SONNWINN GmbH
Unabhängige Experten für Photovoltaik und Stromspeicher

Blendgutachten

PV-Anlage Stolzenhain

Version 1.1

21.05.2026

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Geprüft:

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

SONNWINN GmbH
Elbstraße 88/1
D-22880 Wedel
+49 (0) 4103 121 4221
kontakt@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.1	Neues Flächenlayout	21.05.2026	Mathias Röper
1.0	Erste Fassung	02.12.2024	Mathias Röper

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3
1.1 Fragestellung 3
1.2 Haftungsausschluss 3
1.3 Datengrundlage 3
1.4 Übersicht der angewendeten Methodiken 4
2 Anlagenbeschreibung 5
3 Zusammenfassung der Ergebnisse 7
4 Grundlagen 8
4.1 Blendwirkung von Modulen 8
4.2 Berechnung von Reflexionen 10
4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen 10
5 Blendwirkungen auf Gebäude 11
5.1 Auswertungsmethodik 11
5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA 12
6 Blendwirkungen auf Verkehrswege 13
6.1 Auswertungsmethodik 13
6.2 Relevante Verkehrswege 15
6.3 Observationspunkte 16
6.4 Ergebnisse 17
7 Blendwirkungen auf den Flugverkehr 19
7.1 Herleitung der Bewertungsmethodik bzgl. Blendwirkungen im Flugverkehr 19
7.2 Bewertungsmethodik als Entscheidungsbäume 24
7.3 Fliegerhorst Holzdorf 27
7.4 Position PVA und Flughafen 28
7.5 Ergebnisse 29
8 Diskussion der Ergebnisse 32
8.1 Gebäude 32
8.2 Verkehrswege 32
8.3 Flugverkehr 34
9 Literaturverzeichnis 35
Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT 36

1 Einleitung

Die SONNWINN GmbH, unabhängiges Experten-Büro für Photovoltaik und Stromspeicher, wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	ASG Anhalt Solar GmbH
Projektname	PVA Stolzenhain
Adresse PVA	04916 Schönewalde
Stand der Projektierung	☐ Bestand | ☐ Im Bau | ☒ Planung

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)
- Straßenverkehr

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	Auftraggeber
Umliegende Vegetation	Google Earth Pro, OpenStreetMap
Umliegende Bebauung	
Höhendaten (DGM1)	© GeoBasis-DE / LGB, dl-de/by-2-0

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**) [1]
Verkehrswege	Eigene Auswertungsmethodik auf Basis des **Eckpunktepapiers des Fernstraßenbundesamtes** (siehe Kapitel 6)

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA besteht aus zwei PV-Flächen.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Geokoordinaten (Breite, Länge)	51.835129,13.173934
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung
Aufständerung	Fest aufgeständert
PV-Fläche	ca. 12,2 ha (innerhalb Einfriedung)
Nennleistung (DC)	-
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd Modulsonderreihe 1: ca. 198° Modulsonderreihe 2: ca. 201°
Modulneigung	15°
Höhe Modulunterkante	0,8 m (es wird angenommen, dass die Tische entsprechend der Modulunterkante an die Topografie angepasst werden, sodass die Moduloberkanten variabel und entsprechend ggf. höher ausfallen)
Höhe Moduloberkante	ca. 2,7 m (bei flachem Terrain)



Abbildung 1: Grundriss der PV-Flächen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

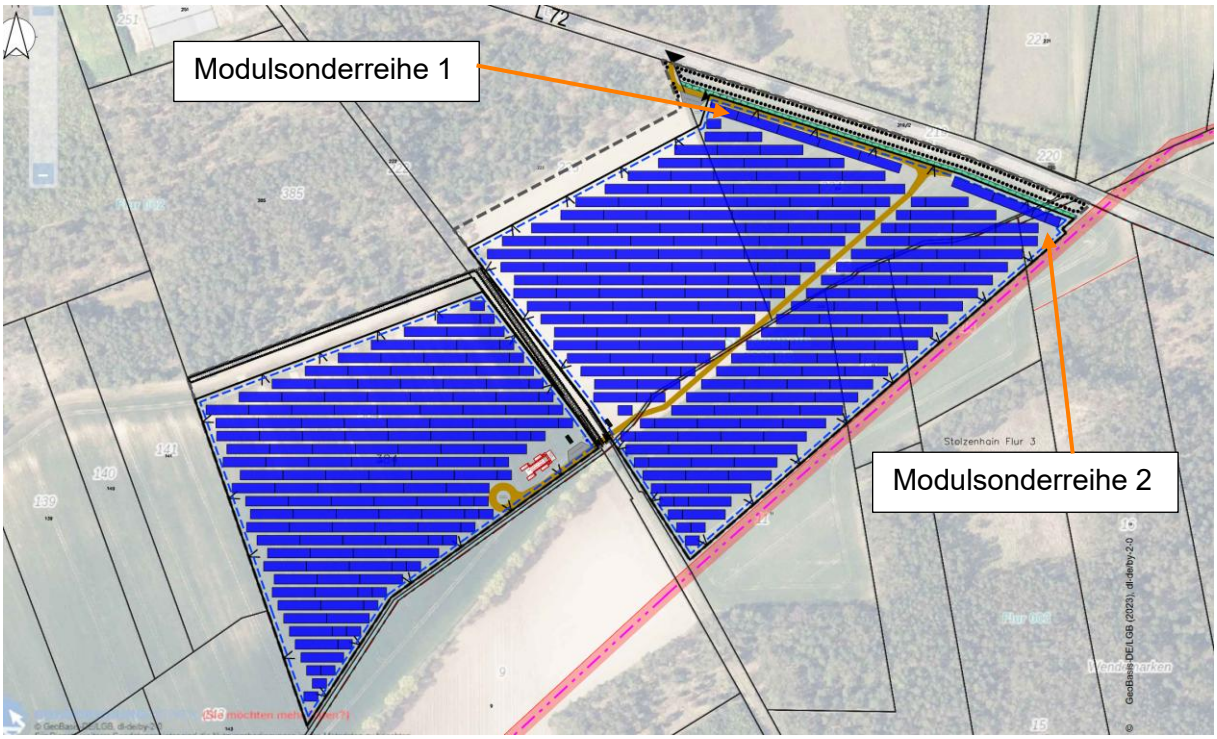


Abbildung 2: Belegungsplan - Quelle: Auftraggeber

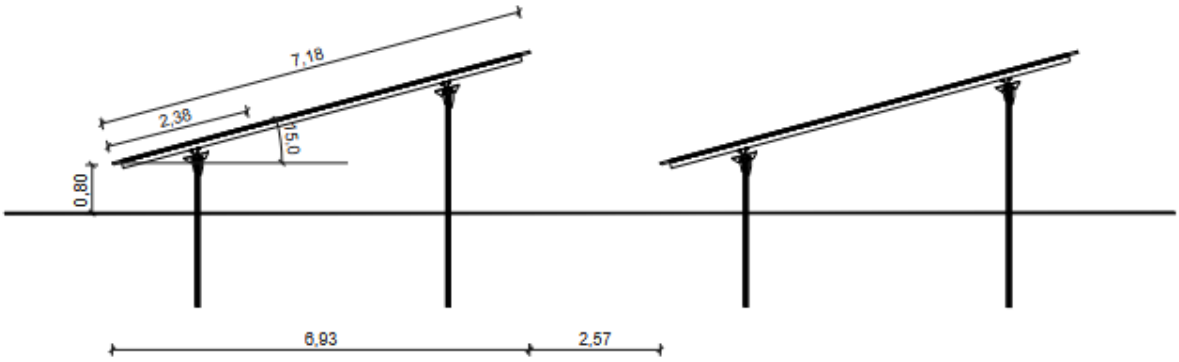


Abbildung 3: Schnittzeichnung - Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im relevanten Umfeld der Photovoltaikanlage (Radius 100 m) befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Erhebliche Belästigungen in schutzwürdigen Räumen können daher ausgeschlossen werden. Die nächstgelegenen schutzwürdigen Nutzungen befinden sich im Siedlungsgebiet von Stolzenhain in einer Entfernung von etwa 730 m nordwestlich der PV-Fläche. Aufgrund der weitgehend ebenen Topografie sowie der Einhaltung der im LAI-Leitfaden empfohlenen Abstände sind erhebliche Blendwirkungen nicht zu erwarten. Zusätzlich wird die Photovoltaikanlage durch vorhandene Waldflächen in Richtung der Wohnbebauung abgeschirmt.

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurden die Bundesstraße B 101 sowie die Landesstraße L 72 als relevante Verkehrswege identifiziert und hinsichtlich möglicher Blendwirkungen untersucht.

Für Fahrzeugführer auf der Bundesstraße B 101 treten keine Reflexionen innerhalb des relevanten Sichtfeldes (±30° bezogen auf die Fahrtrichtung) auf. Erhebliche Blendwirkungen können daher ausgeschlossen werden.

Für Fahrzeugführer auf der L 72 können bei Fahrtrichtung Nordwesten rein geometrisch betrachtet Reflexionen innerhalb des relevanten Sichtfeldes auftreten. Die Sichtlinie auf die Photovoltaikanlage wird jedoch bereits weitgehend durch die beiden von der Fahrbahn abgewandten Sondermodultischreihen sowie durch die östlich gelegene Waldfläche unterbrochen. Voraussetzung hierfür ist, dass die Sondermodultische eine Mindesthöhe von 3 m aufweisen. Ergänzend wird empfohlen, einen kleineren Abschnitt entlang der südöstlichen Anlagengrenze mit einem zusätzlichen Sichtschutz, beispielsweise in Form eines Sichtschutzzauns, auszustatten.

Darüber hinaus wurden mögliche Auswirkungen auf den Flugverkehr am Fliegerhorst Holzdorf untersucht, der sich etwa 7,2 km südlich der Photovoltaikanlage befindet. Hierzu wurden Landeanflüge mit unterschiedlichen Sinkwinkeln betrachtet. Im relevanten Sichtfeld der Piloten – untersucht wurde der letzte Abschnitt des Anflugs von zwei Seemeilen vor der Landeschwelle bis zur Landebahn – treten keine Reflexionen auf. Auch auf dem Flugplatz selbst sind keine relevanten Reflexionen zu erwarten. Entsprechend der angewendeten Bewertungsmethodik sind somit keine erheblichen Beeinträchtigungen des Flugverkehrs zu erwarten.

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 [2].

Daher reflektieren Solarmodule bei geringen Einfallswinkeln θ (siehe Abbildung 4) 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 5).

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

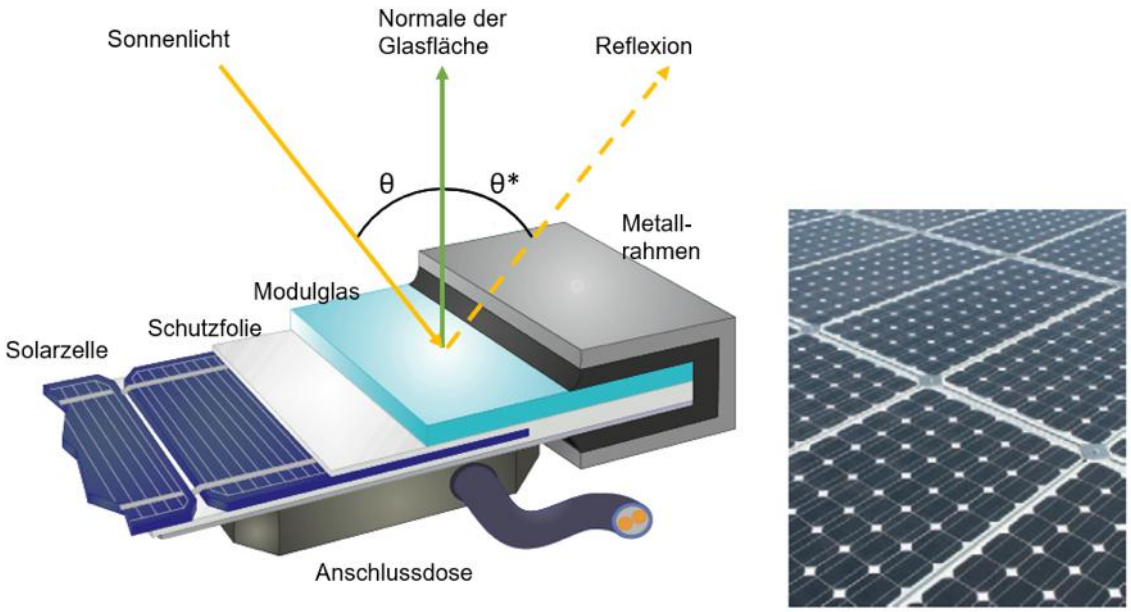


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ - Quelle: [3] (modifiziert)

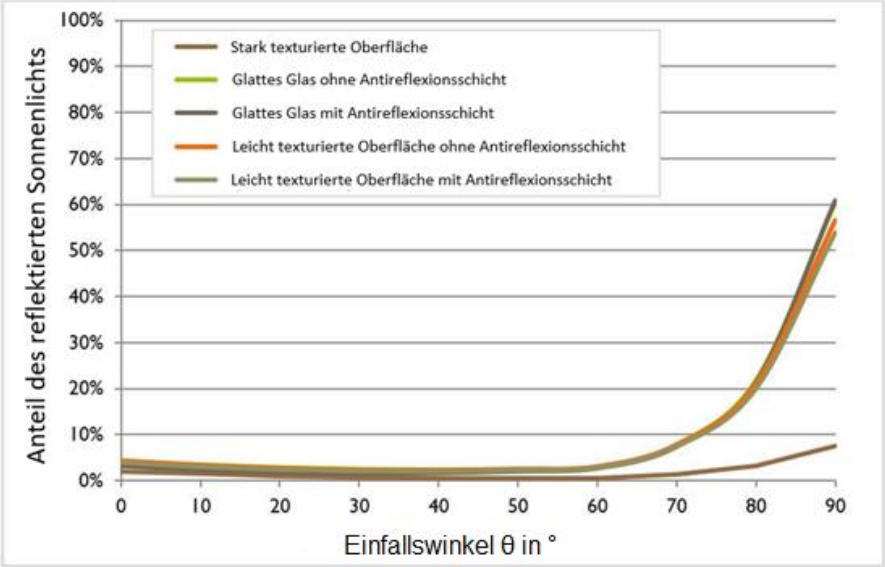


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

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 6: 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 [1]. 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].

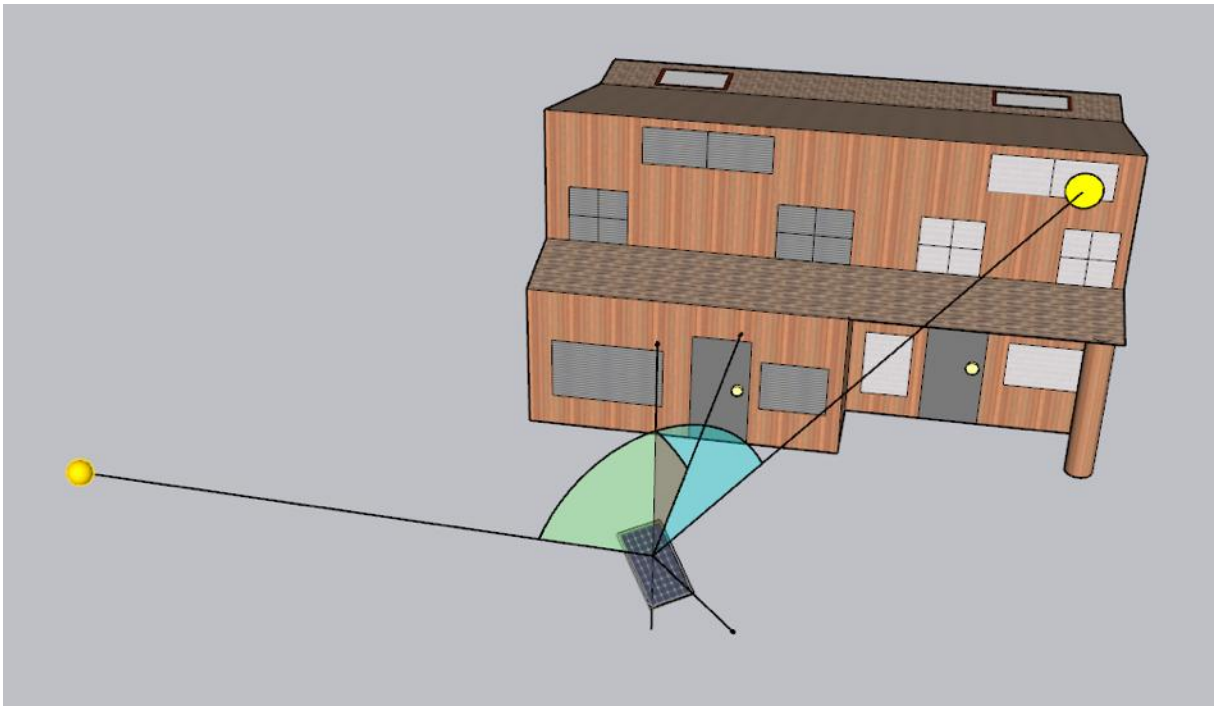


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

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.

Obwohl ForgeSolar zu den etabliertesten und professionellsten Programmen gehört, um PVA-bedingte Blendwirkungen zu berechnen, kann die Realität nur vereinfacht dargestellt werden. Somit werden die Generatorfelder als Ebenen zusammengefasst, abweichende Modulausrichtungen im Feld (z. B. Modultische, die aufgrund der Topografie eine Neigung entlang der Tischachse besitzen und somit die effektive Ausrichtung der Module beeinflussen) teilweise verloren gehen. Die Limitationen der Software werden nach Möglichkeit durch zusätzliche Berechnungen kompensiert und die Ergebnisse stets validiert. Dennoch können Abweichungen von der späteren Realität nicht ausgeschlossen werden.

Eine weiterführende 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) [1].

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.

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 wird jedoch ein realistisches Modell verwendet, das die oberflächenspezifischen Eigenschaften realer Solarmodule berücksichtigt. Um trotzdem eine Bewertung nach dem LAI-Leitfaden durchführen zu können, werden die Blendwirkungen unterschieden: Blendungen, die ausschließlich mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden, heißen „Kernblendung“ (LAI-relevant). Alle anderen Blendwirkungen werden als „gestreute Reflexion“ bezeichnet. Sofern relevante Blendwirkungen auftreten, werden beide Arten getrennt dargestellt.

Zudem sind laut dem Leitfaden Reflexionen, die am Immissionsort mit einem Differenzwinkel ≤ 10° 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-Leitfaden 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. In der Diskussion (Kapitel 7) werden Hindernisse jedoch ggf. berücksichtigt.

5.2 Schutzwürdige Räume in der Umgebung der PVA

Ab einem Abstand zwischen Immissionsort (z. B. Wohngebäude) und einer nach (ca.) Süden ausgerichteten PVA von 100 m können erhebliche Belästigungen (i. d. R.) pauschal ausgeschlossen werden [1].

Abbildung 8 veranschaulicht den Bereich, der 100 Meter oder näher an der Photovoltaikanlage liegt.

Im 100-Meter-Umkreis der Photovoltaikanlage befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude, wie etwa Wohngebäude oder Büroräume. Erhebliche Belästigungen in schutzwürdigen Räumen können daher ausgeschlossen werden. Die nächstgelegenen schutzwürdigen Gebäude sind die Wohngebäude im Siedlungsgebiet von Stolzenhain, etwa 730 m nordwestlich der PV-Fläche.

Aufgrund der flachen Topografie und unter Berücksichtigung der Abstandsregel können erhebliche Belästigungen durch Blendwirkungen gemäß dem LAI-Leitfaden ausgeschlossen werden. Hinzu kommt, dass die PVA Richtung Wohnbebauung durch Waldflächen abgeschirmt ist. Eine weiterführende Betrachtung oder Simulation ist in diesem Zusammenhang nicht erforderlich.



Abbildung 8: Übersicht der 100-Meter-Zone - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

6 Blendwirkungen auf Verkehrswege

6.1 Auswertungsmethodik

Die im Gutachten angewendete Auswertungsmethodik zur Bewertung der Blendwirkungen auf Verkehrswegen basiert auf dem Eckpunktepapier des Fernstraßen-Bundesamtes (Stand: November 2025) [6].

Zur Beurteilung der Blendwirkungen durch Photovoltaikanlagen auf Verkehrswege ist es gängige Praxis, ein oder mehrere Sichtfelder von Fahrzeugführern (Kraftfahrzeug- und Lokführer) zu definieren, die sich hinsichtlich ihrer verkehrlichen Relevanz unterscheiden. Anschließend wird mittels Simulation geprüft, ob Reflexionen innerhalb dieser Sichtfelder auftreten. Dabei wird angenommen, dass die Blickrichtung eines Fahrzeugführers grundsätzlich der Fahrtrichtung entspricht [7].

Relevantes Sichtfeld: In Anlehnung an [8] und [6] wird eine Erheblichkeitsgrenze von ± 30° bezogen auf die jeweilige Fahrtrichtung definiert. Reflexionen außerhalb dieses Sichtfeldes führen in der Regel zu keinen erheblichen Beeinträchtigungen. Besondere Verkehrssituationen können jedoch eine Erweiterung des relevanten Sichtfeldes erforderlich machen, beispielsweise im Bereich von Beschleunigungsstreifen oder Kreuzungen, sofern dort regelmäßig von der Fahrtrichtung abweichende Blickbewegungen zu erwarten sind.

Zentrales Sichtfeld: Zudem wird ein zentrales Sichtfeld von ± 10° definiert. Außerhalb dieses zentralen Sichtfeldes sind Blendquellen (reflektierende PV-Flächen) mit einer vertikalen Ausdehnung von maximal 0,3° pauschal als unkritisch zu bewerten.

Für die Analyse der Blendwirkungen auf den Straßenverkehr ist es i. d. R. ausreichend, ausschließlich LKW-Fahrer zu betrachten, da diese im Vergleich zu PKW-Fahrern eine höhere Augenposition über dem Straßenniveau einnehmen. Höher gelegene Immissionsorte sind grundsätzlich stärkeren beziehungsweise zentraler (bezogen auf das Sichtfeld) einsetzenden Blendwirkungen ausgesetzt. Mit der Betrachtung von LKW-Fahrern wird somit eine konservative Worst-Case-Annahme zugrunde gelegt.

Im Rahmen des Gutachtens wird für LKW-Fahrer eine Augenhöhe von 2,7 m über dem jeweiligen Straßenniveau angesetzt [6].

PVA-bedingte Blendwirkungen gelten selbst innerhalb des relevanten Sichtfeldes als vernachlässigbar (irrelevant), wenn die verursachenden Reflexionen mit einem Differenzwinkel ≤ 10° zur direkten Sonneneinstrahlung auftreten und gleichzeitig der Höhenwinkel der Sonne ≤ 5° beträgt [6]. Sind beide Kriterien erfüllt, wird die Blendwirkung der PVA aus nahezu gleicher Richtung von der direkten Sonneneinstrahlung überlagert und kann in der Regel nicht mehr durch fahrzeugseitige Blenden oder Sonnenblenden abgeschirmt werden (Annahme). In diesem Fall stellen die PVA-bedingten Reflexionen keine zusätzliche verkehrsrelevante Beeinträchtigung dar.

Zudem werden Reflexionen mit einer Leuchtdichte von unter 30.000 cd/m² gemäß [6] pauschal als nicht erheblich eingestuft.

Nicht erhebliche Reflexionen: Wenn eines der folgenden Kriterien zutrifft:

- Die Reflexionen werden innerhalb des relevanten Sichtfelds von der Sonne überlagert (siehe Kriterien oben).
- Reflexionen weisen eine Intensität von unter 30.000 cd/m² auf.
- Die Blendquelle liegt außerhalb des zentralen Sichtfelds und weist im Sichtfeld eine vertikale Größe von ≤ 0,3° auf.

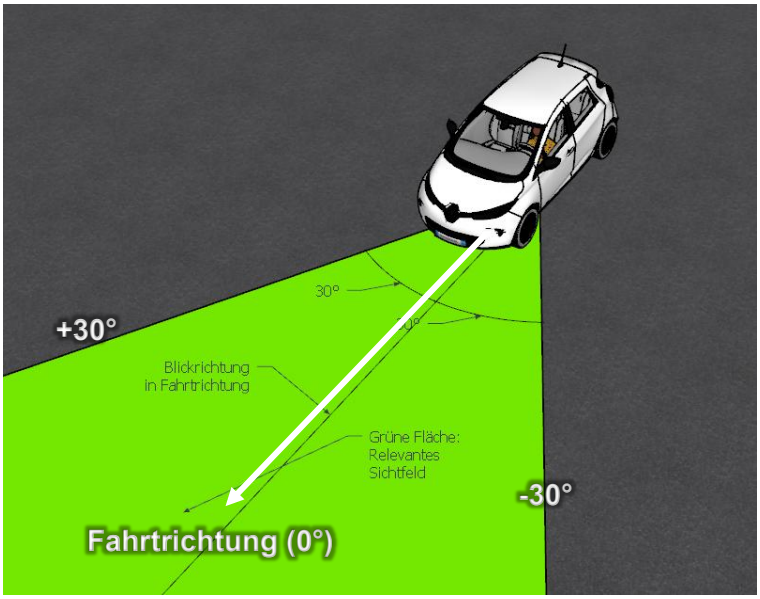


Abbildung 9: Relevantes Sichtfeld eines Fahrzeugführers – Quelle: Eigene Abbildung

Die folgenden Abbildungen zeigen die geschätzten Augenhöhen der Verkehrsteilnehmer. Diese Angaben sind im Rahmen der Simulation relevant.

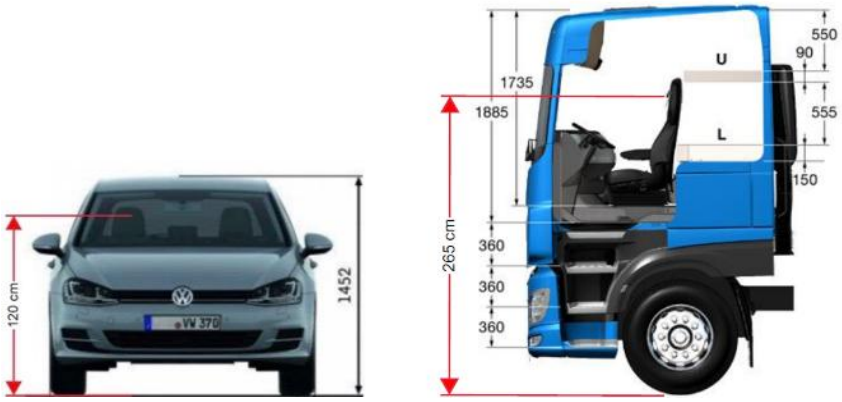


Abbildung 10: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer – Quelle: Volkswagen AG (modifiziert), BTS GmbH & Co. KG (modifiziert)

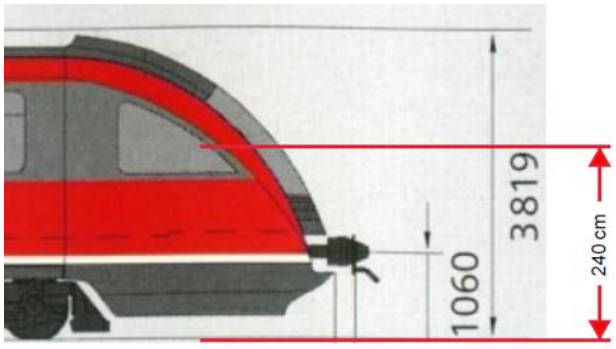


Abbildung 11: Augenhöhe von Lokführern – Quelle: www.nahverkehr-franken.de (modifiziert)

6.2 Relevante Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurde die Bundesstraße B 101 und die Landesstraße L 72 als relevante Verkehrswege identifiziert und entsprechend geprüft.

Wirtschaftswege oder nur sporadisch befahrene Straßen und Zuwegungen wurden aufgrund des geringen Verkehrsaufkommens als nicht relevant eingestuft und deshalb in der Analyse nicht weiter berücksichtigt.

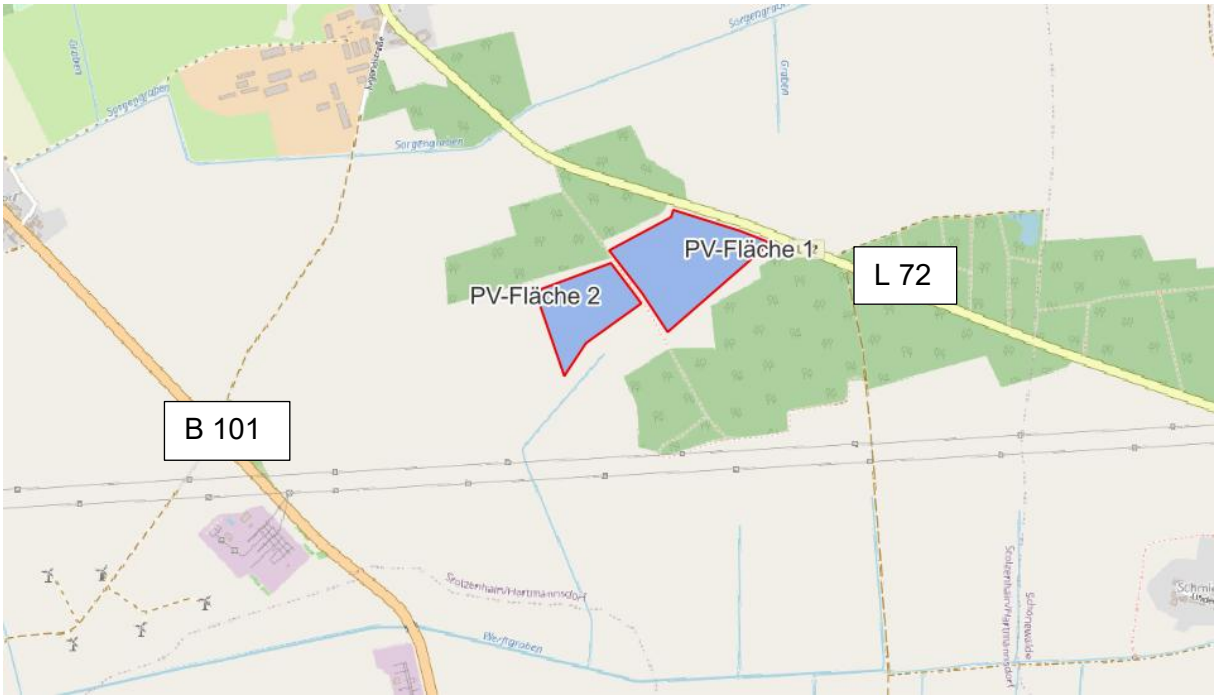


Abbildung 12: Positionen der als relevant eingestuften Verkehrswege - Quelle Karte: OpenStreetMap

6.3 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege wurden spezifische „Observationspunkte“ (OP) definiert, die in der Simulation als Detektionspunkte für auftreffende Reflexionen dienen.

Insgesamt wurden 8 OP zur Analyse der Blendwirkungen auf die Verkehrswege festgelegt:

- OP S1 bis S4 für den Straßenverkehr auf der B 101 in beiden Fahrtrichtungen.
- OP S5 bis S8 für den Straßenverkehr auf der L 72 in beiden Fahrtrichtungen.

Die OP Sx sind in einer Höhe von 2,7 m über dem Straßenniveau angebracht, entsprechend der angenommenen Augenhöhe eines LKW-Fahrers.

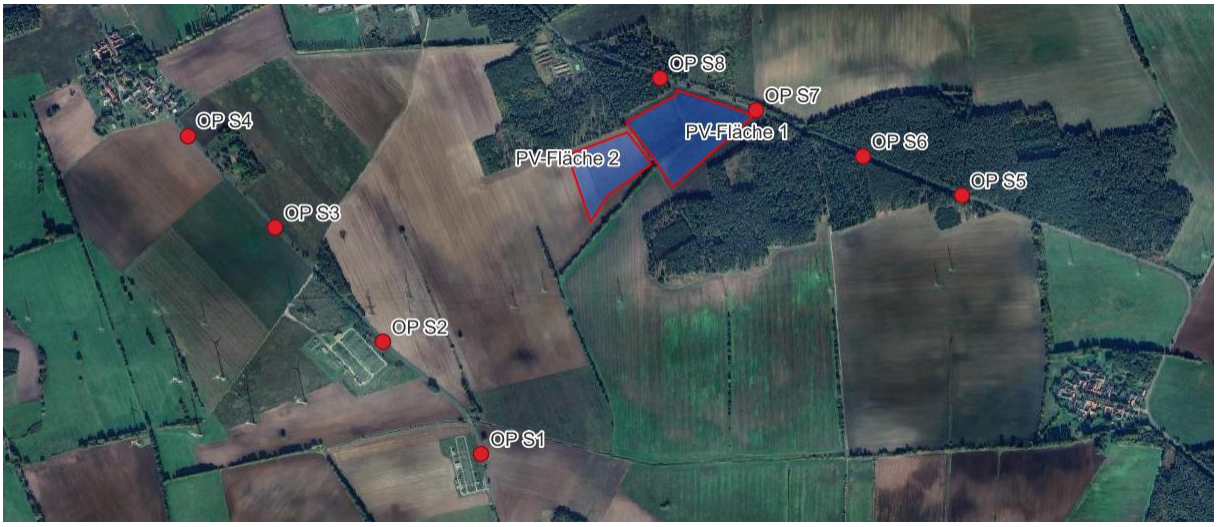


Abbildung 13: Positionen der OP S auf den Verkehrswegen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

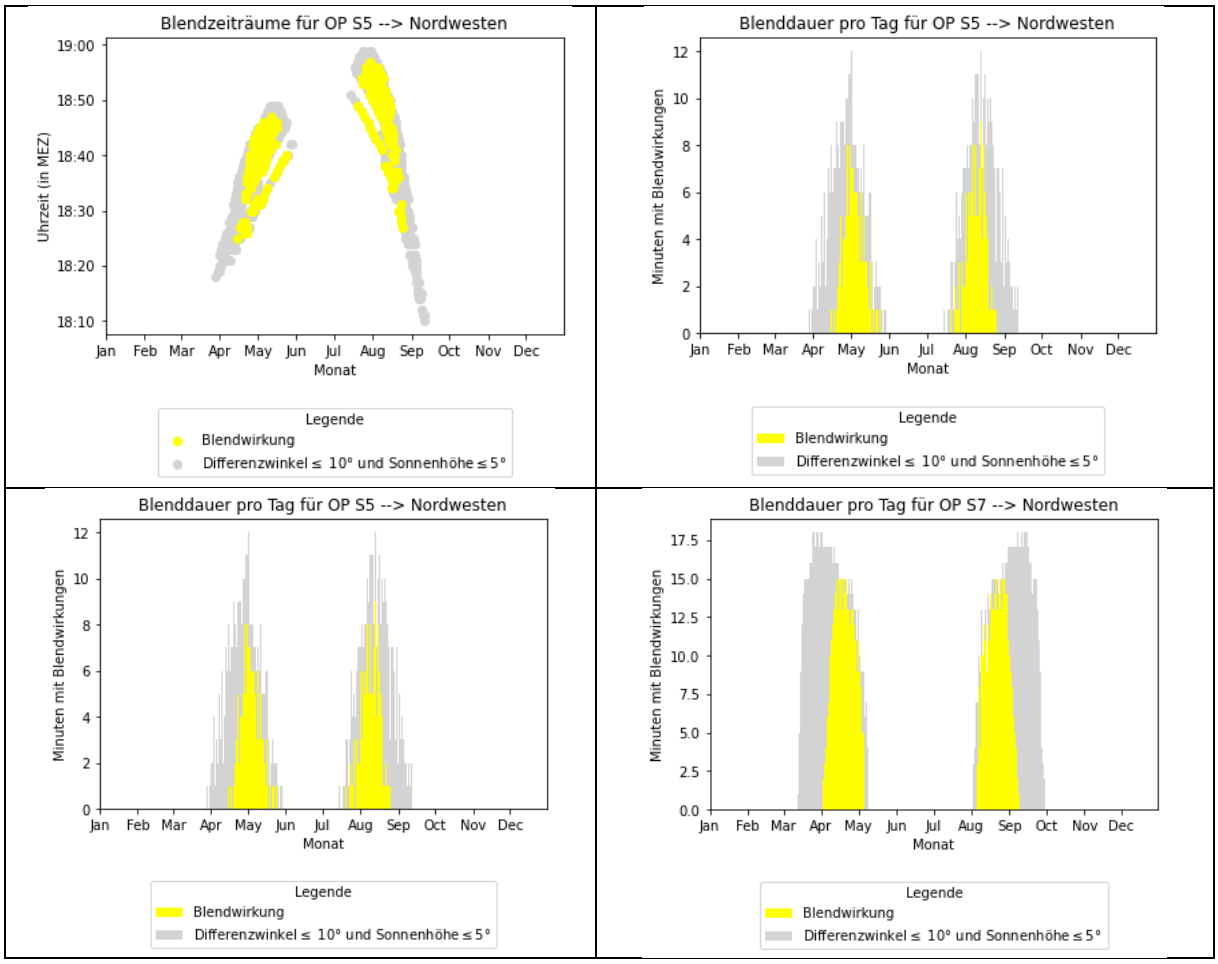
6.4 Ergebnisse

Vegetation und sonstige oberirdische Hindernisse wurden in diesem Schritt noch nicht berücksichtigt. Sofern relevant und anwendbar, werden entsprechende Gegebenheiten in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** einbezogen.

Tabelle 5: Übersicht der Simulationsergebnisse für die Observationspunkte auf den Verkehrswegen

Verkehrs-weg	OP	Fahrt-richtung	Min. Winkel zwischen Fahrtrichtung und Blendquelle (ca.)	Ausschließlich nicht erhebliche Reflexionen im relevanten Sichtfeld? (vgl. Kapitel 6.1)	Anmerkung
B 101	S1	Nordwesten	-	-	Keine Reflexionen
		Südosten	-	-	
	S2	Nordwesten	-	-	
		Südosten	-	-	
	S3	Nordwesten	> 90°	-	-
		Südosten	> 50°	-	-
	S4	Nordwesten	> 90°	-	-
		Südosten	> 50°	-	-
L 72	S5	Nordwesten	5°	-	Waldfläche blockiert die Sicht
		Südosten	> 90°	-	-
	S6	Nordwesten	-	-	Keine Reflexionen
		Südosten	-	-	
	S7	Nordwesten	5°	-	-
		Südosten	> 90°	-	-
	S8	Nordwesten	-	-	Keine Reflexionen
		Südosten	-	-	
LEGENDE					
Erhebliche Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld					
Keine erheblichen Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld					

Ergebnisdiagramme 1: Reflexionen zu den OP auf den Verkehrswegen



7 Blendwirkungen auf den Flugverkehr

7.1 Herleitung der Bewertungsmethodik bzgl. Blendwirkungen im Flugverkehr

7.1.1 Relevante Immissionsorte bzw. Situationen

Im Kontext des Flugverkehrs wurden bestimmte Immissionsorte bzw. Situationen in Bezug auf Blendwirkungen als relevant eingeordnet. Diese wurden basierend auf den „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design“ (CS-ADR-DSN) der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) als relevant eingestuft [9]:

- Der Pilot darf während des Anflugs, insbesondere nachdem das Flugzeug die Entscheidungshöhe[1] unterschritten hat, 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 (Flugrichtung = Verlaufsrichtung der Landebahn).

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 entsprechend des Verlaufs der Landebahn).
2. Blendwirkungen auf das Personal im Flugverkehrskontrollturm (falls vorhanden).
3. Blendwirkungen auf Piloten während des Rollens am Boden.

[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 ≤ 20.000 cd/m² vernachlässigt werden können [9]. In diesem Fall werden keine Blendwirkungen erwartet.

Eine Reflexion an einem marktüblichen Solarmodul überschreitet jedoch oft den Wert von 20.000 cd/m². 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/m² aufweist, trotzdem keine erhebliche 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 cd/m² 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 werden[3]:

(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 vorrübergehende 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.

[2] Für eine detaillierte Erklärung der Methodik wird auf die frei zugängliche Publikation von Ho et al. verwiesen: [10]
[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. [10]

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 ± 50° (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: [11]

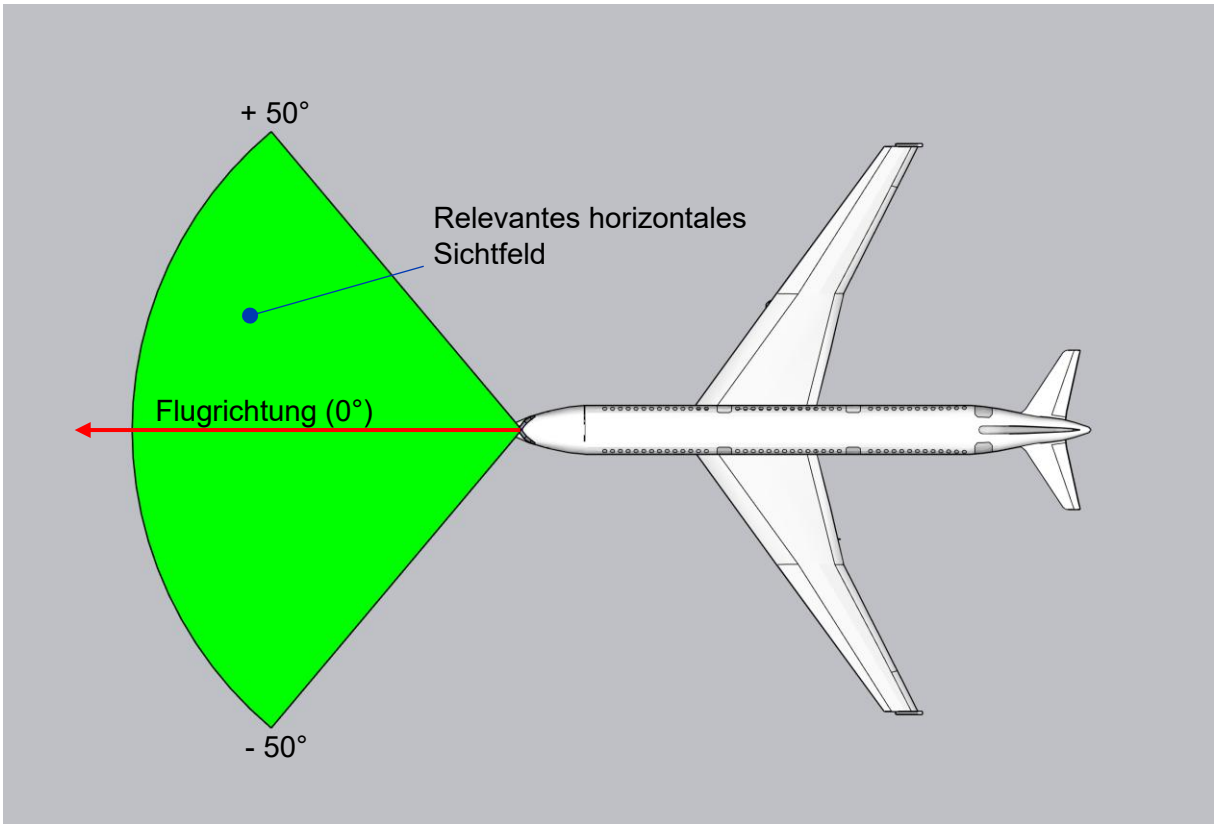


Abbildung 15: Darstellung des relevanten horizontalen Sichtfelds: Außerhalb von 50° zur Flugrichtung sind Reflexionen irrelevant. - Quelle Abbildung: Eigene Abbildung

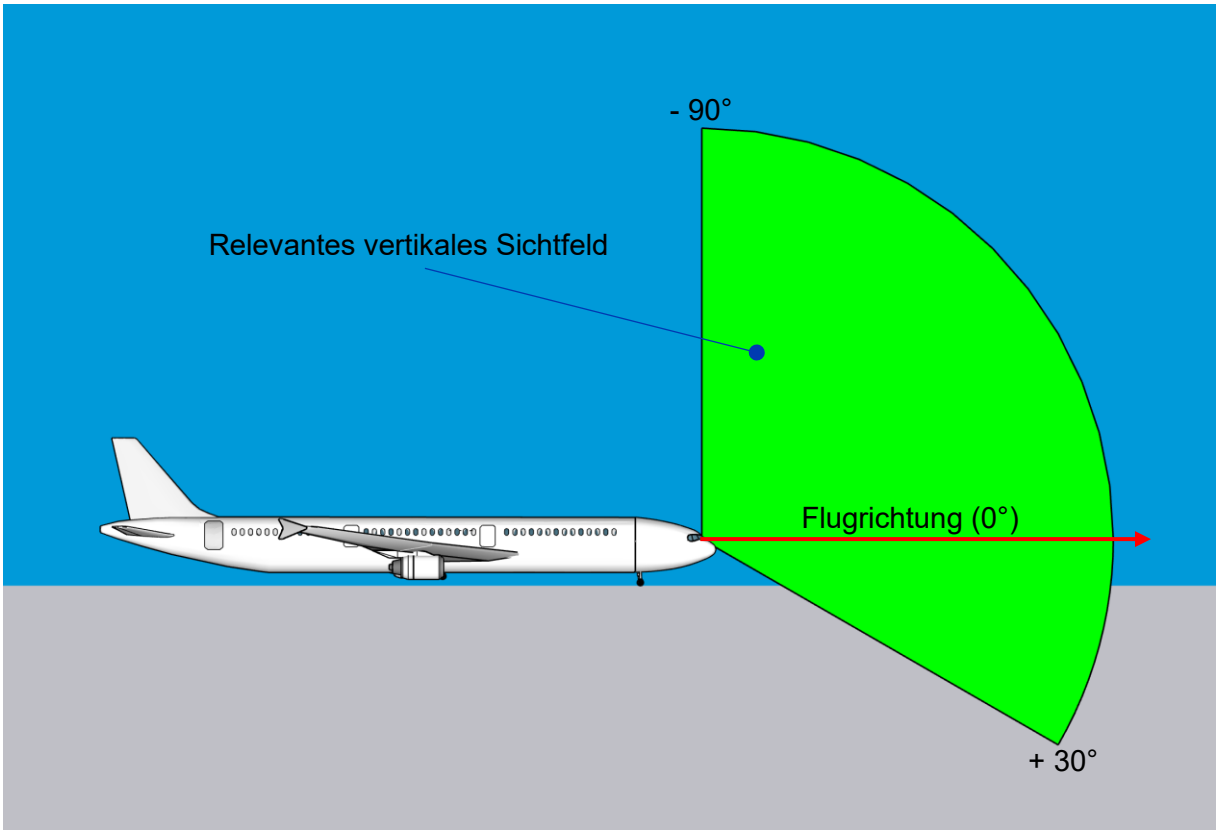


Abbildung 16: Darstellung des relevanten vertikalen Sichtfelds: Ab 30° gegen Boden ist dieses eingeschränkt. - Quelle Abbildung: Eigene Abbildung

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 [1] definiert.

7.1.5 Modellierung eines Anflugs

In der Simulation werden die Anflüge als gerade Anflüge auf die entsprechende Landebahn modelliert (Flugrichtung = Verlaufsrichtung der Landebahn). 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°, 5° und 7° 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 (ggf.) Bezug genommen wird.

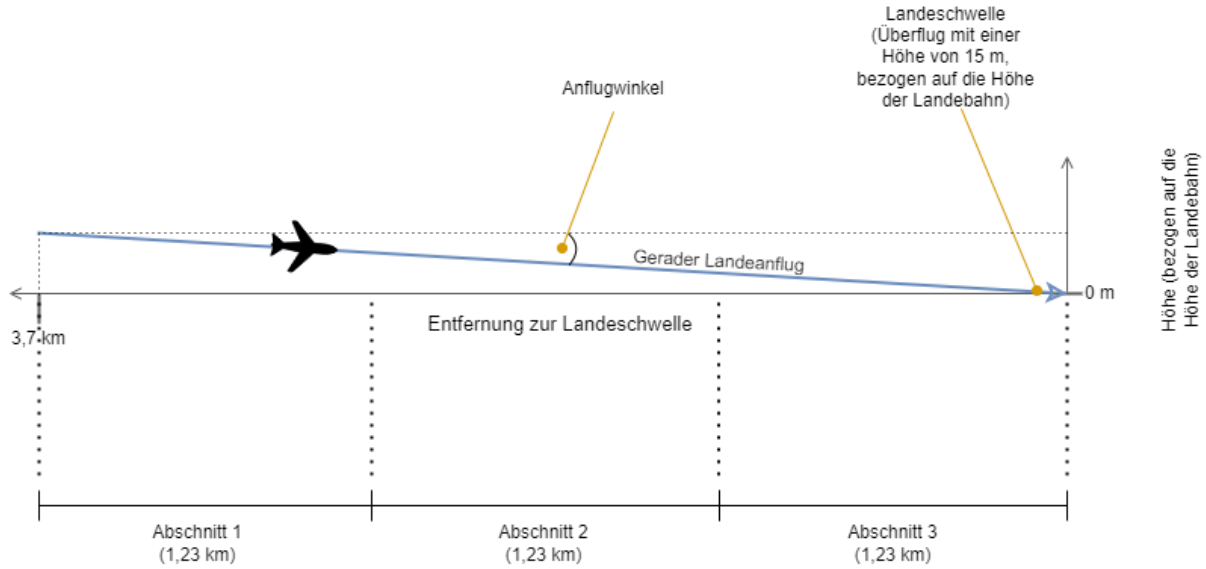


Abbildung 17: Skizze eines modellierten/simulierten Anflugs

7.2 Bewertungsmethodik als Entscheidungsbäume

Auf Basis der in Kapitel 7.1 dargestellten Informationen/Herleitungen wurde eine umfassende Bewertungsmethodik erstellt, die sich in zwei Kategorien einteilen lässt:

- Blendwirkungen auf Piloten (bei Anflügen und beim Rollen am Boden)
- 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. 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 ≤ 20.000 cd/m² beträgt, findet keine relevante Blendwirkung statt. Wenn sie > 20.000 cd/m² beträgt, wird die Methodik von Ho et al. angewendet. Fällt die Blendwirkung in die dritte (3) Kategorie (schwächere Blendwirkung, nach Ho et al.), 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 moderate Blendwirkung erwartet, wenn nein, wird eine stärkere Blendwirkung erwartet.

Erklärung der Ergebniskategorien:

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

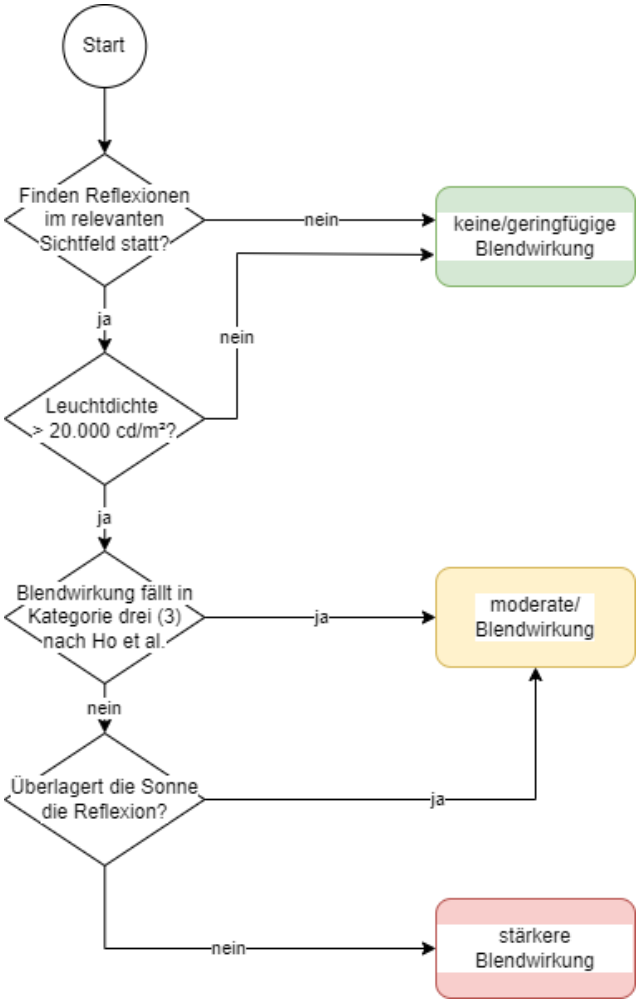


Abbildung 18: Bewertungsmethodik als Entscheidungsbaum für PVA-bedingte Blendwirkungen auf Piloten während eines Landeanflugs oder beim Rollen am Boden

7.2.2 Blendwirkungen auf das Personal im Flugverkehrskontrollturm

Der folgende Entscheidungsbaum dient der Bewertung (qualitative Einordnung) von PVA-bedingten Reflexionen auf Fluglotsen im Flugverkehrskontrollturm. Zunächst wird geprüft, ob Reflexionen den Arbeitsbereich des Flugverkehrskontrollturms erreichen können. Falls dies nicht der Fall ist, entsteht keine Beeinträchtigung (keine Blendwirkung). 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 Start- und 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.

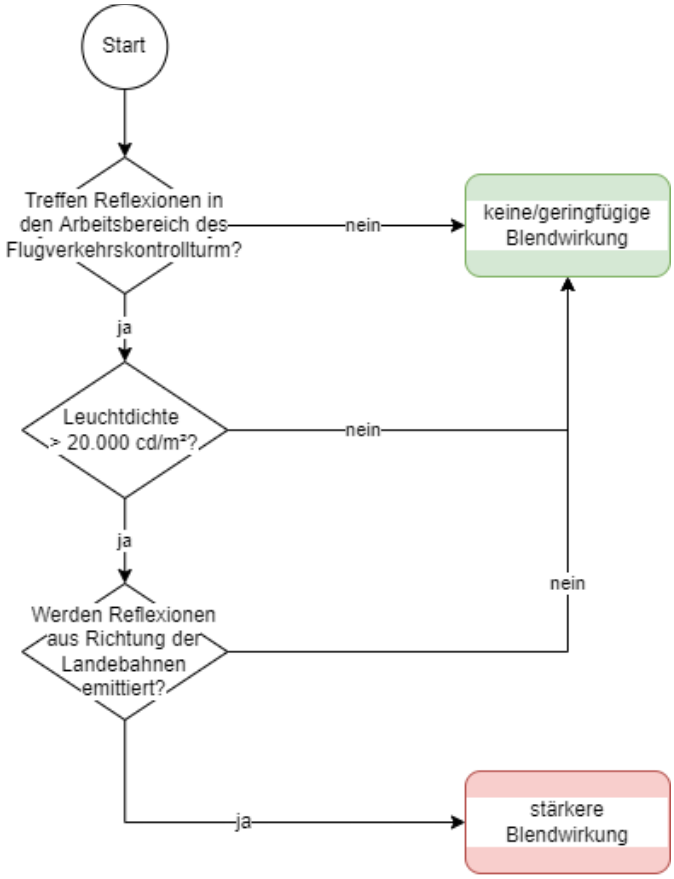


Abbildung 19: Bewertungsmethodik als Entscheidungsbaum für PVA-bedingte Blendwirkungen auf Fluglotsen im Flugverkehrskontrollturm

7.3 Fliegerhorst Holzdorf

Der Fliegerhorst Holzdorf (ICAO-Code: ETSH) liegt auf der sachsen-anhaltisch-brandenburgischen Landesgrenze, östlich von Jessen in Sachsen-Anhalt und nördlich von Herzberg in Brandenburg. Der Militärflugplatz verfügt über eine Start- und Landebahn. Landungen erfolgen aus westlicher Richtung auf RWY 09 und aus östlicher Richtung auf RWY 27.

Neben den linearen Anflügen werden auch die Rollbahn sowie die Arbeitsbereiche der Flugverkehrskontrolltürme auf potenzielle Blendwirkungen untersucht.

Anflugrichtungen:

RWY 09: 93°

RWY 27: 273°

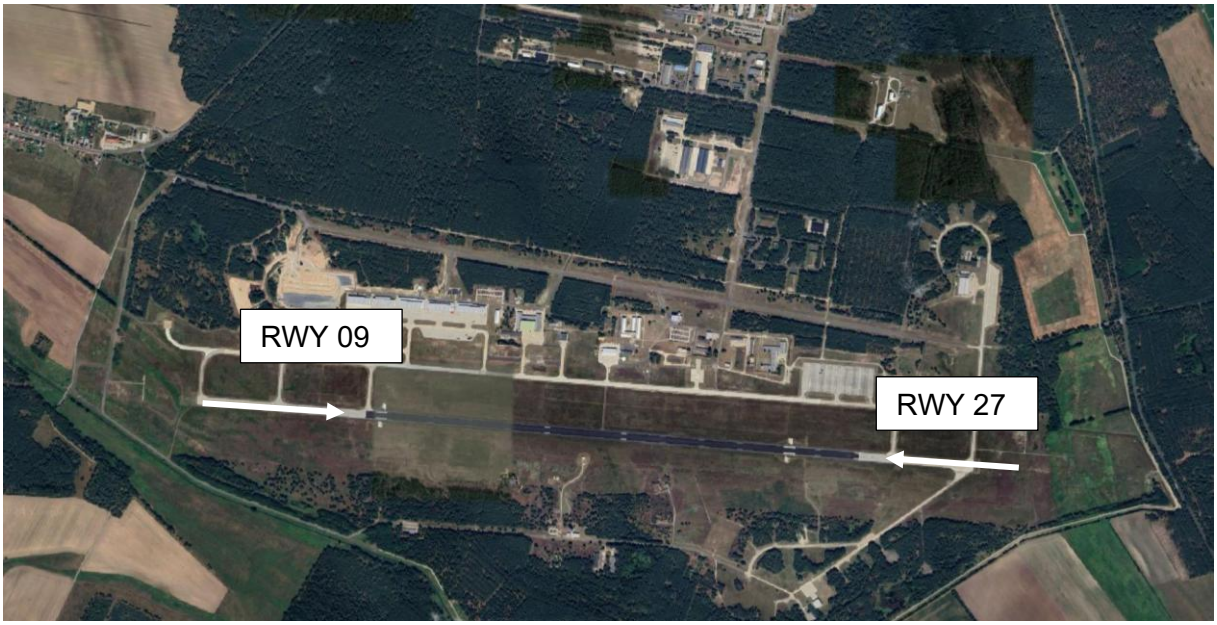


Abbildung 20: Übersicht der Landebahnen - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

7.4 Position PVA und Flughafen

Die geplante PVA befindet sich rund 7,2 km nördlich der Start- und Landebahn.



Abbildung 21: Position PVA und Flugplatz - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

7.5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Auswertung hinsichtlich möglicher Blendwirkungen dargestellt.

Alle Zeitangaben (sofern aufgeführt) erfolgen in der Mitteleuropäischen Normalzeit (MEZ), die der deutschen Winterzeit entspricht.

Hinweis: Um die dargelegten Auswertungen nachvollziehen zu können, wird empfohlen, Kapitel 3 und 4 zu berücksichtigen.

7.5.1 Anflüge

Tabelle 6: Ergebnistabelle für die Reflexionen in das relevante Sichtfeld von Piloten während der Anflüge (letzten zwei Seemeilen)

Landeanflug auf RWY…	Anflug-winkel	Betroffener Landeanflug-abschnitt (s. Kapitel 3.5)	Leuchtdichte > 20.000 cd/m²?	Blend-wirkungen fallen in Kategorie drei (3) nach Ho et al.?	Überlagert die Sonne die Reflexion?	Blendwirkung
09	3°	keiner	-	-	-	Keine Blendwirkung (keine Reflexionen)
27	3°	keiner	-	-	-	
09	5°	keiner	-	-	-	
27	5°	keiner	-	-	-	
09	7°	keiner	-	-	-	
27	7°	keiner	-	-	-	

Erklärung der Ergebniskategorien:

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

Erklärung:
Es konnten keine Reflexionen der Photovoltaikanlage festgestellt werden, die während des 2-Seemeilen-Anflugs in das Cockpit (relevantes Sichtfeld) gelangen könnten.

7.5.2 Flugverkehrskontrollturm (Tower)

Tabelle 7: Ergebnistabelle für die Blendwirkungen auf den Tower

Treten Reflexionen in der Arbeitskabine des Towers auf?	Leuchtdichte > 20.000 cd/m²?	Werden die Reflexionen aus Richtung der Start- und Landebahnen emittiert?	Blendwirkung
nein	-	-	Keine Blendwirkungen (keine Reflexionen)

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.

Erklärung:
Aufgrund der Entfernung der Photovoltaikanlage von rund 7,2 km können jegliche Beeinträchtigungen in Bodennähe ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist eine nach Süden ausgerichtete PVA konstruktionsbedingt nicht in der Lage, Reflexionen nach Süden zu verursachen.

7.5.3 Rollen am Boden

Tabelle 8: Ergebnistabelle für die Reflexionen in das relevante Sichtfeld von Piloten während des Rollens am Boden

Lande- und Startbahnen inkl. Verbindungswege	Leuchtdichte > 20.000 cd/m²?	Blend-wirkungen fallen in Kategorie drei (3) nach Ho et al.?	Überlagert die Sonne die Reflexion?	Blendwirkung
alle	-	-	-	Keine Blendwirkungen (keine Reflexionen)

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.

Erklärung:
Aufgrund der Entfernung der Photovoltaikanlage von rund 7,2 km können jegliche Beeinträchtigungen in Bodennähe ausgeschlossen werden. Darüber hinaus ist eine nach Süden ausgerichtete PVA konstruktionsbedingt nicht in der Lage, Reflexionen nach Süden zu verursachen.

8 Diskussion der Ergebnisse

8.1 Gebäude

Im relevanten Umfeld der Photovoltaikanlage (Radius 100 m) befinden sich keine schutzwürdigen Gebäude. Erhebliche Belästigungen in schutzwürdigen Räumen können daher ausgeschlossen werden. Die nächstgelegenen schutzwürdigen Nutzungen befinden sich im Siedlungsgebiet von Stolzenhain in einer Entfernung von etwa 730 m nordwestlich der PV-Fläche. Aufgrund der weitgehend ebenen Topografie sowie der Einhaltung der im LAI-Leitfaden empfohlenen Abstände sind erhebliche Blendwirkungen nicht zu erwarten. Zusätzlich wird die Photovoltaikanlage in Richtung der Wohnbebauung durch vorhandene Waldflächen abgeschirmt.

8.2 Verkehrswege

Im Umfeld der Photovoltaikanlage wurde die Bundesstraße B 101 und die Landesstraße L 72 als relevante Verkehrswege identifiziert und entsprechend geprüft.

8.2.1 Bundesstraße B 101

Fahrzeugführer auf der Bundesstraße B 101 können keine Blendwirkungen im relevanten Sichtfeld (±30°, bezogen auf die Fahrtrichtung erfahren. Somit können erhebliche Blendwirkungen ausgeschlossen werden.

8.2.2 Landesstraße L 72

Für Fahrzeugführer auf der L 72 können bei Fahrtrichtung Nordwesten Blendwirkungen innerhalb des relevanten Sichtfeldes auftreten. Erhebliche Beeinträchtigungen können daher nicht pauschal ausgeschlossen werden. Ursache hierfür ist insbesondere der Streckenabschnitt durch die vorgelagerte Waldfläche, in dem die Umgebungshelligkeit gegenüber dem offenen Gelände deutlich reduziert ist. Die Augen der Verkehrsteilnehmer passen sich an die geringeren Helligkeitsverhältnisse an, wodurch Reflexionen der PV-Module beim anschließenden Austritt aus dem Waldbereich als besonders intensiv wahrgenommen werden können.

Die Sichtlinie auf die Photovoltaikanlage wird jedoch bereits weitgehend durch die beiden von der Fahrbahn abgewandten Modulsonderreihen sowie der Waldfläche im Osten unterbrochen.

Jedoch müssen die Sondermodultische im Norden eine Mindesthöhe von 3 m aufweisen, um die Sichtlinie wirksam zu unterbrechen.

Ergänzend wird empfohlen, entlang eines Teilabschnitts der nordöstlichen Anlagengrenze einen zusätzlichen Sichtschutz mit einer Höhe von 3 m vorzusehen. Wird dieser in Form eines erhöhten Anlagenzauns mit Sichtschutzblenden ausgeführt, kann der untere Bereich bis zu einer Höhe von etwa 1 m offen gestaltet werden, um die Windlast zu reduzieren. Der zusätzliche Sichtschutz sollte im Nordosten beginnen und sich über eine Länge von etwa 40 m in südlicher Richtung erstrecken.

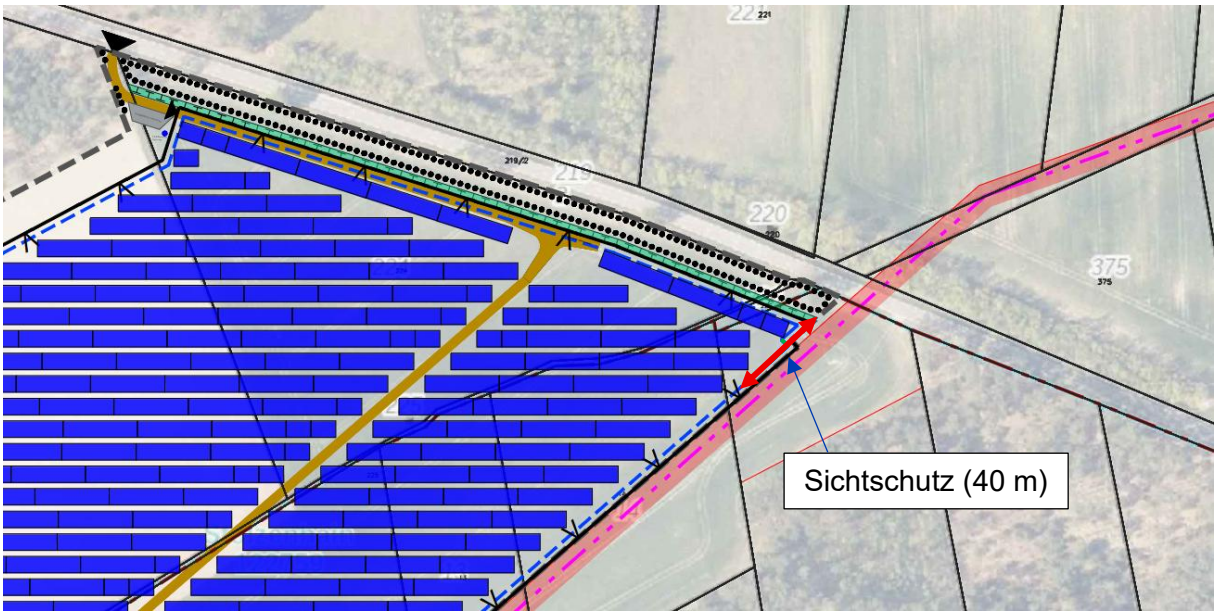


Abbildung 22: Position Sichtschutz (Skizze)

8.3 Flugverkehr

Rund 7,2 km südlich der Photovoltaikanlage befindet sich der Fliegerhorst Holzdorf. Im Rahmen der Untersuchung wurde geprüft, ob bei Landeanflügen potenziell störende Blendwirkungen auftreten könnten. Untersucht wurde der letzte lineare Anflug über eine Distanz von mehr als 2 Seemeilen bis zur Landeschwelle, jeweils für beide Anflugrichtungen. Zudem wurden verschiedene Anflugwinkel (Sinkwinkel) von 3°, 5° und 7° berücksichtigt.

Die Auswertung ergab, dass keine Reflexionen in das relevante Sichtfeld der Piloten gelangen. Aufgrund der Entfernung und der Position des Flugplatzes zur PVA werden auch keine Reflexionen in Bodennähe oder auf dem Gelände des Flugplatzes erwartet.

Gemäß der angewandten Auswertungsmethodik wird die PVA keine Beeinträchtigungen auf den Flugverkehr (Flugzeuge, Fliegerhorst Holzdorf) verursachen.

9 Literaturverzeichnis

[1] 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

[2] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.

[3] Volker Quaschning, *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] Fernstraßen-Bundesamt, „FBA Eckpunktepapier Photovoltaik“. November 2025. Zugegriffen: 12. November 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.fba.bund.de/DE/Themen/Anbaurecht_Paragraph9_FStrG/Dokumente/20251106_Eckpunktepapier_Photovoltaik.pdf?__blob=publicationFile&v=2

[7] Österreichischer Verband für Elektrotechnik (OVE), „Blendung durch Photovoltaikanlagen - OVE-Richtlinie R 11-3“. 2016.

[8] 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.

Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY — Sandia National Laboratories

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.

5 | Page

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