straßenhelligkeit herzuleiten und damit die Berechnung zu standardisieren.

$$TI = \frac{L_V}{L_0} * 100\%$$

Eine effektive Blendwirkung tritt dann auf, wenn ein Objekt schlechter, langsamer oder nicht mehr erkannt wird. Bei welchen TI-Werten es zu solchen Effekten kommt, hängt in hohem Maße von der Schwierigkeit der Sehaufgabe ab, aber auch von der Umgebungshelligkeit. Untersuchungen von [14] zeigen eine Zunahme der relativen Kontrastempfindlichkeit um mehr als den Faktor 10 beim Tagessehen gegenüber dem Nachtsehen, hinzu kommen noch Farbkontraste, welche bei Tageslicht eine deutlich stärkere Rolle spielen. Die Erkennung von Objekten ist so am Tag deutlich leichter als bei Nacht und die Sehaufgabe entsprechend deutlich einfacher.

Unter anderem gibt es durch Anderson et al. [15] detailliertere Untersuchungen für die Blendwirkung von Scheinwerfern von entgegenkommendem Verkehr bei Nacht sowie auch für die Straßenbeleuchtung. Je nach Verkehrssituation empfiehlt die CIE beispielsweise für Straßenbeleuchtung TI-Grenzwerte zwischen 10% und 20%. Eine Übernahme dieser Werte für das Tagessehen ist jedoch unter Anbetracht des deutlich besseren Sehvermögens und der damit deutlich einfacheren Sehaufgabe unter Tageslichtbedingungen nicht sinnvoll.

Untersuchungen in einem Fahrsimulator durch [15] stellten unter Tageslichtbedingungen erste messbare Effekte für eine verminderte Fahrleistung erst ab einer relativen Kontrastanhebung mit einem TI von ca. 100% fest. Es wurde hier jedoch lediglich das Halten der Spur als Fahraufgabe untersucht. Auch in [13] wird ein TI von 100% für eine relevante physiologische Blendung genannt. Unter Anbetracht der eingeschränkten Studienlage lässt sich als konservative Annahme zumindest feststellen, dass bei einer Unterschreitung des TI-Grenzwerts von 20%, wie er für nächtliche Straßenbeleuchtung definiert wird, auch bei Tageslicht keine relevante Blendwirkung für Verkehrsteilnehmer gegeben ist.

Die zeitliche Dimension von Blendung ergibt sich im Wesentlichen aus der Geschwindigkeit der Hell- und Dunkel-Adaption der Zapfen. Untersuchungen durch Stockman et al. [16] ermitteln in Versuchen zwei unterschiedliche neuronale Mechanismen, einen schnellen mit einer Zeitkonstante im Bereich von mehreren hundert Millisekunden und einen langsameren im Bereich von 1-2 Sekunden. Eine Blendwirkung tritt entsprechend sehr schnell ein und klingt ebenso schnell wieder ab. Diese schnelle Adaption funktioniert dagegen nicht mehr bei Exposition mit sehr hohen Helligkeiten über einen längeren Zeitraum, durch welche es zum Ausbleichen eines großen Teils der Photopigmente kommen kann. In solchen Fällen können bis zur Regeneration der Pigmente über mehrere Minuten dunkle Flecken wahrgenommen werden.

Hinsichtlich des Zuwendungsreizes durch Reflexionen ist bekannt, dass solche plötzlichen Lichtsignale durchaus einen Zuwendungsreiz auslösen. Die Zeit, in der der Blick auf den Reiz fokussiert bleibt, korreliert stark mit der Schwierigkeit, den Reiz zu identifizieren. Reflexionen werden sehr schnell als solche erkannt und binden die Aufmerksamkeit daher nur sehr kurz [17]. Die Analyse der Blendwirkung fokussiert sich daher auf die Blendwirkung bei Ausführung der Sehaufgabe.



B Rechtliche Beurteilungsgrundlagen

B.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz

Rechtliche Grundlage für die Beurteilung ist das Bundes-Immissionsschutzgesetz. In diesem heißt es:

§ 5 Pflichten der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen

(1) Genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass zur Gewährleistung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt insgesamt

1. schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können;
2. Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen getroffen wird, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen;

§ 22 Pflichten der Betreiber nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen

(1) Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind so zu errichten und zu betreiben, dass

1. schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind,
2. nach dem Stand der Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden und
3. die beim Betrieb der Anlagen entstehenden Abfälle ordnungsgemäß beseitigt werden können.

B.2 Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)

Für die Beurteilung, wann von erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft auszugehen ist, stützt sich das Gutachten auf die rechtlich nicht verbindlichen, aber dennoch maßgeblichen *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)* [6].

Gemäß den LAI-Hinweisen werden folgende Orte als schutzwürdige Räume definiert und sind demnach auf potenzielle Blendung zu untersuchen:

- Wohnräume
- Schlafräume einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen

- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume

Ist einer dieser Räume von Blendung betroffen, wird überprüft, ob es zu einer erheblichen Belästigung im Sinne der LAI-Hinweise kommt. Die LAI-Hinweise leiten Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen [2] ab und definieren diese Bewertungsgrößen wie folgt:

*In Anlehnung an [7] kann eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegen, wenn diese **mindestens** 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr beträgt.*

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte, wird die Blendung als allgemein hinnehmbar bewertet. Liegen die Blenddauern oberhalb dieser Werte, wird eine Einschätzung zur voraussichtlichen Beeinträchtigung gegeben, sowie gegebenenfalls Maßnahmen vorgestellt, mit welchen die Grenzwerte nicht überschritten werden. Die LAI-Hinweise geben die Methodik vor, nach welcher die potenziellen Blendzeiten zu bestimmen sind, welche auch im Gutachten für die Ermittlung potenzieller Blendung auf schutzwürdige Immissionsorte angewandt wird.

B.3 Eckpunktepapier Photovoltaik

Die Beurteilung für Bundesfernstraßen richtet sich nach dem *Eckpunktepapier Photovoltaik: Blendwirkungen und Blendgutachten* des Fernstraßen-Bundesamts (FBA) [3]. Reflexionen im Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer von wenigstens $\pm 30^\circ$ zur Fahrtrichtung (je nach Verkehrssituation zu erweitern) sind demnach als potenziell sichtbeeinträchtigend anzusetzen. Eine relevante Blendwirkung für den Verkehr ist auszuschließen.

Im Rahmen einer Begutachtung kann jedoch nachgewiesen werden, dass keine relevanten Blendwirkungen vorliegen. Der Nachweis erfolgt mittels entsprechender Berechnungen. Die Diskussion der Ergebnisse ist anschließend detailliert und unter Angabe entsprechender Quellen darzulegen.

Eine Reflexion kann als nicht erheblich beeinträchtigend eingestuft werden, wenn einer der nachfolgenden Punkte erfüllt ist:

- *Die reflektierende Fläche weist eine geringe Leuchtdichte von $\leq 30.000 \text{ cd/m}^2$ auf.*
- *Die reflektierende Quelle für die fahrzeugführende Person erscheint nur sehr klein (z. B. aufgrund der Entfernung).*
 - *Wenn die vertikale Größe der Blendquelle im Sichtfeld und außerhalb des zentralen Sehbereichs ($\pm 10^\circ$) des Betrachtenden $\leq 0,30^\circ$ beträgt, ist anzunehmen, dass keine erheblichen Blendwirkungen möglich sind.*
- *Die Sonne überlagert die Blendwirkung der PV-Anlage.*
 - *Dabei ist zu beachten, dass Sonnenblendungen in der Regel durch eine Blende im Fahrzeug reduziert werden können.*

- *Erst bei sehr tiefen Sonnenständen (Höhe $\leq 5^\circ$) kann argumentiert werden, dass die Sonnenblendung die Blendwirkung der PV-Anlage dominiert.*
- *Die Reflexionen treten innerhalb des relevanten Sehbereichs ($\pm 30^\circ$ ggf. Erweiterung wg. der verkehrlichen Situation – siehe oben) auf, aber auf Grund ihres Winkelabstands zur Hauptblickrichtung und ihrer Intensität führen sie zu keiner relevanten Blendwirkung.*
- *Weitere Aspekte sind möglich, jedoch plausibel und fundiert darzulegen*

B.4 Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design

Für Blendung im Flugverkehr folgt das Gutachten der Beurteilung der *European Aviation Safety Agency 2022 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)* [18].

In dieser wird festgestellt, dass eine Blendung der Fluglotsen im Tower sowie der Piloten beim Landeanflug und auf dem Flugfeld mit einem inakzeptablen Risiko verbunden ist. Als Grenzwert für die Erheblichkeit wird eine Leuchtdichte über 20.000 cd/m² definiert.

Entsprechend wird eine potenzielle Blendung beim bloßen Überfliegen einer nicht konzentrierenden Solaranlage, außerhalb des Landeanflugs, als unkritisch eingestuft.

C Koordinaten der Simulation

Tabelle 3: 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	50,98555849	9,791837289	247	1,9	248,9
	2	50,98567668	9,791421546	248,7	1,9	250,6
	3	50,98681807	9,792912488	271,9	1,9	273,8
	4	50,98771365	9,794657201	291,8	1,9	293,7
	5	50,98752962	9,795834691	287,5	1,9	289,4
	6	50,98736753	9,796360404	284,7	1,9	286,6
	7	50,98707374	9,796553523	282,1	1,9	284
	8	50,98528654	9,793484276	243,3	1,9	245,2
PV-Feld 2	1	50,98468442	9,793437017	240,2	1,9	242,1
	2	50,98503056	9,793391419	241,1	1,9	243
	3	50,98652949	9,795943543	272,2	1,9	274,1
	4	50,98689589	9,796646282	280,4	1,9	282,3
	5	50,98622979	9,797076777	275,2	1,9	277,1
	6	50,98533148	9,797367013	267,8	1,9	269,7
	7	50,98488994	9,797333485	266	1,9	267,9
	8	50,98454295	9,797106838	262,6	1,9	264,5
	9	50,98443488	9,796786314	259,3	1,9	261,2
	10	50,98416387	9,795450574	243,2	1,9	245,1
	11	50,98419746	9,794560081	239,7	1,9	241,6
PV-Feld 3	1	50,98666995	9,800237525	249,6	1,9	251,5
	2	50,98687256	9,800140966	256,7	1,9	258,6
	3	50,98724463	9,800921785	256,5	1,9	258,4
	4	50,98749451	9,801560151	250,6	1,9	252,5
	5	50,98733496	9,802756416	238,8	1,9	240,7
	6	50,98708591	9,802696066	236,9	1,9	238,8
	7	50,98668862	9,800691451	246,6	1,9	248,5
PV-Feld 4	1	50,98665845	9,801897714	233,9	1,9	235,8
	2	50,98672261	9,801878938	236,5	1,9	238,4
	3	50,98677833	9,802301386	234,3	1,9	236,2
	4	50,9868045	9,802710423	230,8	1,9	232,7
	5	50,98650818	9,802676895	224,8	1,9	226,7
	6	50,98650311	9,802388558	225,8	1,9	227,7
	7	50,98647188	9,80196611	228,5	1,9	230,4
	8	50,98656812	9,801932582	231	1,9	232,9
PV-Feld 5	1	50,98604308	9,79972368	238,8	1,9	240,7
	2	50,98621784	9,799679423	240,8	1,9	242,7
	3	50,98648377	9,801287408	236,5	1,9	238,4
	4	50,98652683	9,801692421	232,7	1,9	234,6

	5	50,9862592	9,801697786	227,2	1,9	229,1
--	---	------------	-------------	-------	-----	-------

Tabelle 4: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

Verkehrsstrecken	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
B83	1	50,9872233 3	9,77885234 2	202,8	3	205,8
	2	50,9866425	9,77961945 4	202,1	3	205,1
	3	50,9864500 2	9,77990913 2	202,4	3	205,4
	4	50,9860279	9,78053676 9	202,5	3	205,5
	5	50,9857746 3	9,78089618 5	203,4	3	206,4
	6	50,9855720 1	9,78115636	203,5	3	206,5
B27 Norden	1	50,9818194 2	9,79130269 1	211,6	3	214,6
	2	50,9818092 9	9,79198397 2	212,9	3	215,9
	3	50,9817873 3	9,79237289 2	214,4	3	217,4
	4	50,9817079 7	9,79307563 1	216,3	3	219,3
	5	50,9813263 4	9,79511411	223,6	3	226,6
	6	50,9812098 2	9,79577661 6	224	3	227
	7	50,9811507 2	9,79648471 9	225,7	3	228,7
	8	50,9811321 4	9,79731620 4	226,4	3	229,4
	9	50,9812174	9,79834262 7	226,3	3	229,3
	10	50,9814521 2	9,79953352 8	226,5	3	229,5
	11	50,9817130 2	9,80037255 3	225,8	3	228,8
	12	50,9820895 8	9,80122281 3	222,3	3	225,3
	13	50,9824897 8	9,80190677 7	219,5	3	222,5
	14	50,9832078 9	9,80278965 4	217,7	3	220,7
	15	50,9839559 3	9,80343606 7	215,1	3	218,1
	16	50,9847996 5	9,80400460 6	216,3	3	219,3
	17	50,9849735 7	9,80410384 8	216,1	3	219,1

	18	50,9859188 7	9,80458196 3	217,5	3	220,5
	19	50,9868711 6	9,80495356 5	217,9	3	220,9
	20	50,9878472 8	9,80520733 1	219	3	222
B27 Süden	1	50,9880404 7	9,80517808	219,1	3	222,1
	2	50,9868051 5	9,80487307 7	217,9	3	220,9
	3	50,9862194	9,80464986 9	218	3	221
	4	50,9850256 8	9,80402720 5	215,8	3	218,8
	5	50,9839196 9	9,80331776 1	215,9	3	218,9
	6	50,9831922 5	9,80266311 8	218,6	3	221,6
	7	50,9826950 4	9,80208406 8	218,8	3	221,8
	8	50,9823910 9	9,80162541	220,8	3	223,8
	9	50,9820897 5	9,80108823 7	223	3	226
	10	50,9817469 6	9,80028893 8	225,7	3	228,7
	11	50,9815595 2	9,79970958 1	225,9	3	228,9
	12	50,9813974 1	9,79907926 2	225,9	3	228,9
	13	50,9812876 5	9,79848305 3	226,9	3	229,9
	14	50,9812049	9,79771057 6	225,5	3	228,5
	15	50,9811728 2	9,79723046 1	226,1	3	229,1
	16	50,9812049 6	9,79627802 5	224,4	3	227,4
	17	50,9812623 8	9,79577377	224,2	3	227,2
	18	50,9814244 9	9,79482586 5	222,8	3	225,8
	19	50,9816823 3	9,79351938 7	218	3	221
	20	50,9818149	9,79264239 8	215,1	3	218,1
	21	50,9818655 5	9,79180018 5	213,3	3	216,3
	22	50,9818638 7	9,79112829 1	211,3	3	214,3
Ernst-Abbe-Str.	1	50,9836616 8	9,78925458	217,1	3	220,1
	2	50,9837469 5	9,78932834	218,1	3	221,1
	3	50,9838212 5	9,78940076	219	3	222

	4	50,9838347 6	9,78943160 5	219,1	3	222,1
	5	50,9838364 5	9,78947049 7	219,3	3	222,3
Route 6	1	50,9854783 4	9,78608130 8	219,7	3	222,7
	2	50,9853989 8	9,78621139 5	219,2	3	222,2
	3	50,9853154	9,78635087	218,3	3	221,3
	4	50,9852850 1	9,78640317 3	218,1	3	221,1
	5	50,9852748 8	9,78644340 6	218,1	3	221,1
	6	50,9852757 2	9,78647827 5	218,1	3	221,1
	7	50,9852748 8	9,78651984 9	218,1	3	221,1
	8	50,9852959 9	9,78654801 2	218,1	3	221,1
	9	50,9853652 1	9,78662579 6	218,6	3	221,6
	10	50,9857392 2	9,78697046	222,2	3	225,2
	11	50,9859682 6	9,78716020 2	223,6	3	226,6
	12	50,9861506 1	9,78736002 6	224,6	3	227,6
	13	50,9862451 7	9,78749950 1	225	3	228
	14	50,9865575 3	9,78794743	228,1	3	231,1
	15	50,9868302 2	9,78838328 9	232,4	3	235,4
	16	50,9871614 5	9,78890078 1	239,6	3	242,6
T1 Ost Justus Liebig Str	1	50,9868312 9	9,78154791 2	204,9	3	207,9
	2	50,9871976 8	9,78238476 1	206,5	3	209,5
	3	50,9872111 9	9,78246254 5	206,5	3	209,5
	4	50,9872213 2	9,78255642 2	206,5	3	209,5
	5	50,9872213 2	9,78271467 3	206,5	3	209,5
	6	50,9872061 3	9,78279513 9	206,5	3	209,5
	7	50,9871706 7	9,78292656 7	206,6	3	209,6
	8	50,9870761 2	9,78313578	207,6	3	210,6
	9	50,9862183 8	9,78482288 9	217,4	3	220,4
	10	50,9855237 7	9,78599026	219,8	3	222,8

	11	50,9852637 4	9,78641002 6	218,1	3	221,1
	12	50,9851430 2	9,78661387 4	218	3	221
	13	50,9847858 9	9,78719993 7	219,3	3	222,3
	14	50,9846626 3	9,78739037 4	219,8	3	222,8
T2 Ost Justus Liebig Str	1	50,9839053 8	9,78923171 5	219,4	3	222,4
	2	50,9837415 9	9,78974133 5	218,6	3	221,6
	3	50,9836132 6	9,79036360 8	219,5	3	222,5
	4	50,9834173 8	9,7914955 9,79191928	219,2	3	222,2
	5	50,9833256 9	9,79230284 5	219,5	3	222,5
	6	50,9831651 9	9,79249596 4	219,9	3	222,9
	7	50,9830672 5	9,79329258 5	220,1	3	223,1
	8	50,9824779 3	9,79411408 5	221,1	3	224,1
West Justus Liebig Str	1	50,981877 4	9,79359105 4	221,8	3	224,8
	2	50,9823160 4	9,79300365 6	221,5	3	224,5
	3	50,9827669 3	9,79251280 7	220,6	3	223,6
	4	50,9830877 3	9,79225834 8	220,2	3	223,2
	5	50,9832206 9	9,79195525 8	220,2	3	223,2
	6	50,9833355 1	9,79165216 8	219,7	3	222,7
	7	50,9834267 8	9,79131152 7	219,3	3	222,3
	8	50,9834824 2	9,79021094 2	219,7	3	222,7
	9	50,9836839 2	9,79001245 8	219,2	3	222,2
	10	50,9837278 2	9,78965036 3	219,2	3	222,2
	11	50,9838325 1	9,78932581 3	219,4	3	222,4
	12	50,9839321 3		219,1	3	222,1

Beobachtungspunkte	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Höhe über Gelände [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Gebäude 1	50,984491	9,789485669	225,3	4,7	230
Gebäude 2	50,98340897	9,79271011	222,5	4,7	227,2



Gebäude 3	50,98343614	9,790312434	218,3	4,7	223
Gebäude 4	50,9832501	9,790742368	218	4,7	222,7