



[Dipl.-Ing. \(FH\) Marco Wilke](#) | [Mathias Röper, M. Eng.](#) | [Dr.-Ing. Stefan Bofinger](#) | [Max Krug, St. g. Techniker](#)

SONNWINN

Netzwerk unabhängiger Gutachter für Photovoltaik und Stromspeicher

BLENDGUTACHTEN

PVA TARMOW

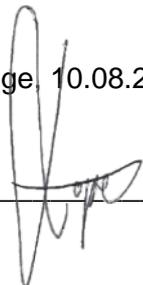
VERSION 2.1

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
25436 Moorrege
+49 (0) 4122 509100
mathias.roeper@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Moorrege, 10.08.2023



Review:

Sachverständiger für Photovoltaik
Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke

Riesenweg 9
21244 Buchholz in der Nordheide
+49 (0) 4181 2326110
marco.wilke@sonnwin.de
www.sonnwin.de

Buchholz i. d. Nordheide, 10.08.2023



Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
2.1	Redaktionelle Änderungen	10.08.2023	Mathias Röper
2.0	Neues Anlagenlayout und Flugverkehr berücksichtigt	25.07.2023	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	31.03.2023	Mathias Röper

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Fragestellung	4
1.2	Haftungsausschluss	4
1.3	Datengrundlage.....	4
1.4	Übersicht der angewendeten Methodiken	5
2	Anlagenbeschreibung.....	6
3	Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit.....	8
4	Grundlagen	9
4.1	Blendwirkung von Modulen	9
4.2	Berechnung von Reflexionen	11
4.3	Verwendete Software	11
5	Blendwirkungen auf Gebäude	12
5.1	Auswertungsmethodik	12
5.2	Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA	13
5.3	Observationspunkte	14
5.4	Ergebnisse	15
6	Blendwirkungen auf den Straßenverkehr.....	16
6.1	Auswertungsmethodik	16
6.2	Relevante Verkehrswege	18
6.3	Observationspunkte	19
6.4	Ergebnisse	20
7	Blendwirkungen auf den Flugverkehr	21
7.1	Herleitung der Bewertungsmethodik bzgl. Blendwirkungen im Flugverkehr (Flugplätze).....	21
7.2	Bewertungsmethodik als Entscheidungsbäume	26
7.3	Flugplätze Fehrbellin	29
7.4	Ergebnisse	30
8	Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen	31
8.1	Gebäuden	31
8.2	Straßen	31
8.3	Flugverkehr	32
9	Literaturverzeichnis	33
	Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT	34

1 Einleitung

Herr Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	Solarpark TAR GmbH
Projektname	PVA Tarmow
Adresse	13833 Fehrbellin
Stand der Projektierung	<input type="checkbox"/> Bestand <input type="checkbox"/> Im Bau <input checked="" type="checkbox"/> Planung

Der vorliegende Bericht wurde zudem von Herrn Marco Wilke, Sachverständiger für Photovoltaik, in externer Zuarbeit geprüft.

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlage Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen bzw. Beeinträchtigungen für folgende Immissionsorte auftreten können:

- Schutzwürdige Räume (z. B. Wohnräume)
- Straßen
- Flugverkehr

Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit belästigende bzw. beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Zudem werden die Ergebnisse bewertet.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde ausschließlich für den Gebrauch des Auftraggebers und in dessen Auftrag erstellt. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Trotz sorgfältiger Durchführung können Fehler oder Irrtümer nicht vollständig ausgeschlossen werden. Für Folgeschäden, die aus der Nutzung des Gutachtens resultieren, wird keine Haftung übernommen. Die Haftung für Schadensersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Bei Weitergabe des Gutachtens an Dritte darf dieses weder verändert noch bearbeitet werden. Eine Haftung gegenüber Dritten, die sich den Inhalt dieses Gutachtens zunutze machen, ist grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Datengrundlage

Tabelle 2: Verwendete Daten/Informationen und ihre Quellen

Information/Daten	Quelle
Angaben zur geplanten PVA (inkl. Fotoaufnahmen)	Auftraggeber
Umliegende Straßenverläufe	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Vegetation	
Umliegende Bebauung	
Höhenmodell (DGM1)	LGB (Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg)

1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken

Die Auswertung der Blendwirkungen auf die Immissionsorte wurde entsprechend folgender Tabelle durchgeführt.

Tabelle 3: Methodiken

Immissionsort	Methodik
Schutzbedürftige Räume (Wohnräume, Büros etc.)	Gemäß dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI-Leitfaden)
Straßen	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 6.1)
Flugverkehr	Eigene Auswertungsmethodik (siehe Kapitel 7.1 und 7.2)

2 Anlagenbeschreibung

Der Großteil der Solarmodule wird nach Süden ausgerichtet. Im Osten der Anlage befinden sich jedoch zwei Bereiche, in denen die Module nach Südwesten ausgerichtet werden.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	52.789223°, 12.805396°
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständerung	Fest aufgeständert
Größe der PV-Fläche	ca. 63 ha
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	Bereich 1: 180° Süd Bereich 2: 228° Südwest Bereich 3: 215° Südwest
Modulneigung	15°
Höhe Modulunterkante	ca. 80 cm
Höhe Moduloberkante	ca. 2,7 m

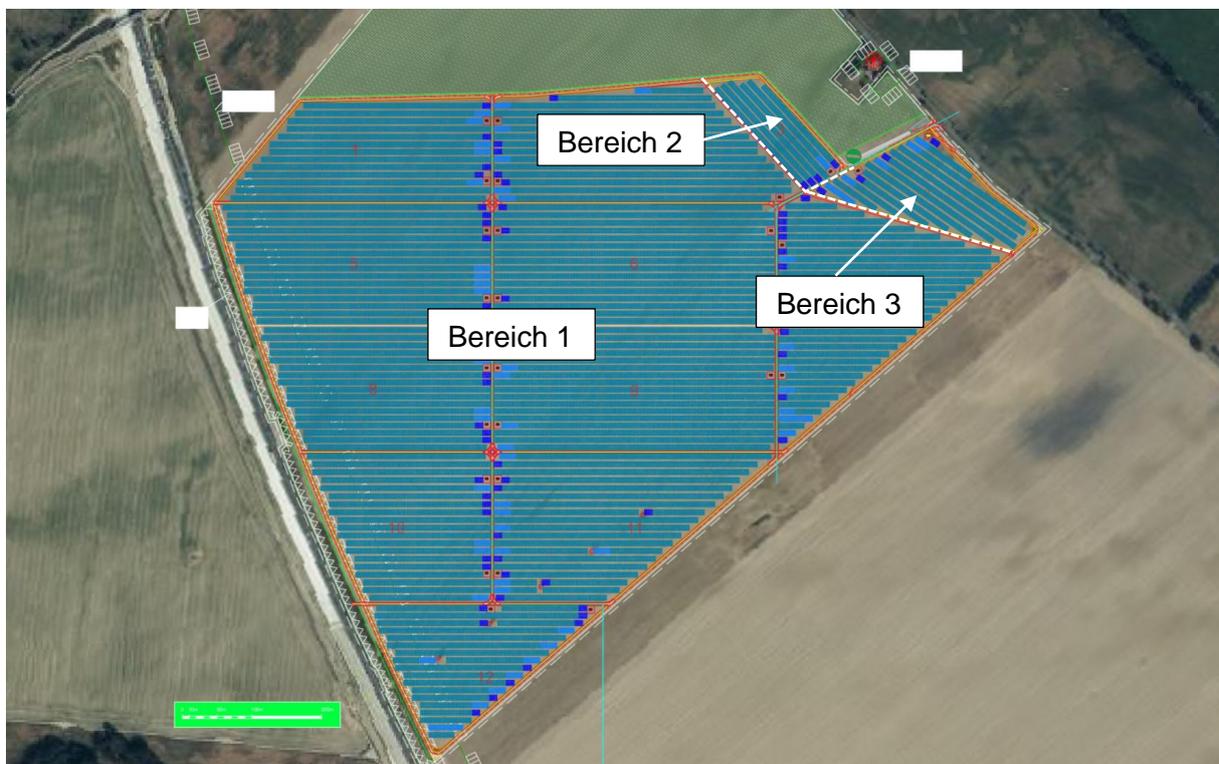


Abbildung 1: Lageplan der PVA - Quelle: Auftraggeber



Abbildung 2: Grundriss der PVA - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

3 Zusammenfassung der Ergebnisse und Fazit

Die geplante PVA wird keine Belästigungen durch Lichtimmissionen in/an umliegenden Gebäuden verursachen.

Auf der Bundesautobahn A 24 werden innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze – definiert als ein Sichtfeld von $\pm 50^\circ$ in Bezug auf die Fahrtrichtung – keine Reflexionen auftreten. Daher wird die Leichtigkeit des Verkehrs nicht gefährdet.

Auf der Landesstraße L 16 könnten relevante Blendeffekte im zentralen Sichtfeld in Fahrtrichtung Nordwesten entstehen. Daher wird ein etwa 120 Meter langer Sichtschutz an der südöstlichen Grenze der Anlage empfohlen.

Störende Blendwirkungen können bei Anflügen auf die Landebahn (RWY) 28 des Flugplatzes Fehrbellin auftreten, wenn der Standort der Photovoltaikanlage überflogen wird. Die Entfernung zwischen dem Bereich, in dem Blendwirkungen auftreten könnten, und der Landeschwelle beträgt 2,65 km. Die Situation wird daher als vertretbar angesehen, da die blendfreie Restdistanz (nach Einschätzung des Autors) ausreicht, um die Landebahn präzise anzufliegen und die Landebahnmarkierungen sowie mögliche Hindernisse auf der Landebahn zu erkennen. Bei Standardplatzrunden, die gegen den Uhrzeigersinn südlich des Flugplatzes geflogen werden, bleibt der Endanflug voraussichtlich stets blendfrei.

Fazit

Das Gutachten kommt zu dem Ergebnis, dass die geplante Photovoltaikanlage hinsichtlich des Blendschutzes mit ihrer Umgebung verträglich ist, sofern durch geeignete Blendschutzmaßnahmen mögliche Reflexionen auf die L 16 minimiert werden.

4 Grundlagen

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein PV-Modul setzt sich aus zahlreichen Solarzellen zusammen, die Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Um Stabilität zu gewährleisten und vor Witterungseinflüssen zu schützen, sind die Solarzellen normalerweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas) angebracht. Das Modulglas ist maßgeblich für mögliche Blendwirkungen verantwortlich. Da die erzeugte elektrische Energie in direktem Verhältnis zur Intensität der Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen steht, bemühen sich Modulhersteller, Reflexionen am Modulglas zu reduzieren – je weniger Reflexionen, desto höher der Ertrag. Daher verfügt das Modulglas typischerweise über eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sogenannte Antireflexschicht. Beide Elemente gewährleisten, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und Reflexionsverluste minimiert werden [1].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 3) lediglich einen kleinen Teil des Sonnenlichts (etwa 5%). Studien zeigen jedoch, dass trotz Texturierung und Antireflexbeschichtung der Anteil des reflektierten Sonnenlichts mit ansteigendem Einfallswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 4).

Da bereits Reflexionen von weniger als 1% des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

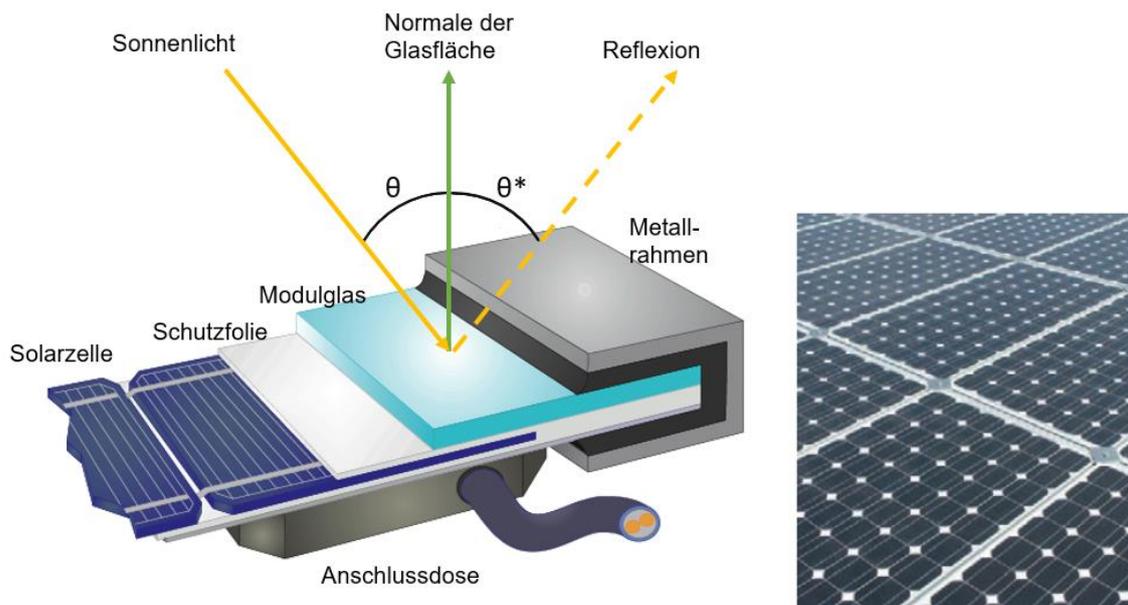


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
– Quelle: [3] (modifiziert)

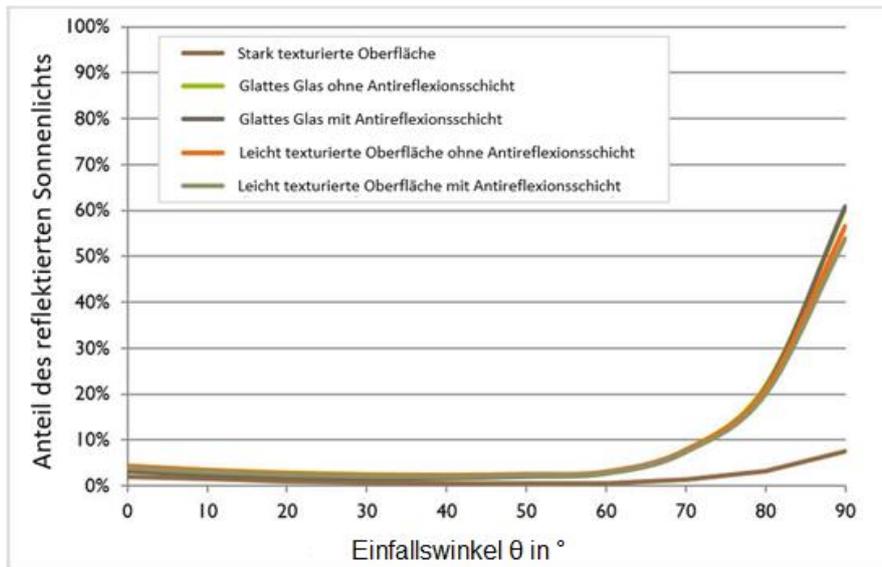


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypeen – Quelle: [4], modifiziert

Die Oberflächentexturierung des Modulglases bewirkt eine weniger intensive, aber diffuse (gestreute) Reflexion des Sonnenlichts, wodurch der Immissionsort der Reflexion vergrößert wird. Daher sind die Intensitäten von Reflexionen an Solarmodulen nicht mit denen an beispielsweise glatten Fensterscheiben vergleichbar, bei denen das Sonnenlicht gerichteter reflektiert wird. Neue PV-Module verfügen in der Regel über eine Antireflexbeschichtung und zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies gilt auch für den später verwendeten Modultyp.



Abbildung 5: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) – Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

4.2 Berechnung von Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Hierzu werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann für jeden Zeitpunkt im Jahr auf Basis mathematischer Funktionen ermittelt werden [5]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlungsgesetze lässt sich nachvollziehen, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Die Berücksichtigung von modulglasspezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch präzisere Betrachtung [4].

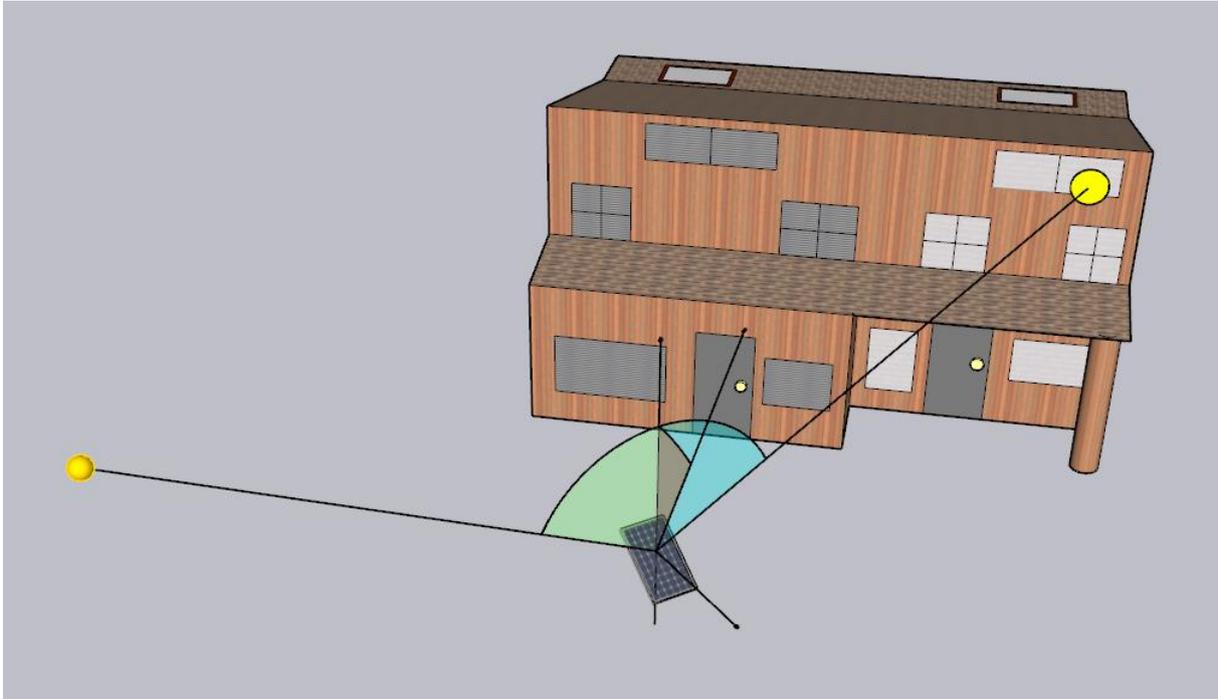


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software

Für die Berechnungen der Reflexionen/Blendwirkungen wurde die Software ForgeSolar verwendet. Dabei wurden die Reflexionen/Blendwirkungen der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories. Im Rahmen der Simulation werden die Höhendaten der PV-Fläche sowie der Immissionsorte berücksichtigt. Die Simulation basiert auf der Annahme eines immer klaren Himmels. Demnach wird ein abstrakter Worst-Case betrachtet. Eine erweiterte Auflistung der Annahmen und Einschränkungen bzgl. der Simulation befindet sich in Anhang A.

5 Blendwirkungen auf Gebäude

5.1 Auswertungsmethodik

Die Auswertung der Blendwirkungen auf umliegende Gebäude (inkl. Terrassen und Balkone) basiert auf dem Leitfaden der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) [2].

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzbedürftige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören:

- 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
- An relevanten Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

Räume, die keiner dieser Kategorien zuzuordnen sind, wurden im Rahmen des Gutachtens nicht auf Blendwirkungen untersucht.

Gemäß dem LAI-Leitfaden gelten (ca.) 100 Meter als räumlicher Grenzwert: Liegt ein Immissionsort weiter als 100 Meter von der PVA entfernt, können erhebliche Belästigungen in der Regel ausgeschlossen werden. In der Auswertung werden jedoch auch schutzbedürftige Räume bis zu einer Entfernung von 150 m berücksichtigt.

Laut dem LAI-Leitfaden soll zur Ermittlung der Blendzeiten ein vereinfachtes (idealisiertes) Modell verwendet werden, bei dem die Solarmodule als ideal verspiegelte Flächen dargestellt werden. Da eine Spiegelfläche das Sonnenlicht gerichtet reflektiert, findet keine oder nur eine sehr geringe Streuung des Sonnenlichts statt. Je geringer die Streuung, desto kürzer sind die Blendzeiten. In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um dennoch eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden im vorliegenden Gutachten die Blendwirkungen, die lediglich mit dem vereinfachten Modell ermittelt würden, als „Kernblendung“ und die übrigen als „gestreute Reflexion“ bezeichnet und stets differenzierbar dargestellt (sofern relevante Blendwirkungen auftreten).

Zudem sind laut dem Leitfaden Reflexionen, die am Immissionsort mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendungen zu betrachten. Dies berücksichtigt den Umstand, dass bei tiefstehender Sonne PVA-bedingte Blendwirkungen von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert werden.

Laut dem LAI-Leitfadens liegt eine erhebliche Belästigung durch PVA-bedingte Blendwirkungen vor, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden (1.800 Minuten) pro Jahr *Kernblendungen* erfährt.

Es hat sich bewährt, in der Simulation nicht jedes einzelne Gebäude in der Umgebung der PVA auszuwerten, sondern lediglich die nächstgelegenen in verschiedenen Himmelsrichtungen. Im Rahmen der Simulation wird darauf geachtet, die potenziell am stärksten betroffenen schutzbedürftigen Räume zu analysieren (Worst-Case-Betrachtung).

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt.

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

Ab einem Abstand zwischen Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und PVA von 100 m können erhebliche Belästigungen pauschal ausgeschlossen werden.

Abbildung 7 zeigt die Bereiche, welche 100 m oder näher zur PVA liegen.

Es ist zu erkennen, dass sich nur ein Hof im Nordosten knapp innerhalb der 100-Meter-Zone befindet.



Abbildung 7: Übersicht der 100-Meter-Abstandzone – Quelle Karte: OpenStreetMap

5.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf den Hof im Nordosten wurden sog. „Observationspunkte“ (OP) definiert. OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftreffende Reflexionen.

Insgesamt wurden zwei OP definiert (OP H1 und H2).

OP H1 und H2 wurden stets auf einer Höhe von 4,6 m definiert, was (in etwa) der Augenhöhe einer stehenden Person im ersten Obergeschoss entspricht. Generell erfahren höhergelegene Immissionsorte mehr Blendwirkungen.



Abbildung 8: Positionen der OP H1 und H2 - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.4 Ergebnisse

Am Hof nordöstlich der PVA werden keine Blendwirkungen/Lichtimmissionen erwartet.

Tabelle 5: Ergebnistabelle bzgl. der Lichtimmissionen an umliegenden Gebäuden

Observationspunkt	Max. tägliche Kernblendung in Minuten	Jährliche Gesamtblenddauer in Minuten
H1	0	0
H2	0	0

LAI-Grenzwerte (Kernblendung):

- *max. 30 Minuten pro Tag*
- *max. 1.800 Minuten pro Jahr*

6 Blendwirkungen auf den Straßenverkehr

6.1 Auswertungsmethodik

Vorgaben zur Bewertung der Blendwirkungen von Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr sind in keiner Norm, Leitlinie oder sonstigen Regelwerken definiert bzw. standardisiert und werden auch im LAI-Leitfaden nicht thematisiert. Die Bewertung der Blendwirkungen auf die umgebenden Verkehrswege erfolgte daher auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse und etablierter Verfahren, die im Folgenden dargestellt werden.

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf den Straßenverkehr ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder (welche sich dann durch ihre Relevanz bzgl. Blendwirkungen unterscheiden) zu definieren und mittels Simulation zu prüfen, ob Reflexionen in diesen Sichtfeldern auftreten. Es wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers mit der Fahrtrichtung übereinstimmt [6].

Es wird zwischen folgenden Sichtfeldern bzw. Sichtfeldgrenzen unterschieden (siehe Abbildung 10 für eine grafische Darstellung):

- **Erheblichkeitsgrenze:** In Anlehnung an [6] und [7] wird eine Erheblichkeitsgrenze von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen.
- **Beeinträchtigungsgrenze:** In Anlehnung an [8] wird zudem eine Beeinträchtigungsgrenze von $\pm 50^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung, definiert. Finden Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes statt, so führen diese i. d. R. zu keinen Beeinträchtigungen. Demnach wird diesen Reflexionen im Rahmen des Gutachtens bei normaler Fahrt keine Blendwirkung (im Sinne einer nennenswerten physiologischen Beeinträchtigung) zugeschrieben.

Für die Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr genügt es, lediglich LKW-Fahrer zu betrachten, da diese höher sitzen als PKW-Fahrer - und höher gelegene Immissionsorte generell stärkeren Blendwirkungen ausgesetzt sind.

Die Augenhöhe von LKW-Fahrern wird in der Simulation auf 2,65 m über dem Boden definiert.

Des Weiteren gelten PVA-bedingte Blendwirkungen selbst innerhalb der Erheblichkeitsgrenze als vernachlässigbar (irrelevant), wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel $\leq 10^\circ$ zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne $\leq 5^\circ$ beträgt. Wenn beide Kriterien erfüllt sind, überlagert die Sonne die Blendwirkung der PVA aus der gleichen Richtung (definiert in Anlehnung an [2]) und kann in der Regel nicht mehr durch eine Blende abgeschirmt werden (Annahme). Die Reflexionen der PVA stellen dann keine zusätzliche Beeinträchtigung dar.

In der Simulation werden keine Hindernisse wie Vegetationsstreifen oder Gebäude berücksichtigt.



Abbildung 9: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer
 – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

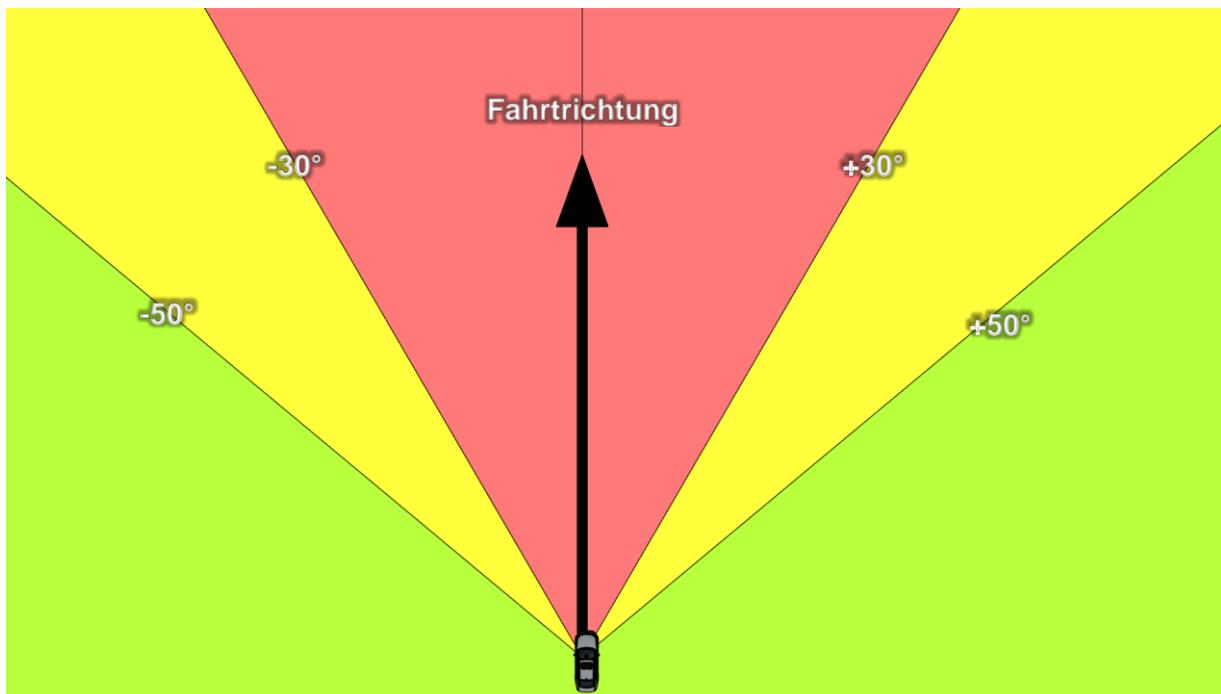


Abbildung 10: Definierte Sichtfelder einer fahrenden Person:
 Erheblichkeitsgrenze: Sichtfeld von $\pm 30^\circ$
 Beeinträchtigungsgrenze: Sichtfeld von $\pm 50^\circ$
 – Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Relevante Verkehrswege

In der Umgebung der Photovoltaikanlage wurden folgende Verkehrswege als relevant klassifiziert:

- Bundesautobahn A 24 (westlich der PVA)
- Landesstraße L 16 (östlich der PVA)

Die weiteren Straßen in der unmittelbaren Nähe der Photovoltaikfelder sind Wirtschaftswege. Aufgrund des niedrigen Verkehrsaufkommens auf diesen Wegen wird ihnen keine Bedeutung beigemessen.

Nur die als relevant erachteten Straßen wurden mittels Simulation auf mögliche Blendwirkungen hin untersucht.



Abbildung 11: Übersicht der als relevant eingestuft Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Auswertung der Blendwirkungen auf die relevanten Straßen wurden sog. „Observationspunkte“ (OP) definiert. Die OP dienen in der Simulation als Detektorpunkte für auftretende Reflexionen.

Insgesamt wurden zur Analyse der Blendwirkungen auf die Straßen 19 OP (OP S1 bis S19) definiert.

Die OP wurden in einer Höhe von 2,65 m über dem Boden positioniert, was (ca.) der Augenhöhe eines LKW-Fahrers entspricht. Generell erfahren Fahrzeugführer, die höher sitzen, mehr Blendwirkungen.

OP S1 bis S7 repräsentieren Verkehrsteilnehmer auf der A 24 in Fahrtrichtung Süden und S8 bis S14 in Fahrtrichtung Norden. S15 bis S19 repräsentieren Verkehrsteilnehmer auf der L 16 in beiden Fahrrichtungen.

Abbildung 12 zeigt die Positionen der Observationspunkte.



Abbildung 12: Positionen der definierten Observationspunkte zur Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.4 Ergebnisse

Die nachstehende Tabelle stellt die Blendsituationen an den einzelnen Observationspunkten, welche den Straßenverkehr repräsentieren, dar.

Tabelle 6: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte der Verkehrswege

Observationspunkt	Fahrtrichtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle	Werden die Blendwirkungen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze ($\pm 50^\circ$ Sichtfeld) von der Sonne überlagert?
S1	Süden	keine Reflexionen	-
S2	Süden	53°	-
S3	Süden	52°	-
S4	Süden	51°	-
S5	Süden	50°	-
S6	Süden	keine Reflexionen	-
S7	Süden	keine Reflexionen	-
S8	Norden	keine Reflexionen	-
S9	Norden	keine Reflexionen	-
S10	Norden	90°	-
S11	Norden	89°	-
S12	Norden	87°	-
S13	Norden	86°	-
S14	Norden	keine Reflexionen	-
S15	Südosten	keine Reflexionen	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-
S16	Südosten	139°	-
	Nordwesten	12°	nein
S17	Südosten	keine Reflexionen	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-
S18	Südosten	keine Reflexionen	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-
S19	Südosten	keine Reflexionen	-
	Nordwesten	keine Reflexionen	-

Die durchgeführte Simulation hat ergeben, dass ausschließlich bei OP S16, also auf der Landesstraße L 16 in Fahrtrichtung Nordwesten, Beeinträchtigungen durch Blendeffekte zu erwarten sind. Diese Reflexionen werden von den Modulen hervorgerufen, die nach Süden ausgerichtet sind (Azimut = 180°). Eine detailliertere Diskussion dieser Situation findet sich in Kapitel 8.

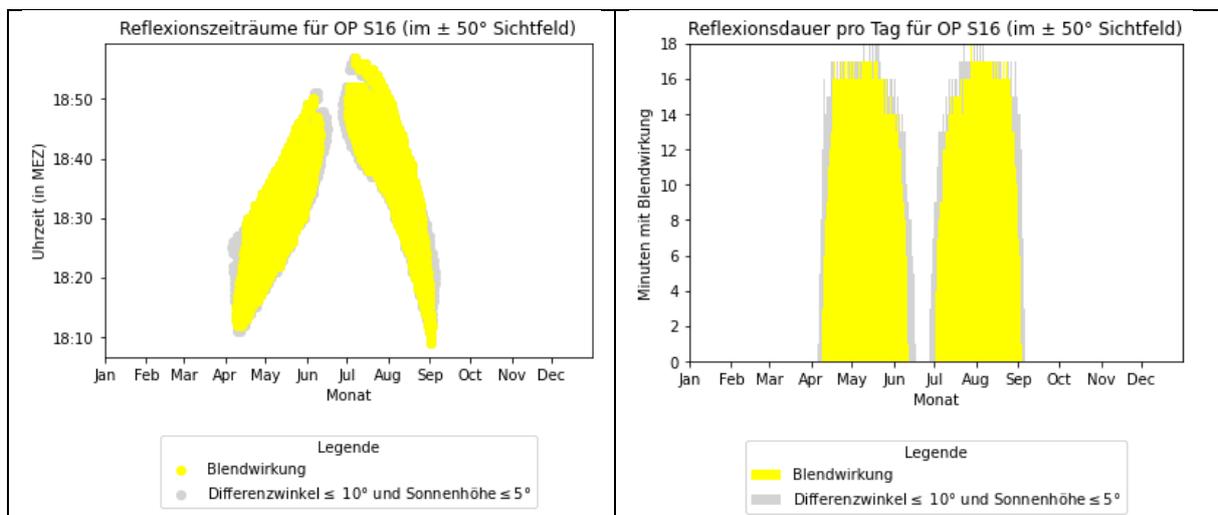


Abbildung 13: Ergebnisdiagramme für OP S16 (Fahrtrichtung Nordwesten)

7 Blendwirkungen auf den Flugverkehr

7.1 Herleitung der Bewertungsmethodik bzgl. Blendwirkungen im Flugverkehr (Flugplätze)

7.1.1 Relevante Immissionsorte bzw. Situationen

Im Rahmen des Flugverkehrs wurden folgende Immissionsorte bzw. Situationen in Bezug auf Blendwirkungen als relevant identifiziert. Diese Immissionsorte/Situationen wurden in Anlehnung an die „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design“ (CS-ADR-DSN) der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) definiert [6]:

- Der Pilot darf während des Anflugs, insbesondere nachdem das Flugzeug die Entscheidungshöhe unterschritten hat¹, keine visuellen Anhaltspunkte verlieren.
- Der Pilot darf beim Touchdown (Landung) nicht durch eine plötzliche Blendwirkung überrascht werden.
- Während des Rollens (sowohl bei Landung als auch Start) darf der Pilot keine visuellen Anhaltspunkte verlieren. Er sollte in der Lage sein, seine Umgebung klar wahrzunehmen und Abweichungen von der Mittellinie zu erkennen.
- Blendwirkungen dürfen die visuelle Wahrnehmung der Fluglotsen von Flugbetriebsabläufen auf und in der Nähe der Landebahn nicht beeinträchtigen.

Die CS-ADR-DSN trifft zudem folgende Annahmen zur Auswertung von PV-bedingten Blendwirkungen fest, welche im Rahmen der Begutachtung übernommen wurden:

- Bei der Auswertung kann davon ausgegangen werden, dass die Flugzeuge ihre Flugbahn konstant beibehalten und auf einer Geraden auf die Landebahn zusteuern.

Demnach werden im Gutachten folgende Immissionsorte bzw. Situationen auf Blendwirkungen geprüft:

1. Blendwirkungen auf Piloten während direkter Anflüge (Direkt- oder Endanflüge) auf die Landebahnen (modelliert als geradlinige Anflüge).
2. Blendwirkungen auf Piloten während des Rollens am Boden.
3. Blendwirkungen auf das Personal im Flugverkehrskontrollturm (falls vorhanden).

¹ Die **Entscheidungshöhe** bezeichnet die spezifizierte Höhe bei einem Präzisionsinstrumentenanflug, an der der Pilot auf Basis der vorherrschenden Sichtverhältnisse entscheiden muss, ob er die Landung fortsetzt oder einen Durchstart einleitet. Falls der Pilot bis zu dieser Höhe keinen ausreichenden Sichtkontakt zum Boden oder den Landebahnlichtern hat, muss er durchstarten.

Für nicht-präzise Anflugverfahren, die oft auf kleineren Flugplätzen eingesetzt werden, wird statt einer Entscheidungshöhe von einer **Mindestsinkflughöhe** gesprochen. Dies ist die niedrigste Höhe, bis zu der der Pilot bei einem solchen Anflug ohne Sichtkontakt zur Landebahn sinken darf. Erst wenn er den notwendigen Sichtkontakt zur Landebahn oder den zugehörigen Landehilfen hat, darf er unter diese Höhe sinken, um zu landen.

7.1.2 Qualitative Bewertung von Blendwirkungen

In Anlehnung an das CS-ADR-DSN (EASA) kann davon ausgegangen werden, dass Reflexionen mit einer Leuchtdichte von $\leq 20.000 \text{ cd/m}^2$ vernachlässigt werden können [6]. In diesem Fall werden keine Blendwirkungen erwartet.

Eine Reflexion an einem marktüblichen Solarmodul überschreitet jedoch oft den Wert von 20.000 cd/m^2 . Die Blendwirkung einer Reflexion hängt jedoch nicht nur von ihrer Intensität (Leuchtdichte) ab, sondern auch maßgeblich von der relativen Größe der Blendquelle (reflektierender Bereich der PV-Fläche), die vom Betrachter wahrgenommen wird. Daher kann ein PV-Feld, das eine Leuchtdichte von weit über 20.000 cd/m^2 aufweist, trotzdem keine relevante Blendwirkung verursachen, wenn die Blendquelle nur einen sehr kleinen Teil des Sichtbereichs einnimmt. Die relative Größe der Blendquelle hängt unter anderem von der Entfernung und relativen Position des Betrachters zum PV-Feld, der Ausrichtung der Module und den Oberflächeneigenschaften des Modulglases ab.

Im vorliegenden Gutachten wird demnach der Ansatz verfolgt, dass eine Reflexion, die im relevanten Sichtbereich eines Piloten oder eines Fluglotsen emittiert wird, und eine Leuchtdichte von $> 20.000 \text{ cd/m}^2$ aufweist, unter Anwendung der publizierten Methodik zur Bewertung von Gefahren durch Blendwirkungen von Ho et al. ausgewertet wird. Bei der Bewertung nach Ho et al.² werden als Parameter die Bestrahlungsstärke auf der Netzhaut sowie die relative Größe der Blendquelle berücksichtigt.

Blendwirkungen können nach Ho et al. in drei Kategorien eingeteilt werden³:

- (1) **Potenziell augenschädigend:** Die Blendwirkungen können das Sehvermögen nachhaltig schädigen. Dies ist bei PV-Anlagen jedoch vollständig auszuschließen.
- (2) **Potenziell geeignet, um temporäre Nachbilder zu verursachen:** Die Blendwirkungen können temporäre Nachbilder beim Betrachter hervorrufen. Als Nachbild wird der vorübergehende Abdruck der Blendquelle im Sichtfeld bezeichnet, hervorgerufen durch eine Überreizung der Netzhaut.
- (3) **Potenziell nicht geeignet, um temporäre Nachbilder zu verursachen:** Es besteht nur eine geringe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Nachbildern. Eine überraschend auftretende Absolutblendung (blitzartige Blendung) ist daher unwahrscheinlich.

Die Auswertung nach Ho et al. stellt lediglich einen Teil der gesamten (in diesem Gutachten angewendeten) Auswertungsmethodik dar. Eine übersichtliche Darstellung der Auswertungsmethodik findet sich in Kapitel 7.

² Für eine detaillierte Erklärung der Methodik wird auf die frei zugängliche Publikation von Ho et al. verwiesen: [7]

³ Es wird dabei angenommen, dass die betroffene Person nach dem Erfahren einer Blendwirkung eine typische *Blinzelreaktion* zeigt und den Blick auf die Blendquelle meidet. [7]

7.1.3 Relevantes Sichtfeld von Piloten

Die Bewertungsmethodik des vorliegenden Gutachtens verfolgt zudem den Ansatz, dass Reflexionen außerhalb des horizontalen Sichtfelds von Piloten von $\pm 50^\circ$ (bezogen auf die Flugrichtung/Fahrtrichtung) als unerheblich gelten. Das relevante Sichtfeld wurde im Rahmen einer Studie experimentell ermittelt [8].

Zudem ist zu beachten, dass aufgrund des Cockpits die vertikale Sicht eines Piloten in Richtung Boden eingeschränkt ist. Es wird angenommen, dass ab einem Winkel von 30° (bezogen auf die Flugrichtung) in Richtung Boden keine Sicht mehr besteht.

Die beschriebenen Sichtfelder grenzen den in diesem Gutachten als relevant bezeichneten Sichtbereich ein. Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtbereichs gelten pauschal als irrelevant und werde auch simulationstechnisch nicht erfasst.

Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen die relevanten Sichtfelder.

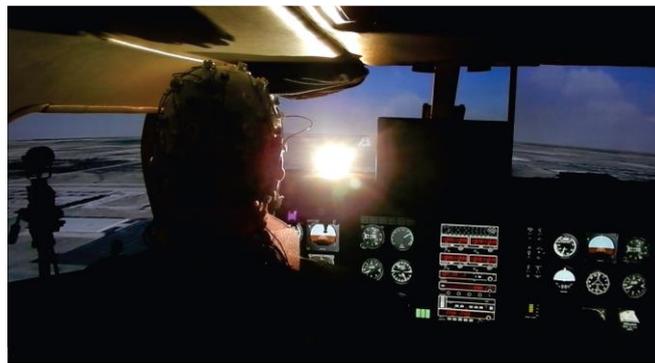


Abbildung 14: Darstellung einer Blendwirkung im relevanten Sichtfeld - Quelle: [9]

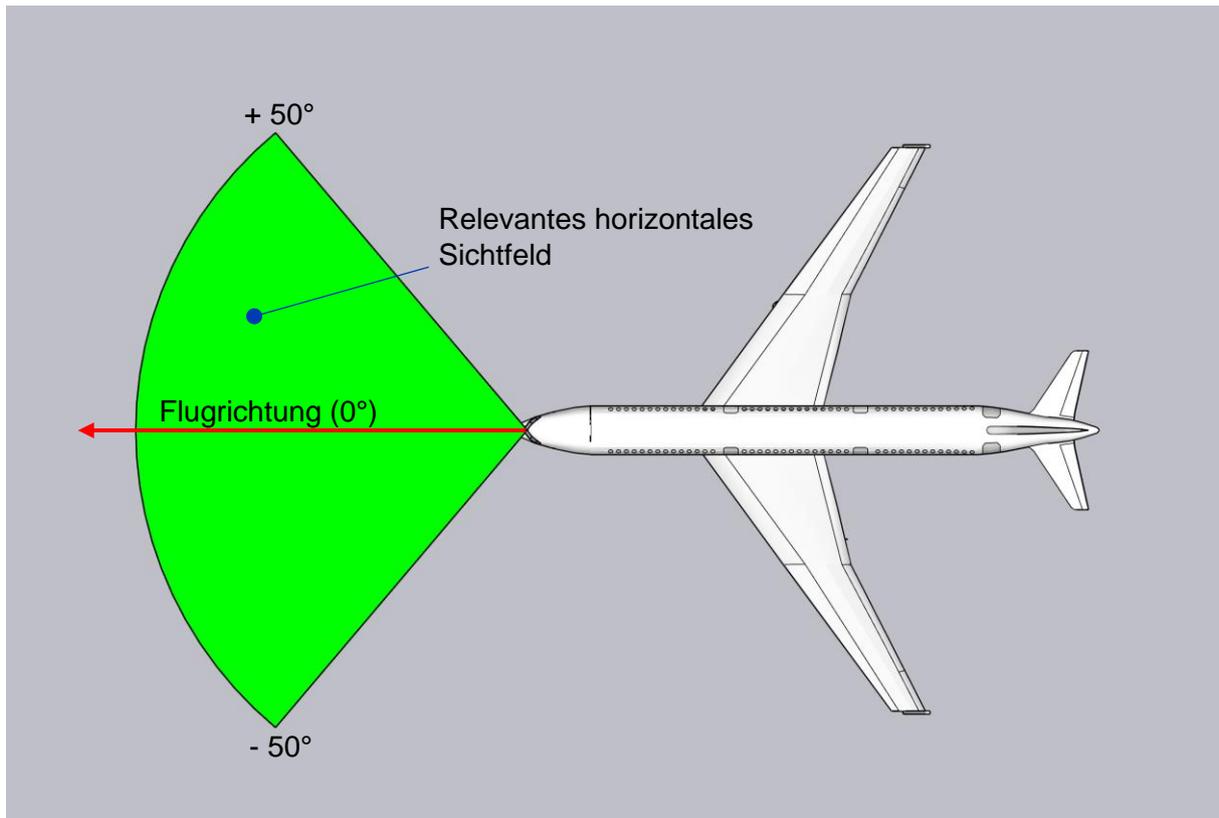


Abbildung 15: Darstellung des relevanten horizontalen Sichtfelds: Außerhalb von 50° zur Flugrichtung sind Reflexionen irrelevant. - Quelle Abbildung: Eigene Abbildung

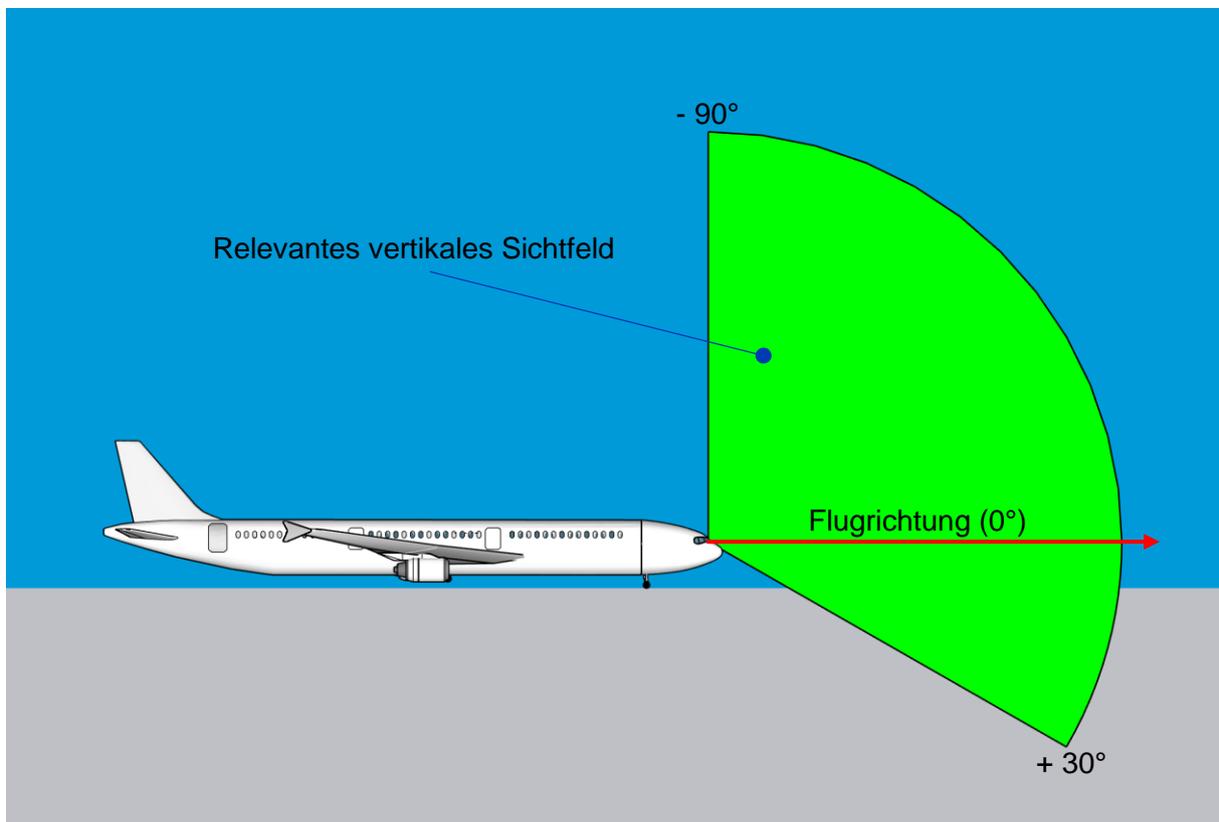


Abbildung 16: Darstellung des relevanten vertikalen Sichtfelds: Ab 30° gegen Boden ist dieses eingeschränkt. - Quelle Abbildung: Eigene Abbildung

7.1.4 Sondersituation: Sonne überlagert PVA-bedingte Reflexionen

In der angewendeten Bewertungsmethodik wird eine Reflexion, die in den relevanten Sichtbereich eines Piloten trifft, erst als stärkere Blendwirkung angesehen, wenn der Differenzwinkel zur direkten Sonnenstrahlung ca. 10° oder größer ist. Dieses Kriterium berücksichtigt den Umstand, dass die Blendwirkung der Sonne die Blendwirkung der PVA überlagert, wenn die Sonne tief steht und aus nahezu der gleichen Richtung wie die Reflexion scheint. Das Kriterium wurde in Anlehnung an [2] definiert.

7.1.5 Modellierung eines Anflugs

In der Simulation werden die Anflüge als gerade Anflüge auf die entsprechende Landebahn modelliert. Die Anflüge werden immer über eine Strecke von genau 2 Seemeilen (3,7 km) simuliert (Boden- bzw. Kartenlänge), um sicherzustellen, dass das Erreichen der Entscheidungshöhe bzw. Mindestsinkflughöhe innerhalb des betrachteten Intervalls liegt.

Der Anflugwinkel wird mit 3° berücksichtigt. Die Landeschwelle wird im Modell bzw. in der Simulation stets mit 50 Fuß (15,2 m) überflogen.

Um eine bessere Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird der Anflug stets in drei gleichgroße Abschnitte (Abschnitt 1 bis 3) unterteilt, auf die im Rahmen der Ergebnisauswertung Bezug genommen wird.

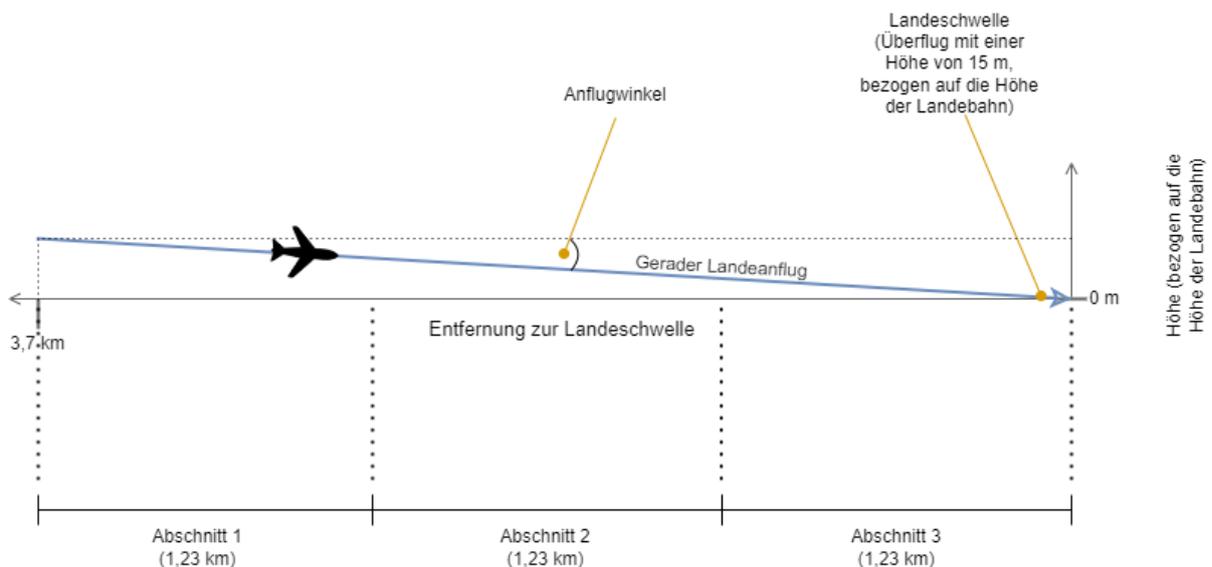


Abbildung 17: Skizze eines modellierten/simulierten Anflugs

7.2 Bewertungsmethodik als Entscheidungsbäume

Auf Basis der in Kapitel 7 dargestellten Informationen/Herleitungen wurde eine umfassende Bewertungsmethodik erstellt, die sich in zwei Kategorien einteilen lässt:

- Blendwirkungen auf Piloten
- Blendwirkungen auf das Personal im Flugverkehrskontrollturm

Für jede Kategorie wurde ein eigener Bewertungsablauf definiert (siehe folgende Unterkapitel).
Die Bewertungsmethodik dient der qualitativen Einordnung von Blendwirkungen.

7.2.1 Blendwirkungen auf Piloten

Der folgende Entscheidungsbaum dient der Bewertung (qualitative Einordnung) von PVA-bedingten Reflexionen auf Piloten während eines Landeanflugs oder beim Rollen am Boden. Zunächst wird geprüft, ob Reflexionen den relevanten Sichtbereich von Piloten erreichen können. Wenn nicht, findet keine Beeinträchtigung statt. Andernfalls wird die Leuchtdichte der Reflexion geprüft. Wenn sie $\leq 20.000 \text{ cd/m}^2$ beträgt, ist die Beeinträchtigung vernachlässigbar. Wenn sie $> 20.000 \text{ cd/m}^2$ beträgt, wird die Methodik von Ho et al. angewendet. Fällt die Blendwirkung in die dritte (3) Kategorie (schwache Beeinträchtigung), wird eine mittlere Blendwirkung erwartet. Fällt sie in die zweite (2) Kategorie, wird geprüft, ob die Reflexion von der direkten Sonnenstrahlung überlagert wird. Wenn ja, wird eine mittlere Blendwirkung erwartet, wenn nein, wird eine stärkere Blendwirkung erwartet.

Erklärung der Ergebniskategorien:

- **Keine/geringfügige Blendwirkung:** Es finden keine oder nur vernachlässigbare Blendwirkungen statt.
- **Mittlere Blendwirkung:** Es sind Blendwirkungen zu erwarten, die moderat störend wirken können.
- **Stärkere Blendwirkung:** Es sind Blendwirkungen zu erwarten, die erheblich störend wirken können.

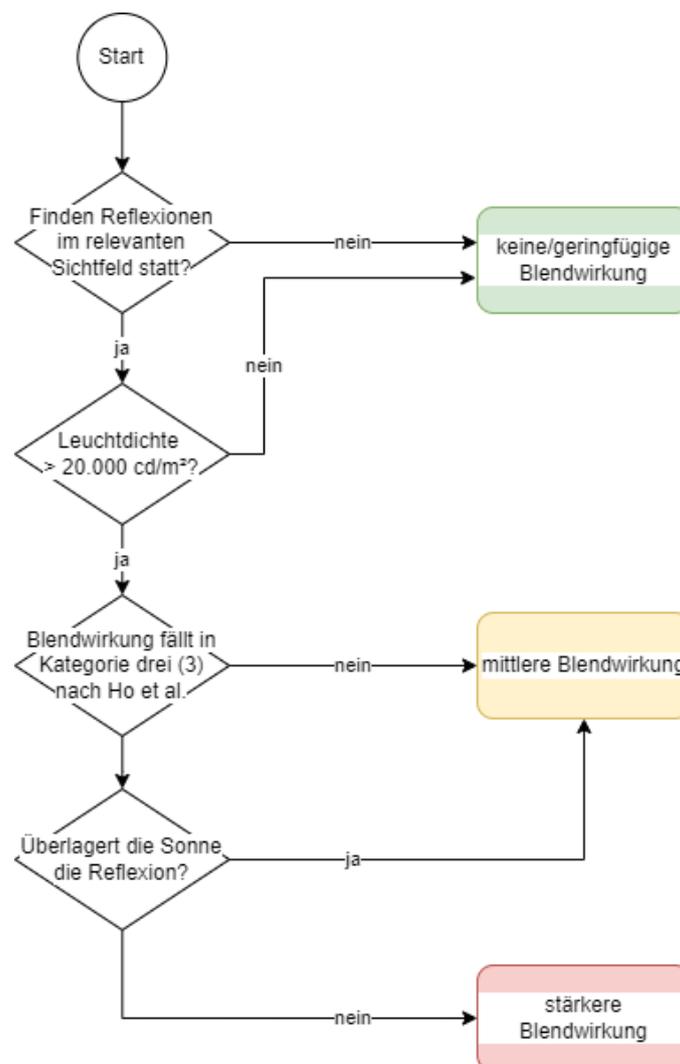


Abbildung 18: Bewertungsmethodik als Entscheidungsbaum für PVA-bedingte Blendwirkungen auf Piloten während eines Landeanflugs oder beim Rollen am Boden

7.2.2 Blendwirkungen auf das Personal im Flugverkehrskontrollturm

Der folgende Entscheidungsbaum dient der Bewertung (qualitative Einordnung) von PVA-bedingten Reflexionen auf Flugloten im Flugverkehrskontrollturm. Zunächst wird geprüft, ob Reflexionen den Arbeitsbereich des Flugverkehrskontrollturms erreichen können. Falls dies nicht der Fall ist, entsteht keine Beeinträchtigung. Wenn jedoch Reflexionen auftreten können, wird geprüft, ob die Leuchtdichte der Reflexionen größer als 20.000 cd/m² ist. Falls dies nicht der Fall ist, handelt es sich um eine vernachlässigbare Beeinträchtigung. Andernfalls wird geprüft, ob die Reflexionen tatsächlich die Sicht auf die Landebahnen beeinträchtigen. Wenn dies nicht der Fall ist, ist die Beeinträchtigung ebenfalls als vernachlässigbar einzustufen. Andernfalls findet eine stärkere Blendwirkung/Beeinträchtigung statt.

Erklärung der Ergebniskategorien:

- **Keine/geringfügige Blendwirkung:** Es finden keine oder nur vernachlässigbare Blendwirkungen statt.
- **Stärkere Blendwirkung:** Es sind Blendwirkungen zu erwarten, die erheblich störend wirken können.

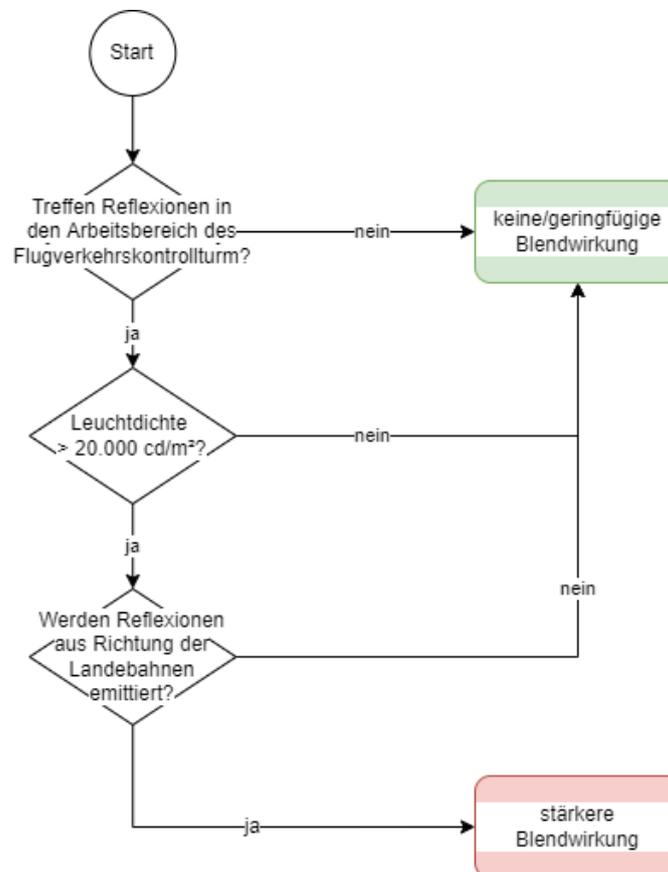


Abbildung 19: Bewertungsmethodik als Entscheidungsbaum für PVA-bedingte Blendwirkungen auf Fluglotsen im Flugverkehrskontrollturm

7.3 Flugplätze Fehrbellin

Die geplante PVA befindet sich 2,5 km südöstlich der Start- und Landebahn des Flugplatzes Fehrbellin (ICAO-Code: EDBF). Gemessen wurde ab der Landeschwelle der Runway (RWY) 28.

In der Simulation werden die Anflüge auf die RWY 10 und RWY 28 berücksichtigt. Nach der angewendeten Bewertungsmethodik sind nur Direkt- und Endanflüge relevant. Platzrunden werden nicht berücksichtigt.

Aufgrund der Entfernung zur PVA können Blendwirkungen für Piloten beim Rollen am Boden ausgeschlossen werden. Zudem konnte kein Flugverkehrskontrollturm identifiziert werden.

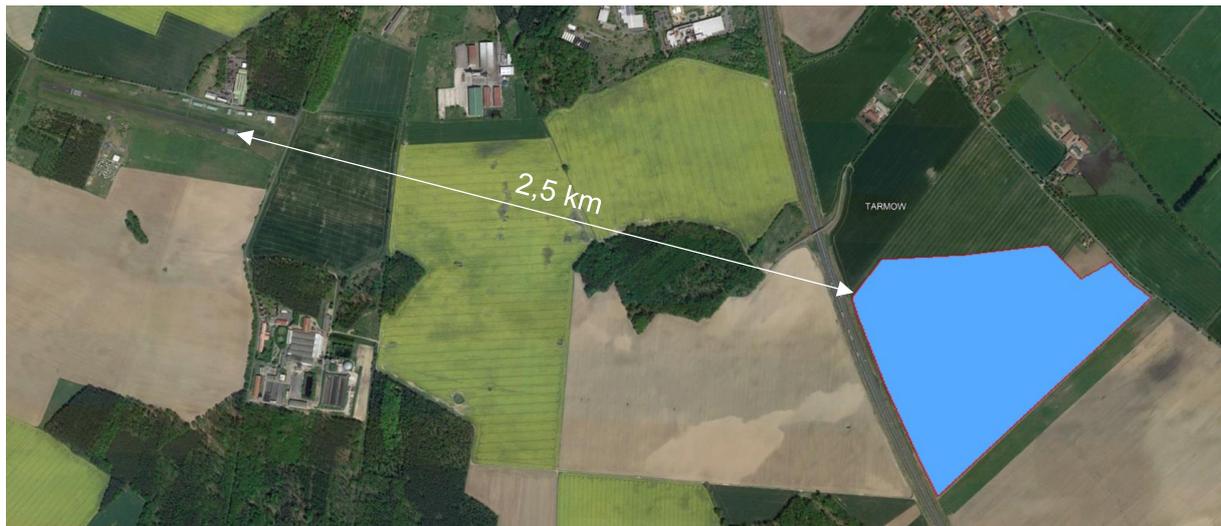


Abbildung 20: Darstellung der Entfernung zwischen Flugplatz (Landeschwelle RWY 28) und PVA - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 21: Darstellung des Flugplatzes - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

7.4 Ergebnisse

Tabelle 7: Übersichtstabelle für die Blendwirkungen auf die Anflüge

Landeanflug auf...	Betroffener Landeanflugabschnitt	Leucht-dichte > 20.000 cd/m ² ?	Blendwirkung fällt in Kategorie drei (3) nach Ho et al.?	Überlagert die Sonne die Reflexion?	Blendwirkung
RWY 10	keine	-	-	-	keine
RWY 28	1	ja (teilweise)	ja (teilweise)	nein	stärkere

- **Keine/geringfügige Blendwirkung:** Es finden keine oder nur vernachlässigbare Blendwirkungen statt.
- **Mittlere Blendwirkung:** Es sind Blendwirkungen zu erwarten, die moderat störend wirken können.
- **Stärkere Blendwirkung:** Es sind Blendwirkungen zu erwarten, die erheblich störend wirken können.

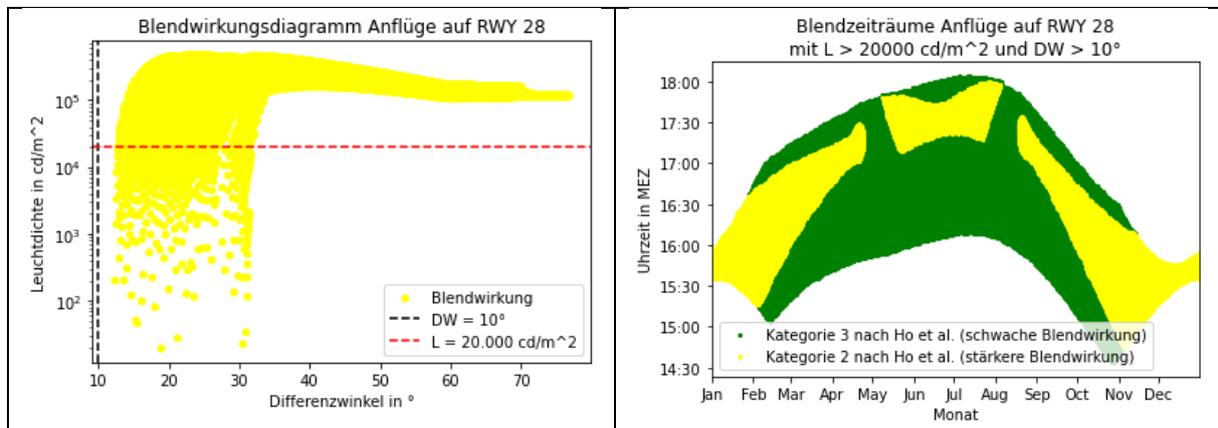


Abbildung 22: Ergebnisdigramme für Anflüge auf die RWY 28

8 Diskussion der Ergebnisse und empfohlene Maßnahmen

8.1 Gebäuden

Kein Gebäude in der Umgebung der PVA wird relevante Reflexionen erfahren. Belästigungen sind somit auszuschließen.

8.2 Straßen

8.2.1 A 24

Auf der Bundesautobahn A 24 finden keine Reflexionen innerhalb der Beeinträchtigungsgrenze (ein Sichtfeld von $\pm 50^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung) statt.

Die Leichtigkeit des Verkehrs wird somit nicht gefährdet.

8.2.2 L 16

Dank der Südwest-Ausrichtung der Module neben der L 16 finden auf der Landesstraße kaum relevante Blendwirkungen statt.

Jedoch können bei Observationspunkt S 16 noch relevante Reflexionen auftreten, die innerhalb der Erheblichkeitsgrenze (ein Sichtfeld von $\pm 30^\circ$, bezogen auf die Fahrtrichtung) in Fahrtrichtung Nordwesten emittiert werden.

Somit können erhebliche Beeinträchtigungen nicht ausgeschlossen werden.

Demnach wird empfohlen, an der südöstlichen Anlagengrenze den Zaun über eine Länge von ca. 120 m auf die Höhe der Moduloberkante zuzüglich 30 cm zu erhöhen und mit Sichtschutzelementen auszustatten, um Blendwirkungen auf der L 16 zu minimieren. Die unteren 80 cm des Zauns können dabei zur Reduzierung der Windlast frei bleiben.



Abbildung 23: Empfohlener Sichtschutz an der Anlagengrenze

8.3 Flugverkehr

Die Untersuchung hat ergeben, dass lediglich bei direkten Anflügen auf die Landebahn 28 (RWY 28) stärkere Blendwirkungen zu erwarten sind. Diese können auftreten, wenn das PV-Feld überflogen wird. Zwischen dem letzten Punkt, an dem Blendeffekte auftreten können, und der Landeschwelle befindet sich noch ein etwa 2,65 Kilometer langer, blendfreier Anflugbereich. Diese Distanz wird als ausreichend eingestuft, um den Piloten die Möglichkeit zu geben, Landebahnmarkierungen und Hindernisse auf der Landebahn zu identifizieren und die RWY 28 präzise anzusteuern. Bei einem Anflugwinkel von 3° und einem geraden Anflug liegt das Flugzeug zum Zeitpunkt der letzten Blendung noch etwa 150 Meter über der Flugplatzebene. Mit dieser Resthöhe sollte ein Anflug noch sicher abgebrochen werden können, falls beispielsweise Hindernisse auf der Landebahn entdeckt werden.

Zusätzlich ist zu beachten, dass das PV-Feld voraussichtlich nur bei Direktanflügen oberflogen wird.

Eine übliche Platzrunde wird voraussichtlich so geflogen, dass der Endanflug in einer Distanz von etwa 1,5 Kilometern zur Landeschwelle beginnt. Daher liegt der relevante Endanflug (gerader Anflug auf die Landebahn) im blendfreien Bereich westlich der Photovoltaikanlage.

Die Blendsituation auf den Flugverkehr wird demnach als vertretbar eingestuft. Stärkere Blendwirkungen können nur auftreten, wenn das PV-Feld überflogen wird. Die restliche (blendfreie) Distanz zur Landebahn wird als ausreichend eingeschätzt, um sichere Landevorgänge durchführen zu können.

Die US-amerikanische Flugaufsichtsbehörde (FAA) vergleicht die (i. d. R.) zu erwartenden Blendwirkungen von PV-Anlagen bei Landeanflügen mit den Reflexionen von großen Wasserkörpern oder großen Glasfassaden, welche tendenziell kein unbekanntes Phänomen für Piloten darstellen [10]⁴.

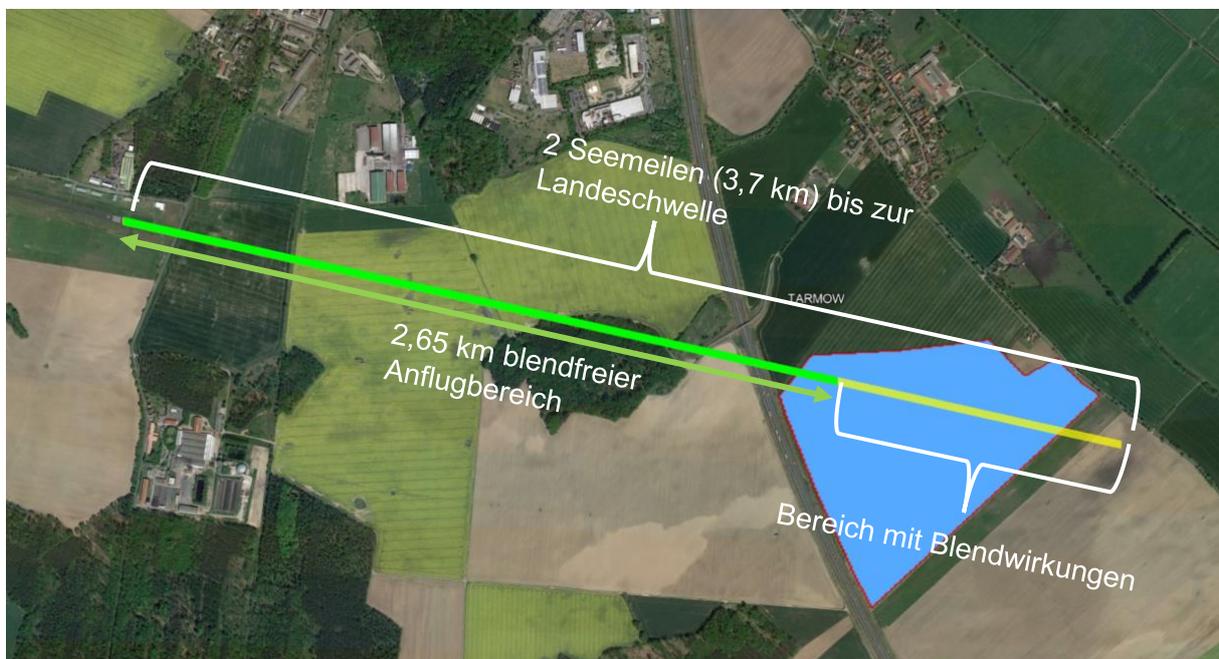


Abbildung 24: Darstellung der Anfluggeraden (2 Seemeilen) und Abschnitt mit Blendwirkungen
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

⁴ Dementsprechend werden von der FAA seit 2021 auch keine Blendgutachten für Landeanflüge mehr gefordert [10].

9 Literaturverzeichnis

- [1] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [3] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [4] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA: American Society of Mechanical Engineers, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [5] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [6] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), „Blendung durch Photovoltaikanlagen - OVE-Richtlinie R 11-3“. 2016.
- [7] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.
- [8] Jason A- Rogers, Clifford K. Ho, Andrew Mead, Angel Millan, Melissa Beben, und Gena Drechsler, „Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach“. 2015. Zugegriffen: 15. April 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfac/oamtechreports/2010s/media/201512.pdf
- [9] European Aviation Safety Agency, „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design CS-ADR-DSN“. 2021. Zugegriffen: 7. Juli 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.easa.europa.eu/document-library/certification-specifications/cs-adr-dsn-issue-6>
- [10] C. K. Ho, C. M. Ghanbari, und R. B. Diver, „Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation“, *Journal of Solar Energy Engineering*, Bd. 133, Nr. 3, S. 031021, Aug. 2011, doi: 10.1115/1.4004349.
- [11] DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Federal Aviation Administration, „Federal Register / Vol. 78, No. 205: Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports“. 2013.
- [12] DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Federal Aviation Administration, „Federal Register Vol. 86, No. 89: Federal Aviation Administration Policy: Review of Solar Energy System Projects on Federally-Obligated Airports“. 2021.
- [13] Jason A- Rogers, Clifford K. Ho, Andrew Mead, Angel Millan, Melissa Beben, und Gena Drechsler, „Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach“. 2015. Zugegriffen: 15. April 2021. [Online]. Verfügbar unter: https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfac/oamtechreports/2010s/media/201512.pdf

Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT



4. Assumptions and Limitations

Below is a list of assumptions and limitations of the models and methods used in SGHAT:

- The software currently only applies to flat reflective surfaces. For curved surfaces (e.g., focused mirrors such as parabolic troughs or dishes used in concentrating solar power systems), methods and models derived by Ho et al. (2011) [1] can be used and are currently being evaluated for implementation into future versions SGHAT.
- SGHAT does not rigorously represent the detailed geometry of a system; detailed features such as gaps between modules, variable height of the PV array, and support structures may impact actual glare results. However, we have validated our models against several systems, including a PV array causing glare to the air-traffic control tower at Manchester-Boston Regional Airport and several sites in Albuquerque, and the tool accurately predicted the occurrence and intensity of glare at different times and days of the year.
- SGHAT assumes that the PV array is aligned with a plane defined by the total heights of the coordinates outlined in the Google map. For more accuracy, the user should perform runs using minimum and maximum values for the vertex heights to bound the height of the plane containing the solar array. Doing so will expand the range of observed solar glare when compared to results using a single height value.
- SGHAT does not consider obstacles (either man-made or natural) between the observation points and the prescribed solar installation that may obstruct observed glare, such as trees, hills, buildings, etc.
- The variable direct normal irradiance (DNI) feature (if selected) scales the user-prescribed peak DNI using a typical clear-day irradiance profile. This profile has a lower DNI in the mornings and evenings and a maximum at solar noon. The scaling uses a clear-day irradiance profile based on a normalized time relative to sunrise, solar noon, and sunset, which are prescribed by a sun-position algorithm [2] and the latitude and longitude obtained from Google maps. The actual DNI on any given day can be affected by cloud cover, atmospheric attenuation, and other environmental factors.
- The ocular hazard predicted by the tool depends on a number of environmental, optical, and human factors, which can be uncertain. We provide input fields and typical ranges of values for these factors so that the user can vary these parameters to see if they have an impact on the results. The speed of SGHAT allows expedited sensitivity and parametric analyses.
- Single- and dual-axis tracking compute the panel normal vector based on the position of the sun once it is above the horizon. Dual-axis tracking does not place a limit on the angle of rotation, unless the sun is below the horizon. For single-axis tracking, a maximum angle of rotation can be applied to both the clockwise and counterclockwise directions.

Ausschnitt wurde dem SGHAT-Handbuch (Solar Glare Hazard Analysis Tool) entnommen. Das vollständige Handbuch kann unter folgendem Link gefunden werden:

https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf