



SONNWINN GmbH

Unabhängige Experten für Photovoltaik und Stromspeicher

BLENDGUTACHTEN

SOLARPARK JESSNIGK WEST 2
SONDERBETRACHTUNG FLUGVERKEHR
HUBSCHRAUBERFLÜGE

VERSION 1.1

09.07.2026

Bearbeitet:

Sachverständiger für Photovoltaik
Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Geprüft:

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

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

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	27.05.2026	Dr.-Ing. Stefan Bofinger
1.1	Abgleich der Maßnahmen mit dem Blendgutachten für Straßenverkehr	09.07.2026	Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Das Gutachten ist nur in seiner aktuellen Fassung gültig.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	4
1.3	Datengrundlage	4
2	Anlagenbeschreibung	5
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	8
4	Grundlagen	10
4.1	Blendwirkung von Modulen	10
4.2	Berechnung von Reflexionen	12
4.3	Verwendete Software, Annahmen und Limitationen	12
5	Blendwirkungen auf beliebige Flugpfade in einem Höhenbereich von 1 m bis 1000 m über Grund	13
5.1	Auswertungsmethodik	13
5.2	Zylinder	15
5.3	Modulcharakteristik und Definition der blendarmen Variante	15
5.4	Grenzwerte	17
5.5	Ergebnisse	22
5.6	Vergleich marktüblicher und blendarmer Module	29
6	Diskussion der Ergebnisse	32
6.1	Gutachterliche Einordnung der untersuchten Varianten	34
6.2	Abwägung und Zuständigkeit der flugbetrieblichen Bewertung	35
6.3	Empfehlung aus gutachterlicher Sicht	36
6.4	Schlussfolgerung	37
6.5	Verhältnis zum bestehenden Blendgutachten für Straßenverkehr	38
7	Literaturverzeichnis	39
8	Anhang	40
8.1	V1 - Ausgangsvariante 161° / 15°	41
8.2	V3 - Einfluss des Anlagenazimuts – 180° / 15°	43
8.3	V6 – Blendarm 161° / 15°	44
8.4	V7 – Blendarm 180° / 15°	46

1 Einleitung

Die SONNWINN GmbH wurde beauftragt, die möglichen Blendwirkungen folgender Photovoltaikanlage (PVA) zu untersuchen und zu bewerten:

Tabelle 1: Projektübersicht

Auftraggeber	ASG Anhalt Solar GmbH
Projektname	Solarpark Jeßnigk West 2
Adresse PVA	Jeßnigk
Stand der Projektierung	☐ Bestand ☐ Im Bau ☒ Planung

Im Fokus der Untersuchung stehen mögliche Blendwirkungen auf militärische Hubschrauberbewegungen im Umfeld des Flugplatzes Fliegerhorst Holzdorf. Die Untersuchung erfolgt auf Grundlage der seitens des Auftraggebers vorgegebenen Anlagenkonfiguration sowie ergänzender Sensitivitätsvarianten.

Die Analyse betrachtet insbesondere mögliche Blendwirkungen in tiefflugrelevanten Höhenbereichen. Hierzu werden potenzielle Reflexionen in unterschiedlichen Höhen und Richtungen systematisch untersucht und hinsichtlich ihrer räumlichen Verteilung, Intensität sowie zeitlichen Ausprägung bewertet.

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten Photovoltaikanlage Sonnenlicht in einer Weise reflektieren, dass im Zusammenhang mit militärischen Hubschrauberbewegungen potenziell relevante Blendwirkungen auftreten können.

Dieses Gutachten dient der Klärung dieser Fragestellung. Es untersucht, ob und mit welcher Häufigkeit potenziell beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können.

Einleitend ist festzuhalten, dass seitens der Bundeswehr eine spezifische Fragestellung formuliert wurde, die über eine klassische Blendbewertung hinausgeht. Ziel ist es, potenzielle Blendwirkungen in Abhängigkeit von räumlicher Position, Flughöhe und Flugrichtung systematisch zu erfassen und darzustellen. Hintergrund sind militärische Hubschrauberbewegungen, die grundsätzlich aus unterschiedlichen Richtungen sowie in variierenden Höhen über den untersuchten Flächen stattfinden können.

Zu diesem Zweck wurde ein methodischer Ansatz gewählt, der eine flächenhafte sowie höhenabhängige Analyse potenzieller Beobachtungspunkte im Luftraum ermöglicht.

Die vorliegenden Ergebnisse bilden somit eine Grundlage, um Blendwirkungen nicht nur statisch darzustellen, sondern auch hinsichtlich ihres zeitlichen Verlaufs sowie ihrer räumlichen Verteilung im Luftraum differenziert zu analysieren.

Da keine vollständigen Informationen zu konkreten Manöverflügen, taktischen Flugprofilen, regelmäßig genutzten Flugwegen oder besonderen flugbetrieblichen Anforderungen der Bundeswehr vorliegen, stellt dieses Gutachten die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge und die Variantenwirkungen dar. Die abschließende flugbetriebliche Bewertung, welche der untersuchten Varianten im konkreten militärischen Betrieb tragbar ist, bleibt der zuständigen Fachstelle der Bundeswehr vorbehalten.

Für den Standort Jeßnigk West 2 liegt bereits ein separates Blendgutachten vom 02.12.2024 vor. Dieses Gutachten bewertet mögliche Blendwirkungen auf schutzwürdige Räume, Verkehrswege und den Flugverkehr. Für die straßenverkehrliche Bewertung wurde insbesondere die Landesstraße L 72 untersucht. Das vorliegende Gutachten ersetzt diese straßenverkehrliche Bewertung nicht, sondern ergänzt sie um eine gesonderte Betrachtung

möglicher Blendwirkungen auf tiefflugrelevante Hubschrauberbewegungen im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf.

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)	Landesamt für Vermessung und Geoinformation Sachsen-Anhalt
Anlagenleistung, Modulanzahl, Modulneigung und Systemgeometrie	Auftraggeber
Lage der PV-Flächen	Auftraggeber / Kartengrundlage
Positionen der zylindrischen Beobachtungsräume	Eigene Festlegung auf Grundlage der PV-Flächen
Reflexionscharakteristik marktüblicher Module	Referenzdaten nach Abbildung 8
Reflexionscharakteristik blendarmer Module	Referenzdaten nach Abbildung 8
Bestehendes Blendgutachten Jeßnigk West 2 für Gebäude, Verkehrswege und Flugverkehr	SONNWINN, Blendgutachten PVA Jessnigk West 2, Projekt-ID BGA-573, Version 1.0, 02.12.2024

2 Anlagenbeschreibung

Die ursprüngliche Planung (die Analyse wurde um alternative Ausrichtungen ergänzt) sieht eine fest aufgeständerte Freiflächenanlage mit einer Modulneigung von 15° vor. Die Anlagenleistung beträgt nach Angaben des Auftraggebers ca. 11,7 MWp bei ca. 18.000 Modulen und einer Gesamtfläche von ca. 8,8 ha.

Die Hauptuntersuchung erfolgt auf Grundlage der seitens des Auftraggebers vorgesehenen Anlagenkonfiguration mit einem Anlagenazimut von ca. 161°. Ergänzend wurden Sensitivitätsvarianten untersucht, um den Einfluss der Anlagengeometrie auf mögliche Blendwirkungen systematisch zu bewerten.

Untersucht wurden insbesondere:

- die projektierte Anlagenkonfiguration mit einem Azimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15°,
- eine Variante mit einer Modulneigung von 22°,
- eine reine Südausrichtung mit einem Azimut von 180° als geometrischer Referenzfall mit 15° und 22° Modulneigung,
- Ost-West-Anlagenkonfigurationen,
- sowie Varianten mit blendarmen Modulen.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit werden die untersuchten Varianten im Folgenden einheitlich bezeichnet:

Tabelle 3: Untersuchte Anlagenvarianten

Variante	Ausrichtung	Modulneigung	Modultyp	Zweck der Variante
V1	161°	15°	Standard	ursprüngliche Planung / Ausgangsvariante
V2	161°	22°	Standard	Sensitivitätsvariante Modulneigung
V3	180°	15°	Standard	Sensitivitätsvariante Modulazimut
V4	180°	22°	Standard	Sensitivitätsvariante Südausrichtung mit erhöhter Neigung
V5	Ost-West	15°	Standard	Sensitivitätsvariante Anlagenkonzept
V6	161°	15°	blendarm	Minderungsvariante projektierte Ausrichtung
V7	180°	15°	blendarm	kombinierte Minderungsvariante Südausrichtung und blendarmes Modul

Die weitere Ergebnisdarstellung orientiert sich an dieser Variantenbezeichnung. Dadurch wird der Einfluss von Ausrichtung, Modulneigung, Anlagenkonzept und Modulcharakteristik getrennt nachvollziehbar.

Die Südausrichtung dient hierbei insbesondere als Referenzfall zur Bewertung des Einflusses des projektierten Anlagenazimuts auf die räumliche Verteilung möglicher Blendwirkungen.

Tabelle 4: Relevante Anlagenparameter

Parameter	Angabe/Wert
Projektname	PVA Jeßnigk West 2
Art der Anlage	Freiflächenanlage
Modultyp	Si-kristallines Modul mit Antireflexbeschichtung; Sensitivitätsvarianten mit blendarmem Modul
Aufständering	Fest aufgeständert
Nennleistung DC	ca. 11,7 MWp
Modulanzahl	ca. 18.000 Stück
Gesamtfläche	ca. 8,8 ha
Anlagenazimut	ca. 161°
Modulneigung	15°



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

Zur Bewertung der Blendwirkungen wurden konzentrische Zylinder um die PV-Fläche definiert. Auf diesen Zylindern wurden Beobachtungspunkte in unterschiedlichen Azimutrichtungen und Höhen platziert.



Abbildung 2: Zylindrische Beobachtungspunkte um die PV-Fläche –
Hintergrund: Google Earth Pro



Abbildung 3: Mustersystemschnitt der geplanten Aufständigung – Quelle: Auftraggeber

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Untersuchung analysiert potenzielle Blendwirkungen der geplanten Photovoltaikanlage Jeßnigk West 2 auf militärische Hubschrauberbewegungen im Tiefflug.

Die Ergebnisse zeigen, dass Blendwirkungen grundsätzlich auftreten können. Aufgrund der Lage im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf ist eine vorsorgliche Betrachtung möglicher Blendwirkungen auf tiefflugrelevante Hubschrauberbewegungen sinnvoll. Gegenüber unmittelbar flugplatznahen Anlagen ist die Bewertung jedoch stärker von den tatsächlich genutzten Flugwegen, Flughöhen und Manöverbereichen abhängig.

Für die vorliegende Bewertung wird eine berechnete externe Reflexionsleuchtdichte von weniger als 50.000 cd/m² als unkritisch eingeordnet. Werte zwischen 50.000 cd/m² und 100.000 cd/m² stellen einen Ermessensbereich dar. Werte oberhalb von 100.000 cd/m² sind im konkreten flugbetrieblichen Kontext als kritisch beziehungsweise als Bereich erhöhter Relevanz zu bewerten.

Für die Ausgangsvariante mit einem Anlagenazimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15° werden in den Zylinder-Auswertungen deutliche Bereiche erhöhter Reflexionsleuchtdichten ermittelt. Die betroffenen Bereiche treten nicht gleichmäßig um die Anlage auf, sondern konzentrieren sich auf bestimmte Azimutbereiche. Im tiefflugrelevanten Höhenbereich bis 50 m über Grund sind insbesondere seitliche Richtungsbereiche betroffen, während ein zentraler Azimutbereich deutlich geringere Leuchtdichten aufweist.

Die Auswertung der Dauer oberhalb von 100.000 cd/m² zeigt, dass die zeitlich relevanten Schwellenüberschreitungen ebenfalls räumlich konzentriert auftreten. Die Überschreitungen betreffen damit nicht den gesamten untersuchten Luftraum, sondern klar abgrenzbare Richtungsbereiche.

Im vorliegenden Fall liegen die stärksten Blendbereiche im tiefflugrelevanten Höhenbereich von 0 bis 50 m insbesondere in einem Azimutbereich von etwa 30° bis 140° (0° = Nord, 180° = Süd). Dieser Bereich liegt in Richtung des Ortes Jeßnigk. Sofern über dem Ort Jeßnigk keine tiefflugrelevanten Hubschrauberbewegungen stattfinden, wären diese Blendbereiche flugbetrieblich voraussichtlich weniger relevant. Ohne Kenntnis der konkreten Flugwege und Manöverbereiche kann diese Einordnung jedoch nicht abschließend bewertet werden.

Die Erhöhung der Modulneigung von 15° auf 22° verändert die räumliche und vertikale Lage der Blendbereiche, führt jedoch nicht zu einer grundsätzlichen Vermeidung hoher Leuchtdichten. Eine größere Modulneigung ist daher nicht als alleinige Minderungsmaßnahme geeignet.

Der Vergleich zwischen der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° und einer reinen Südausrichtung mit 180° zeigt, dass der Anlagenazimut die Lage der Blendbereiche deutlich beeinflusst. Die Südausrichtung verändert die räumliche Verteilung der Blendwirkungen, vermeidet bei Verwendung marktüblicher Standardmodule jedoch keine relevanten Leuchtdichten. Sie ist daher bei Jeßnigk West 2 nicht als vollständige Minderungsmaßnahme zu bewerten.

Die Ost-West-Variante zeigt im unteren Höhenbereich eine sehr breite Betroffenheit über große Teile des Azimutbereichs. In dieser Variante treten großflächig hohe bis sehr hohe Reflexionsleuchtdichten auf. Die Ost-West-Variante ist daher im vorliegenden Kontext nicht als Minderungsvariante zu bewerten.

Die untersuchten blendarmen Module reduzieren die auftretenden Leuchtdichten deutlich. Bei der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° werden keine Werte oberhalb von 50.000 cd/m² ermittelt. Auch bei der reinen Südausrichtung mit blendarmen Modulen werden keine Werte

oberhalb von 50.000 cd/m² ermittelt. Beide blendarmen Varianten liegen damit vollständig im unkritischen Bereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes.

Bei der reinen Südausrichtung mit blendarmen Modulen werden keine Werte oberhalb von 50.000 cd/m² ermittelt. Diese Variante liegt damit vollständig im unkritischen Bereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes und stellt innerhalb der untersuchten Konfigurationen die wirksamste Minderungsvariante dar.

Für die straßenverkehrliche Bewertung liegt bereits ein separates Blendgutachten für Jeßnigk West 2 vom 02.12.2024 vor. Dieses Gutachten kommt für die Landesstraße L 72 zu dem Ergebnis, dass dort, wo Reflexionen innerhalb des für den Straßenverkehr relevanten Sichtfeldes von $\pm 30^\circ$ zur Fahrtrichtung auftreten könnten, die Sicht auf die PVA durch Gebäude abgeschirmt wird. Zusätzliche Maßnahmen für den Straßenverkehr wurden daher nicht als erforderlich bewertet.

Diese Bewertung bezieht sich auf die damalige Anlagenkonfiguration mit einem Anlagenazimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15° . Für diese Konfiguration bleibt das bestehende Straßengutachten weiterhin die maßgebliche Grundlage der straßenverkehrlichen Bewertung.

Bei einer Drehung der Module in Richtung Osten kann sich die straßenverkehrlich relevante Reflexionsgeometrie ungünstig verändern. Eine solche Variante könnte daher zu einer Erhöhung möglicher Blendwirkungen auf die Straße führen und wäre straßenverkehrlich gesondert zu prüfen. Eine Drehung in Richtung Westen wirkt demgegenüber tendenziell mindernd auf die Blendwirkung in Richtung der untersuchten Straße, solange die Drehung nicht so weit erfolgt, dass sich die Reflexionsgeometrie grundlegend umkehrt. Bei westlicher Drehung bis deutlich unter 90° ist daher aus gutachterlicher Sicht keine Verschlechterung der straßenverkehrlichen Bewertung zu erwarten.

Die in diesem Gutachten betrachteten blendarmen Varianten reduzieren die Reflexionsleuchtdichten deutlich und führen daher nicht zu einer Erhöhung der straßenverkehrlich relevanten Blendwirkung. Für diese Varianten ist eine Neuerstellung des bestehenden Straßengutachtens aus gutachterlicher Sicht nicht erforderlich. Für abweichende Standardvarianten, insbesondere eine deutliche Drehung in Richtung Osten oder Varianten mit erhöhter Modulneigung, sollte die Übertragbarkeit des bestehenden Straßengutachtens dagegen geprüft werden.

Für die flugbetriebliche Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die Berechnungen auf einer konservativen Worst-Case-Betrachtung bei dauerhaft klarem Himmel basieren. Zudem erfolgt die Betrachtung geometrisch und unabhängig von konkreten Flugprofilen. Die tatsächliche Exposition im Flugbetrieb ist daher voraussichtlich geringer als in der konservativen Modellbetrachtung.

Da keine vollständigen Informationen zu konkreten Manöverflügen, taktischen Flugprofilen, regelmäßig genutzten Flugwegen oder besonderen flugbetrieblichen Anforderungen der Bundeswehr vorliegen, kann die abschließende flugbetriebliche Bewertung nicht durch das vorliegende Gutachten ersetzt werden. Das Gutachten stellt die relevanten physikalisch-geometrischen Zusammenhänge, Variantenwirkungen und Minderungsmöglichkeiten dar. Die Bewertung, welche Variante im konkreten militärischen Flugbetrieb tragbar ist, bleibt der zuständigen Fachstelle der Bundeswehr vorbehalten.

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 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 [2], müssen demnach Einfallswinkel berücksichtigt werden.

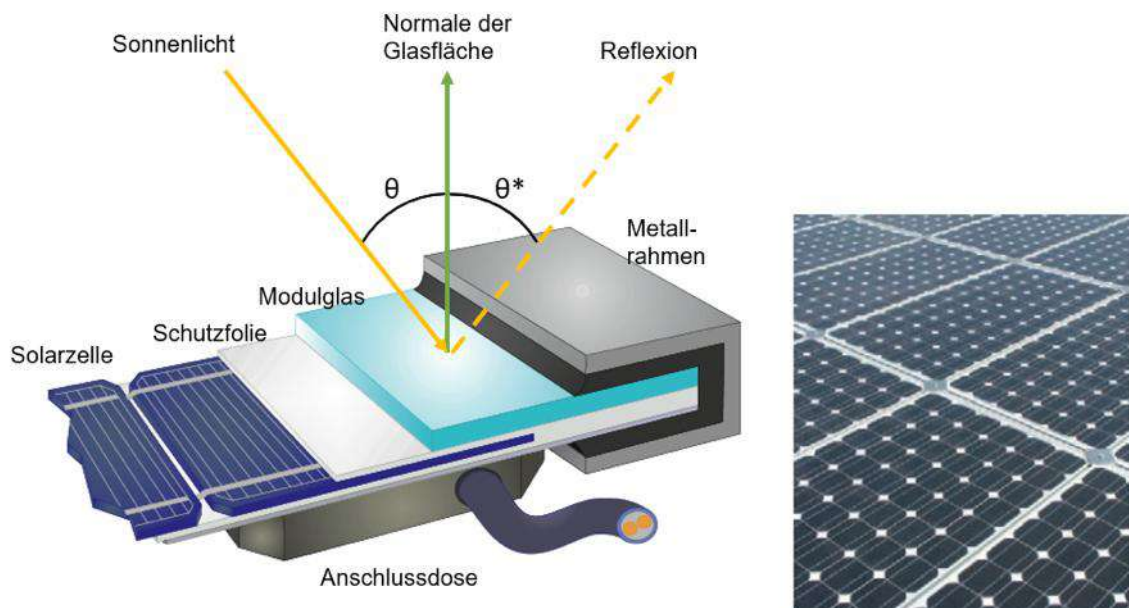


Abbildung 4: Aufbau eines PV-Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“
- Quelle: [3] (modifiziert)

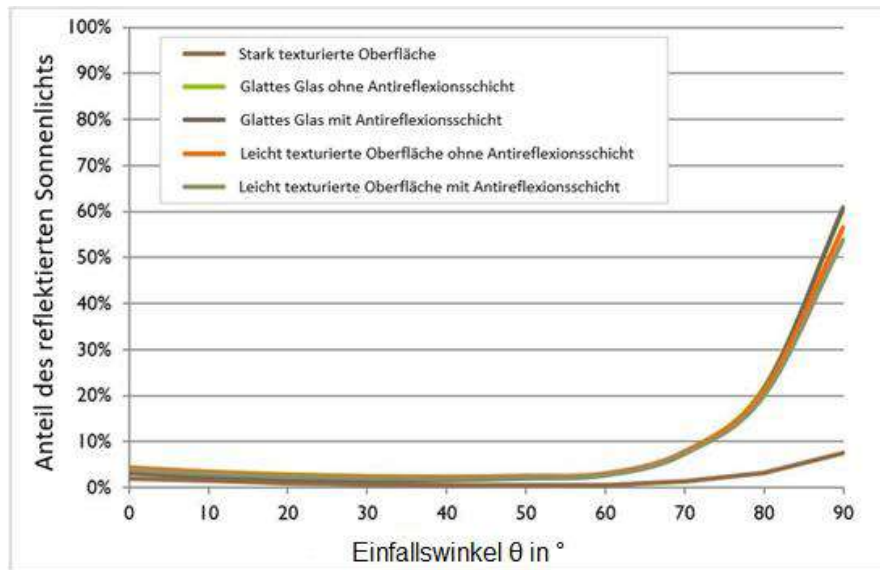


Abbildung 5: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einfallswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen - Quelle: [4], modifiziert

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 [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].

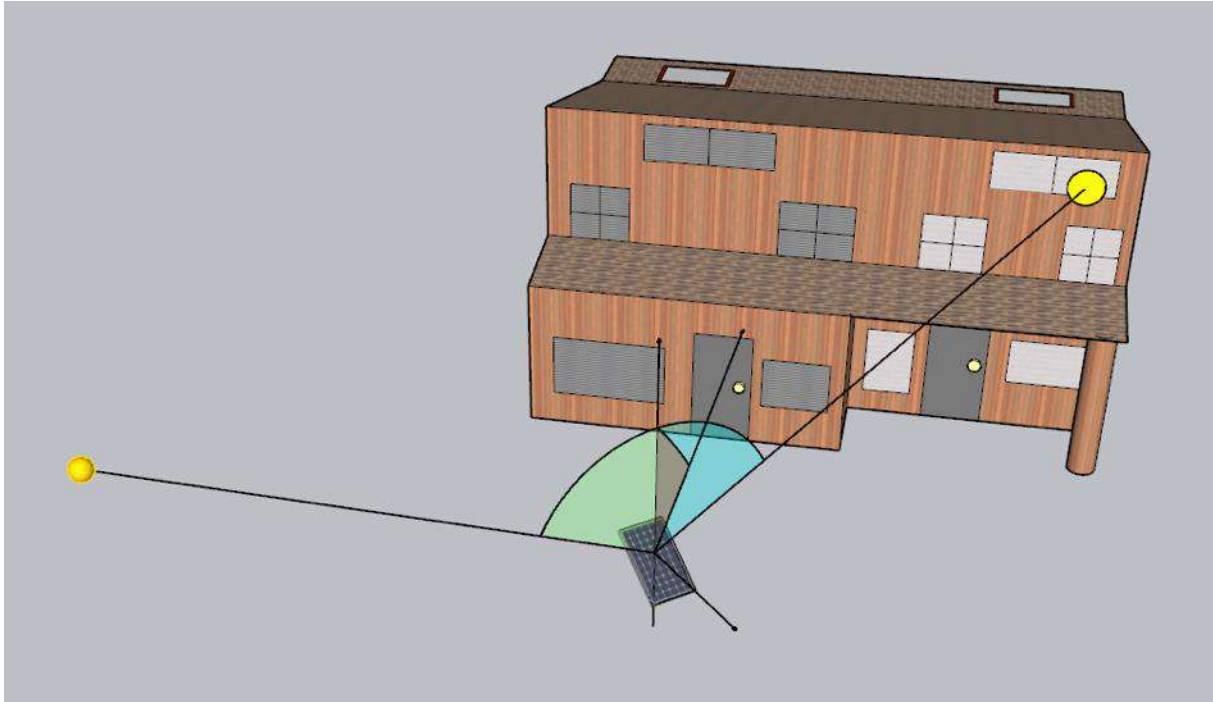


Abbildung 7: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion - Quelle: Eigene Abbildung

4.3 Verwendete Software, Annahmen und Limitationen

Für die Berechnung der Reflexionen bzw. Blendwirkungen wurde die Software PV-GlareCheck verwendet. Dabei wurden die Reflexionen bzw. Blendwirkungen der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von fünf Minuten über ein gesamtes Jahr hinweg berechnet.

Im Rahmen der Simulation werden die Höhendaten der PV-Fläche sowie die Immissionsorte berücksichtigt. Die Simulation basiert auf der Annahme eines stets klaren Himmels; somit wird ein abstrakter Worst-Case betrachtet.

Obwohl PV-GlareCheck eine professionelle Software zur Berechnung PVA-bedingter Blendwirkungen darstellt, kann die Realität nur vereinfacht abgebildet werden. So werden die Generatorfelder als Ebenen zusammengefasst, wodurch abweichende Modulausrichtungen innerhalb der Felder (z. B. Modultische, die aufgrund der Topografie eine Neigung entlang der Tischachse aufweisen 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 werden durch gezielte Cross-Prüfungen validiert (z. B. durch Vergleich unterschiedlicher Berechnungstools sowie Plausibilitätsprüfungen). Dennoch können Abweichungen von der späteren Realität nicht ausgeschlossen werden.

5 Blendwirkungen auf beliebige Flugpfade in einem Höhenbereich von 1 m bis 1000 m über Grund

5.1 Auswertungsmethodik

Die Auswertung basiert auf einer systematischen Rasterung des umgebenden Luftraums durch definierte Beobachtungspunkte (OP).

Für jeden Beobachtungspunkt werden für jeden Zeitpunkt des Jahres die potenziellen Reflexionen sowie die daraus resultierenden Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken berechnet. Die Berechnung erfolgt mit einer zeitlichen Auflösung von fünf Minuten über ein vollständiges Jahr, sodass sowohl kurzzeitige als auch wiederkehrende Effekte erfasst werden können.

Die Ergebnisse werden anschließend zu Kenngrößen aggregiert und für die Bewertung herangezogen. Hierzu zählen insbesondere:

- die maximale Leuchtdichte,
- die Gesamtblenddauer pro Jahr,
- die maximale tägliche Blenddauer,
- sowie ergänzend die Dauer der Überschreitung definierter Leuchtdichteschwellen.

Für die vorliegende flugbetriebliche Bewertung steht die maximale Leuchtdichte im Vordergrund. Sie beschreibt die höchste berechnete Intensität einer möglichen Reflexion an einem Beobachtungspunkt und ist damit die maßgebliche Größe zur Einordnung potenziell kritischer Blendwirkungen.

Ergänzend wird die Dauer der Überschreitung definierter Leuchtdichteschwellen ausgewertet. Diese schwellenbezogene Dauer beschreibt, über wie viele Minuten pro Jahr an einem Beobachtungspunkt eine bestimmte Leuchtdichte überschritten wird. Betrachtet werden insbesondere die Schwellen 50.000 cd/m², 100.000 cd/m² und 500.000 cd/m².

Die schwellenbezogene Dauer dient nicht als eigenständiger Grenzwert, sondern als ergänzende Kenngröße. Sie ermöglicht die Einordnung, ob erhöhte Leuchtdichten nur punktuell und kurzzeitig auftreten oder ob sie über längere Zeiträume beziehungsweise größere räumliche Bereiche relevant werden.

Für die Berechnung wurde die Software PV-GlareCheck verwendet. Dabei werden sowohl die Photovoltaikflächen als auch die Betrachtungspunkte innerhalb eines gemeinsamen georeferenzierten Koordinatensystems modelliert.

Bei der Modellierung der PV-Flächen wird die örtliche Topografie berücksichtigt, sodass die tatsächlichen Geländeverhältnisse in die Analyse einfließen. Die Georeferenzierung ermöglicht zudem eine präzise Abbildung des lokalen Sonnenverlaufs.

Auf Grundlage der Reflexionsprofile der verwendeten PV-Module kann anschließend die resultierende Leuchtdichte der reflektierten Sonnenstrahlung bestimmt werden. Da von einem marktüblichen PV-Modul mit leicht texturierter Oberfläche und Anti-Reflex-Beschichtung beziehungsweise in den Sensitivitätsvarianten von einem blendarmen Modul mit entsprechend reduzierter Reflexionscharakteristik ausgegangen wird, konnte hierbei auf entsprechende Referenzdaten für das Reflexionsprofil zurückgegriffen werden.

Für die Einordnung der Ergebnisse ist wesentlich, dass die Berechnungen der blendarmen Varianten nicht allgemein für beliebige, als „blendarm“ bezeichnete Module gelten. Maßgeblich ist ausschließlich die in der Simulation verwendete winkelabhängige Reflexions-

beziehungsweise Leuchtdichtecharakteristik des Modulglases. Die berechnete Minderungswirkung kann daher nur dann erwartet werden, wenn die später eingesetzten Module eine gleiche oder günstigere Reflexionscharakteristik aufweisen (entsprechend sollten vom Modulhersteller geeignete Unterlagen eingeholt werden, die einen Abgleich mit den Reflexionsprofilen ermöglichen, die dem Gutachten zugrunde liegen).

Die durchgeführten Berechnungen basieren auf der Annahme eines dauerhaft klaren Himmels und stellen damit einen konservativen Worst-Case-Ansatz dar.

In der Realität ist aufgrund von Bewölkung, atmosphärischer Streuung sowie variierenden Sichtbedingungen von einer geringeren Häufigkeit und Intensität möglicher Blendwirkungen auszugehen.

Die dargestellten Ergebnisse stellen daher eine bewusste konservative Abschätzung dar und überschätzen tendenziell die tatsächlich zu erwartenden Blendwirkungen.

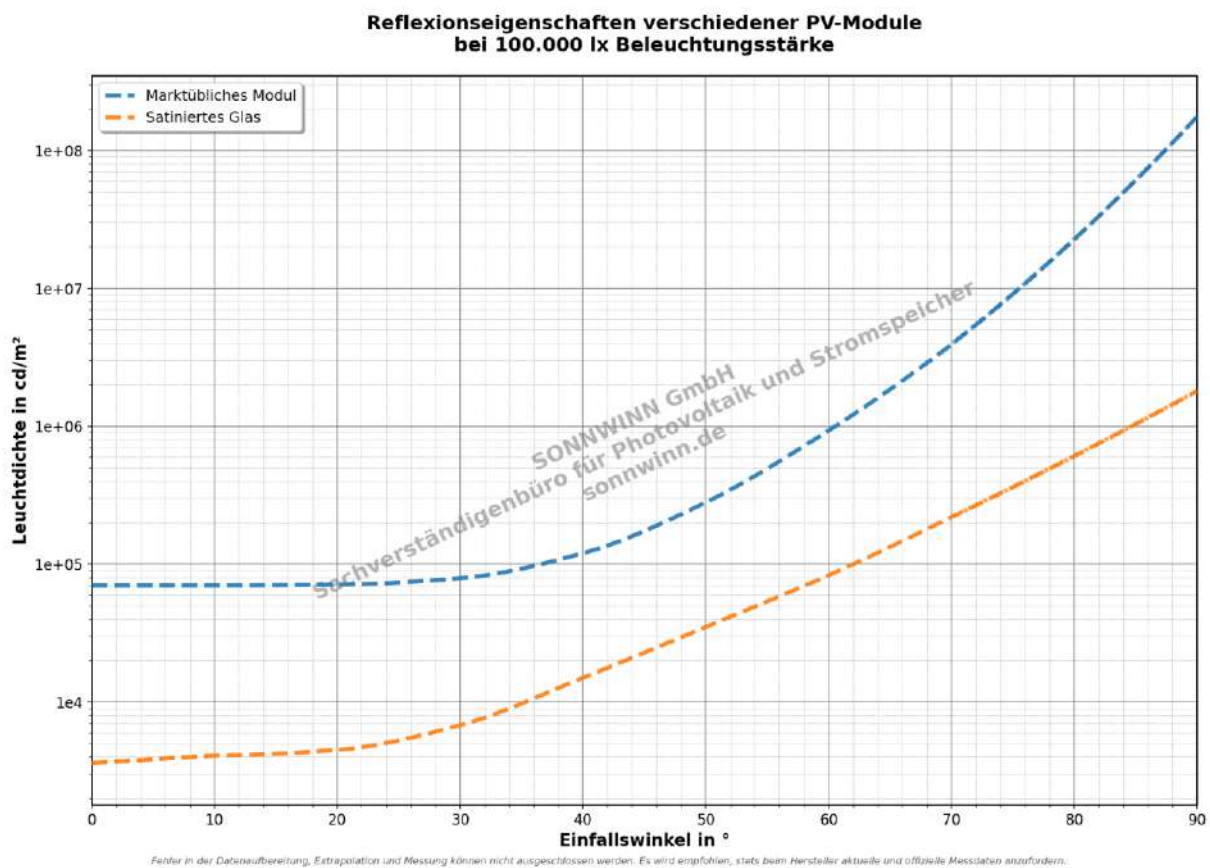


Abbildung 8: Verwendetes Reflexionsprofil: blau als Standardmodul. Das blendarme Modul (satinierteres Glas) wurde entsprechend der orangenen Charakteristik modelliert.

5.2 Zylinder

Zur systematischen Bewertung möglicher Blendwirkungen im Luftraum wurde um die Photovoltaikanlage ein räumliches Untersuchungsmodell definiert.

Zunächst wurde ein Kreis mit minimalem Radius bestimmt, der die PV-Fläche vollständig umschließt. Ausgehend von diesem Referenzkreis wurden zwei konzentrische Radien festgelegt: ein Radius mit einem Abstand von +50 m sowie ein weiterer Radius mit einem Abstand von +400 m zum Referenzkreis.

Entlang dieser beiden Radien wurden anschließend in unterschiedlichen Höhen Beobachtungspunkte im Luftraum definiert. Durch die Kombination aus Radius und Höhe ergibt sich jeweils eine zylindrische Anordnung von Beobachtungspunkten um die Anlage.

Auf diese Weise entstehen zwei zylindrische Untersuchungsräume um die Photovoltaikanlage. Entlang dieser Zylinder werden die potenziellen Blendwirkungen für alle definierten Beobachtungspunkte berechnet und ausgewertet. Durch dieses Vorgehen kann systematisch untersucht werden, ob und in welchen Entfernungen sowie Höhen im Luftraum Blendwirkungen auftreten können.

Die Zylinder werden anschließend für die Ergebnisdarstellung zu zweidimensionalen Abbildungen „ausgerollt“. Die gewählte Darstellung mittels aufgerollter Zylinder dient der vollständigen Abbildung des umgebenden Luftraums unabhängig von konkreten Flugrouten. Jeder Beobachtungspunkt repräsentiert dabei eine definierte Kombination aus horizontaler Position relativ zur PVA, Azimut und Höhe.

Die Darstellung ist daher nicht als Abbildung konkreter Flugmanöver zu verstehen, sondern als möglichst vollständige physikalische Erfassung aller möglichen Blendkonstellationen im betrachteten Luftraum.

5.3 Modulcharakteristik und Definition der blendarmen Variante

Für die Varianten mit blendarmen Modulen wurde in der Berechnung eine gegenüber marktüblichen Standardmodulen reduzierte winkelabhängige Reflexionscharakteristik angesetzt.

Diese Charakteristik beschreibt, welche Leuchtdichte beziehungsweise Reflexionsintensität in Abhängigkeit vom Einfallswinkel und der Beobachtungsgeometrie zu erwarten ist. Sie ist damit eine zentrale Eingangsgröße der Berechnung.

Die Bezeichnung „blendarm“ ist in diesem Zusammenhang nicht als allgemeine Produkteigenschaft zu verstehen, sondern bezieht sich konkret auf die in der Simulation verwendete Reflexions- beziehungsweise Leuchtdichtecharakteristik.

Die Ergebnisse der blendarmen Varianten gelten daher nur für Module, deren Reflexionseigenschaften mindestens der angesetzten Charakteristik entsprechen oder diese unterschreiten. Werden Module mit ungünstigeren Reflexionseigenschaften eingesetzt, können die im Gutachten dargestellten Minderungswirkungen nicht ohne Weiteres angenommen werden.

Für die spätere Umsetzung sollte daher vertraglich beziehungsweise technisch sichergestellt werden, dass die eingesetzten Module eine gleiche oder günstigere Reflexionscharakteristik besitzen. Dies sollte durch ein belastbares Prüfzeugnis eines geeigneten und unabhängigen Prüflabors nachgewiesen werden.

Das Prüfzeugnis sollte die winkelabhängige Reflexion beziehungsweise Leuchtdichte über den relevanten Winkelbereich dokumentieren und einen Vergleich mit der in der Simulation verwendeten Modulcharakteristik ermöglichen.

Da die entsprechende Messung anspruchsvoll ist und nur wenige Prüflabore über geeignete Messaufbauten verfügen, sollte der Prüf- und Nachweisprozess durch ein unabhängiges Gutachten begleitet werden. Dies betrifft insbesondere:

- die Festlegung der zu prüfenden Modulcharge,
- die Probenentnahme,
- die Zuordnung der geprüften Muster zur später eingesetzten Modulserie,
- sowie die Bewertung, ob die gemessene Reflexionscharakteristik der in der Simulation angesetzten Charakteristik entspricht oder günstiger ist.

5.4 Grenzwerte

5.4.1 Stand der Literatur

Für militärische Sichtanflüge von Hubschraubern existieren in der veröffentlichten Literatur keine einheitlich normierten, unmittelbar hubschrauberspezifischen numerischen Grenzwerte für Blendwirkungen durch Reflexionen an Photovoltaikanlagen.

In der gutachterlichen Praxis (im Allgemeinen, nicht nur für Flugverkehr) werden Schwellenwerte für die Intensität (Leuchtdichte) von etwa 20.000¹ über 30.000² und 50.000³ bis 100.000⁴ cd/m² angesetzt.

Der untere Bereich erscheint für helle Tages-Sichtanflüge jedoch nur eingeschränkt belastbar. Selbst in einschlägigen Blendgutachten wird darauf hingewiesen, dass Leuchtdichten oberhalb von 20.000 bzw. 30.000 cd/m² tagsüber nicht zwangsläufig eine erhebliche Blendwirkung verursachen, insbesondere wenn die reflektierende Quelle nur einen kleinen Teil des Sichtfeldes einnimmt.

Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass ein sinnvoller Bewertungs- bzw. Grenzwert eher im oberen Bereich der dargestellten Bandbreite anzusetzen ist.

¹ Abgeleitet aus [6]

² Abgeleitet aus [7]

³ Abgeleitet aus [8]

⁴ Abgeleitet aus [9]

5.4.2 Einfluss von Sonnenbrillen, Visieren und Cockpitverglasung

Für den Flugbetrieb ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass Piloten regelmäßig Sonnenbrillen oder getönte Visiere verwenden.

- Die FAA empfiehlt für Piloten Sonnenbrillen mit einer Lichttransmission von etwa 15–30 %. [11]
- Die UK Civil Aviation Authority (CAA) empfiehlt, dass Piloten-Sonnenbrillen nicht dunkler als 80 % Absorption sein sollten (also mindestens 20 % Transmission aufweisen).⁵
- In militärischer Luftfahrtliteratur werden für dunkle Aviator-Visiere Transmissionen von etwa 12–18 % angegeben.⁶
- Darüber hinaus reduziert auch die Cockpitverglasung die sichtbare Strahlung. Für zivile Flugzeugwindscreens wird eine mittlere sichtbare Transmission von etwa 82,8 % angegeben. [12]

⁵ <https://www.caa.co.uk/aeromedical-examiners/medical-standards/pilots/medical-conditions/visual/use-of-sunglasses-for-pilots/>

⁶ <https://dgcamedical.in/The%20Best%20Pilot%20Sunglasses.htm>

5.4.3 Transmissionsansatz

Unter der vereinfachenden Annahme einer linearen Abschwächung durch optische Transmission kann aus einem inneren Luminanzschwellenwert (Grenzwert zur erheblichen Blendung) am Auge L_{innen} ein äquivalenter externer Wert $L_{\text{außen}}$ abgeleitet werden:

$$L_{\text{außen}} = \frac{L_{\text{innen}}}{\tau}$$

Dabei beschreibt τ die Transmission der jeweils wirksamen optischen Komponenten.

Piloten verwenden häufig Sonnenbrillen oder getönte Visiere mit Transmissionen im Bereich von etwa 20–30 %. Zusätzlich reduziert die Cockpitverglasung die einfallende sichtbare Strahlung. Für zivile Flugzeugwindscreens wird eine mittlere sichtbare Transmission von etwa 82,8 % angegeben. Im Rahmen dieser Betrachtung wird angenommen, dass dieser Wert näherungsweise auch auf Militärhubschrauber übertragbar ist.

Berücksichtigt man diese zusätzliche Abschwächung, ergibt sich eine Gesamttransmission von

$$\tau_{\text{gesamt}} = \tau_{\text{Brille}} \cdot \tau_{\text{Scheibe}}$$

Damit ergeben sich Gesamttransmissionen von etwa 0,248 (30 % Brille) bzw. 0,166 (20 % Brille). Im Mittel ergibt sich daraus eine Gesamttransmission von rund $\tau_{\text{gesamt}} \approx 0,21$ (entsprechend etwa 21 %).

5.4.4 Vorgeschlagener Bewertungsansatz für militärische Sichtanflüge

Wird für die Gesamttransmission der mittlere Wert von 0,21 angesetzt, ergeben sich aus den in der Literatur diskutierten inneren Schwellenwerten folgende äquivalente externe Leuchtdichten:

$$L_{\text{außen}} = \frac{L_{\text{innen}}}{\tau_{\text{gesamt}}}$$

Für einen inneren Schwellenwert von 20.000 cd/m² (sehr konservativer Ansatz) ergibt sich damit eine externe Leuchtdichte von etwa 95.000 cd/m².

Für einen inneren Schwellenwert von 100.000 cd/m² (optimistischer Ansatz) ergibt sich entsprechend eine externe Leuchtdichte von etwa 476.000 cd/m².

Für die weitere Bewertung können diese Werte auf 100.000 cd/m² beziehungsweise 500.000 cd/m² gerundet werden.

Damit ergeben sich zwei repräsentative Bewertungsgrößen für externe Reflexionsleuchtdichten:

- etwa 100.000 cd/m² als konservativer Orientierungswert für unkritische Blendwirkungen
- etwa 500.000 cd/m² als Größenordnung, ab der erhebliche Blendwirkungen plausibel als sehr wahrscheinlich auftreten können.

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass mit dieser Herleitung keine verbindlichen Grenzwerte definiert werden sollen. Ziel der Berechnung ist vielmehr, auf Grundlage der

verfügbaren Literatur und realistischer Annahmen zu optischen Transmissionen eine plausible Größenordnung bzw. Bandbreite für mögliche Bewertungs- oder Grenzwerte abzuleiten. Die konkrete Festlegung eines verbindlichen Grenzwertes obliegt letztlich der zuständigen Fachstelle.

5.4.5 Festlegungen des hier angewendeten Bewertungsrahmen

Für das vorliegende Gutachten wird ein projektspezifischer Bewertungsrahmen verwendet, der auf eine vorsorgliche Einordnung möglicher Blendwirkungen im unmittelbaren Umfeld des Flugplatzes abzielt.

Aufgrund der Lage im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf ist eine vorsorgliche Betrachtung möglicher Blendwirkungen auf tiefflugrelevante Hubschrauberbewegungen sinnvoll. Gegenüber unmittelbar flugplatznahen Anlagen ist die Bewertung jedoch stärker von den tatsächlich genutzten Flugwegen, Flughöhen und Manöverbereichen abhängig.

Die nachfolgende Einordnung bezieht sich auf die berechnete externe Reflexionsleuchtdichte der im Sichtfeld erscheinenden Modulreflexion. Sie ist nicht als Leuchtdichte „am Auge“ zu verstehen. Individuelle mindernde Faktoren wie Sonnenbrille, Visier, Cockpitverglasung, Blickrichtung und konkrete Flugbewegung sind bei der flugbetrieblichen Bewertung zusätzlich zu berücksichtigen. Für die Bewertung der maximalen Leuchtdichten wird im vorliegenden Gutachten folgende gutachterliche Einordnung verwendet:

- Leuchtdichten unterhalb von 50.000 cd/m² werden im Allgemeinen als unkritisch eingeordnet.
- Leuchtdichten zwischen 50.000 cd/m² und 100.000 cd/m² stellen einen Übergangsbeziehungsweise Ermessensbereich dar.
- Leuchtdichten oberhalb von 100.000 cd/m² werden im vorliegenden flugbetrieblichen Kontext als kritisch beziehungsweise als Bereich erhöhter Relevanz eingeordnet.

Diese Einordnung dient einer vorsorglichen Bewertung möglicher Blendwirkungen im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf. Sie ersetzt nicht die flugbetriebliche Einordnung durch die Bundeswehr, insbesondere soweit konkrete Flugwege, Flughöhen und Manöverbereiche betroffen sind.

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nicht um allgemeinverbindliche gesetzliche Grenzwerte handelt. Vielmehr dienen die dargestellten Größenordnungen der gutachterlichen Einordnung möglicher Blendwirkungen im konkreten flugbetrieblichen Kontext.

Die abschließende Festlegung, welche Intensitätsbereiche im konkreten militärischen Flugbetrieb tragbar sind, obliegt der zuständigen Fachstelle der Bundeswehr. Dies gilt insbesondere für den Ermessensbereich zwischen 50.000 cd/m² und 100.000 cd/m².

5.4.6 Observationspunkte

Zur Bewertung der Blendwirkungen werden auf den definierten Zylindern Beobachtungspunkte systematisch verteilt, um den umgebenden Luftraum umfassend abzudecken.

Hierzu wird jeder Zylinder in gleichmäßige Winkelabschnitte unterteilt, sodass möglichst alle relevanten Blickrichtungen zur Photovoltaikanlage erfasst werden.

Zusätzlich werden für jede Richtung feste Höhenstufen berücksichtigt, um den vertikalen Luftraum differenziert abzubilden.

Jeder Beobachtungspunkt ist damit eindeutig durch:

- seine Richtung beziehungsweise Position,

- seine Höhe über Grund,
- sowie seine Entfernung zur Anlage

definiert.

Diese strukturierte Anordnung ermöglicht eine flächendeckende und reproduzierbare Analyse möglicher Blendwirkungen in Abhängigkeit von Flugrichtung und Flughöhe.



Abbildung 9: Zylindrische Beobachtungspunkte um die PV-Fläche – Quelle Hintergrund: OpenStreetMap

Zusätzlich werden für jede Richtung feste Höhenstufen berücksichtigt (1 m, 2 m, 5 m, 10 m, 20 m, 25 m, 50 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 600 m, 800 m und 1000 m über Grund), um den vertikalen Luftraum differenziert abzubilden.

5.5 Ergebnisse

Zur anschaulichen Auswertung werden die zuvor definierten Untersuchungsräume rechnerisch „aufgerollt“ beziehungsweise entlang der definierten Linien dargestellt und in eine zweidimensionale Darstellung überführt.

Bei den Zylinder-Auswertungen entspricht der Umfang des Zylinders der horizontalen Achse der Grafik, während die vertikale Achse die Höhe abbildet. Auf diese Weise kann der gesamte umgebende Luftraum in einer bestimmten Entfernung zur Anlage in einer Ebene dargestellt werden.

Die x-Achse beschreibt hierbei die Blickrichtung relativ zur Anlage in Form des Azimuts. Die y-Achse stellt die Höhe über Grund dar.

Die dargestellten Flächen ergeben sich aus einer Interpolation der diskret berechneten Beobachtungspunkte, sodass ein kontinuierliches Bild der Blendwirkung entsteht. Die Farbkodierung visualisiert dabei die jeweilige Bewertungsgröße, beispielsweise die maximale Leuchtdichte oder die Dauer der Überschreitung definierter Leuchtdichteschwellen. Helle beziehungsweise warme Farben kennzeichnen höhere Werte und damit potenziell kritischere Bereiche, während dunkle beziehungsweise kühle Farben geringere oder unkritische Werte darstellen.

Ergänzend werden für die Intensitätsdarstellungen zusätzliche Zoomdarstellungen tiefflugrelevanter Höhenbereiche verwendet, um mögliche Blendwirkungen in niedrigen Höhen differenzierter bewerten zu können.

Neben der maximalen Leuchtdichte werden schwellenbezogene Dauerplots ausgewertet. Diese zeigen für jeden Beobachtungspunkt, über wie viele Minuten pro Jahr definierte Leuchtdichteschwellen überschritten werden. Dadurch lässt sich unterscheiden, ob eine hohe maximale Leuchtdichte lediglich lokal und kurzzeitig auftritt oder ob über größere Bereiche und längere Zeiträume erhöhte Leuchtdichten zu erwarten sind.

Im Haupttext werden die schwellenbezogenen Dauerplots nur für die flugbetrieblich besonders relevanten Varianten herangezogen. Die vollständigen Darstellungen werden im Anhang dokumentiert.

5.5.1 V1 - Ausgangsvariante Jeßnigk West 2 – Azimut 161°, Modulneigung 15°

Die nachfolgenden Darstellungen zeigen die Verteilung der maximalen Leuchtdichten sowie der zeitlichen Kenngrößen für die projektierte Anlagenkonfiguration mit einem Anlagenazimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15°.

Diese Variante entspricht der ursprünglichen Planung und bildet damit den Ausgangspunkt für die Bewertung der weiteren Sensitivitätsvarianten.

5.5.1.1 Vergleich Zylinder 50 m und 400 m

Die Abbildungen zeigen die Verteilung der maximalen Leuchtdichte in Abhängigkeit von Azimut und Beobachtungshöhe für die projektierte Anlagenkonfiguration mit einem Anlagenazimut von ca. 161°.

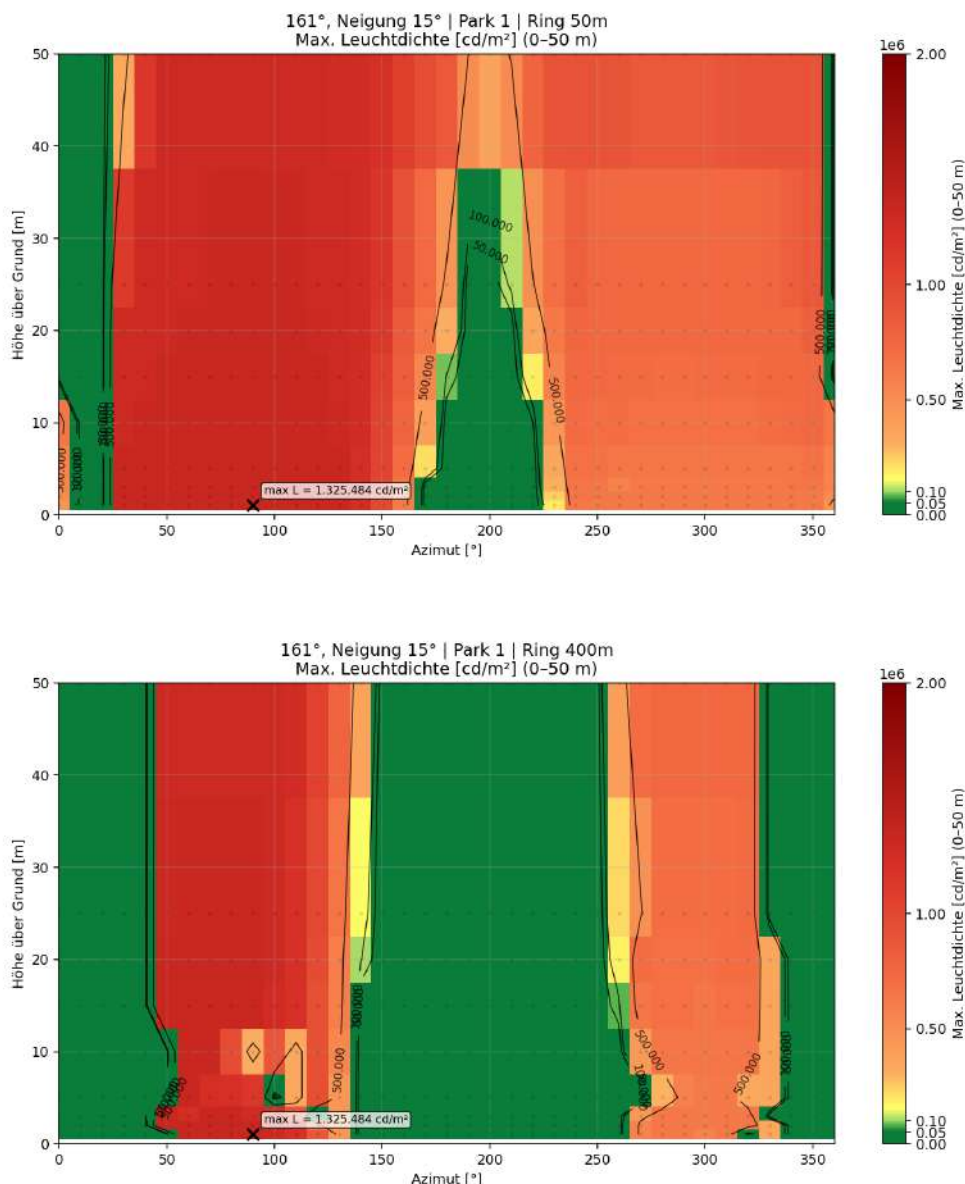


Abbildung 10: Ausgangsvariante 161° / 15°, Zylinder 50 m (oben) und 400 m (unten) – maximale Leuchtdichte, Zoom 0–50 m über Grund.

Am inneren Zylinder mit 50 m Abstand treten erhöhte Leuchtdichten in klar abgegrenzten Azimutbereichen auf. Im tiefflugrelevanten Höhenbereich bis 50 m über Grund zeigt sich ein

breiter Bereich geringerer Leuchtdichten im zentralen Azimutbereich. Seitlich davon treten dagegen deutlich erhöhte Leuchtdichten auf.

Die höchsten Leuchtdichten werden in der Ausgangsvariante vor allem in den westlichen bis südwestlichen sowie in östlichen bis südöstlichen Richtungsbereichen ermittelt. In diesen Bereichen treten Leuchtdichten oberhalb von 100.000 cd/m² deutlich auf; Teilbereiche überschreiten auch 500.000 cd/m².

Am äußeren Zylinder mit 400 m Abstand bleibt die grundsätzliche räumliche Struktur erhalten. Die Bereiche erhöhter Leuchtdichten sind jedoch stärker auf einzelne Richtungssektoren konzentriert. Auch hier bleiben hohe maximale Leuchtdichten in einzelnen Azimutbereichen möglich, während dazwischen ein breiterer Bereich geringerer Leuchtdichten verbleibt.

Die ergänzenden Dauerplots zeigen, dass Überschreitungen der Schwelle von 100.000 cd/m² nicht flächendeckend auftreten, sondern räumlich auf die bereits in den Intensitätsdarstellungen erkennbaren Richtungssektoren beschränkt sind. Die zeitliche Relevanz ist damit ebenfalls auf bestimmte Azimutbereiche konzentriert.

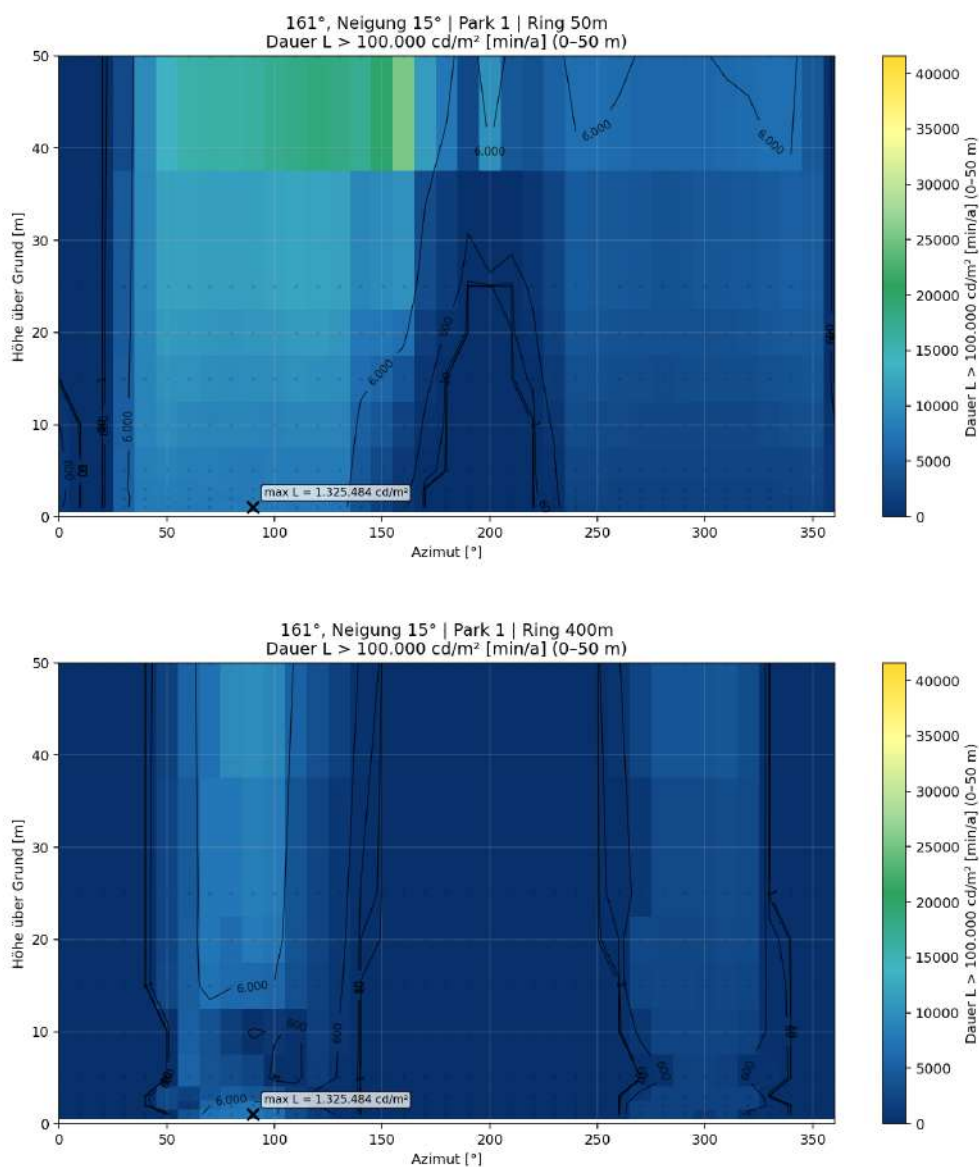


Abbildung 11: Ausgangsvariante 161° / 15°, Zylinder 50 m (oben) und 400 m (unten) – Dauer der Überschreitung von 100.000 cd/m², Zoom 0–50 m über Grund.

Die Dauerplots zeigen, dass Überschreitungen der Schwelle von 100.000 cd/m² nicht über den gesamten untersuchten Luftraum auftreten, sondern räumlich auf die bereits in den Intensitätsdarstellungen erkennbaren Richtungssektoren beschränkt sind. Die höchsten jährlichen Überschreitungsdauern treten dabei nicht zwangsläufig in den Bereichen der absolut höchsten Leuchtdichte auf, sondern dort, wo die geometrischen Reflexionsbedingungen über längere Zeiträume wiederholt auftreten.

Damit ergänzen die Dauerplots die Intensitätsdarstellungen um eine zeitliche Relevanzbewertung. Für die flugbetriebliche Bewertung ist wesentlich, dass kritische Leuchtdichten nicht gleichmäßig um die Anlage auftreten, sondern auf bestimmte Azimutbereiche konzentriert sind.

Unter der Prämisse, dass über dem Ort Jeßnigk keine tiefflugrelevanten Hubschrauberbewegungen stattfinden, wären die Azimutbereiche von etwa 30° bis 140° flugbetrieblich voraussichtlich weniger relevant. Damit würde insbesondere der östliche, intensivere Blendbereich auf dem 400-m-Zylinder an Bedeutung verlieren. Diese Einordnung dient jedoch nur als Beispiel für die Interpretation der Ergebnisse. Ohne Kenntnis der konkreten Manöver Routen, Flughöhen und des realen Fluggeschehens kann nicht abschließend bewertet werden, ob diese Prämisse allgemein gültig ist.

5.5.2 V2 - Einfluss der Modulneigung – Vergleich 15° und 22°

Die zusätzlichen Sensitivitätsanalysen mit einer Modulneigung von 22° zeigen gegenüber der 15°-Variante eine erkennbare Veränderung der vertikalen Lage und räumlichen Ausprägung der Blendbereiche.

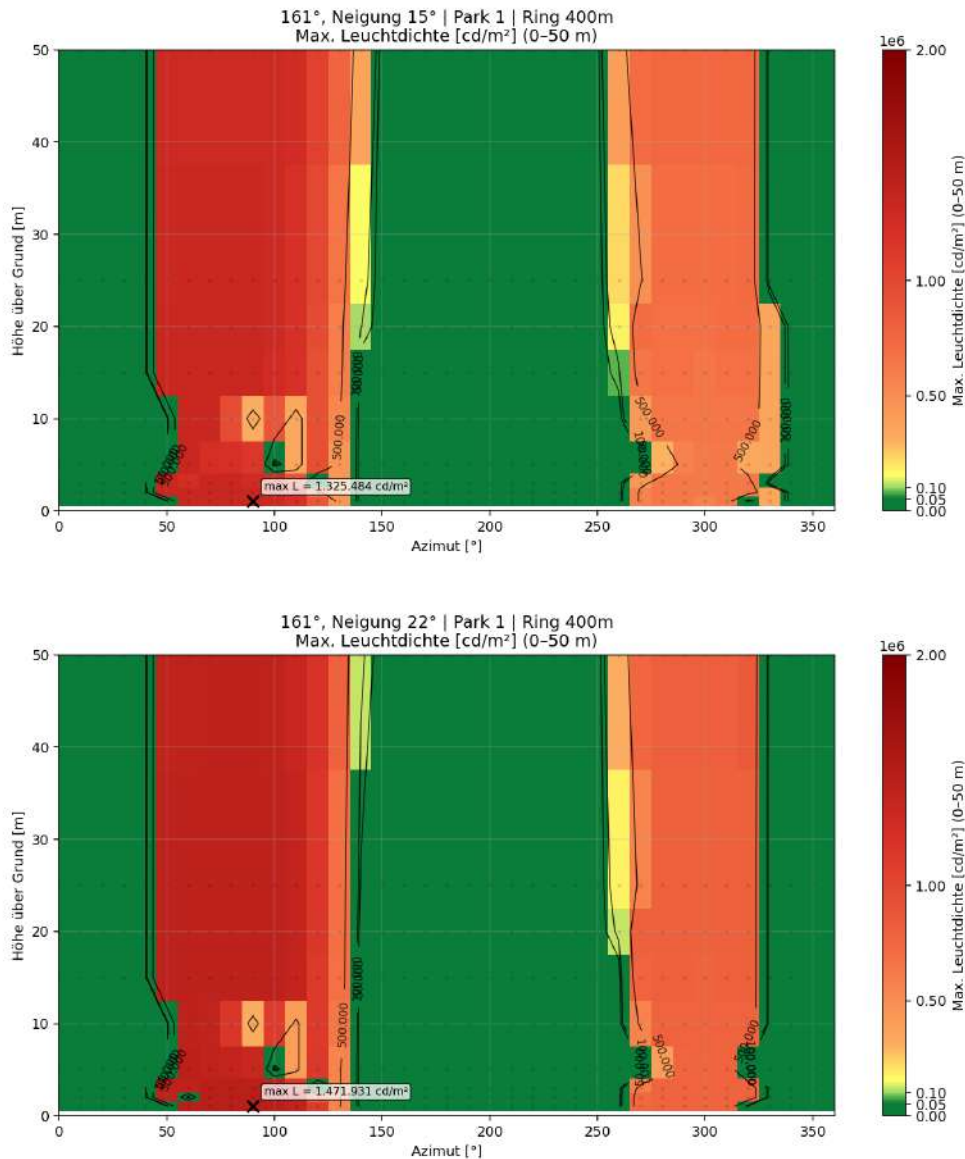


Abbildung 12: Vergleich der Modulneigung 15° und 22° bei Azimut 161° – 400m Zylinder, maximale Leuchtdichte, Zoom 0–50 m über Grund.

Die Erhöhung der Modulneigung von 15° auf 22° verändert die Lage und Ausprägung der Blendbereiche, führt jedoch nicht zu einer grundlegenden Reduktion der maximalen Leuchtdichten.

In beiden Varianten bleiben im tiefflugrelevanten Höhenbereich bis 50 m über Grund hohe Leuchtdichten in seitlichen Azimutbereichen erkennbar. Der zentrale Bereich geringerer Leuchtdichte bleibt grundsätzlich erhalten, wird jedoch in seiner Lage und Breite durch die geänderte Modulneigung beeinflusst.

Die 22°-Variante ist daher nicht als pauschale Minderungsmaßnahme zu bewerten. Sie kann einzelne Bereiche räumlich beziehungsweise vertikal verändern, vermeidet aber die

relevanten Leuchtdichten nicht. Insbesondere in den seitlichen Richtungsbereichen bleiben weiterhin Bereiche oberhalb von 100.000 cd/m² und teilweise oberhalb von 500.000 cd/m² erkennbar.

Eine Optimierung allein über die Modulneigung ist für Jeßnigk West 2 daher nicht ausreichend, um die Blendwirkungen im tiefflugrelevanten Höhenbereich sicher in den unkritischen Bereich zu verschieben.

5.5.3 V3 / V4 - Vergleich projektierte Azimut 161° und reine Südausrichtung 180°

Der Vergleich zwischen der projektierten Anlagenkonfiguration mit einem Azimut von ca. 161° und einer reinen Südausrichtung zeigt deutliche Unterschiede in der räumlichen Verteilung der Blendwirkungen.

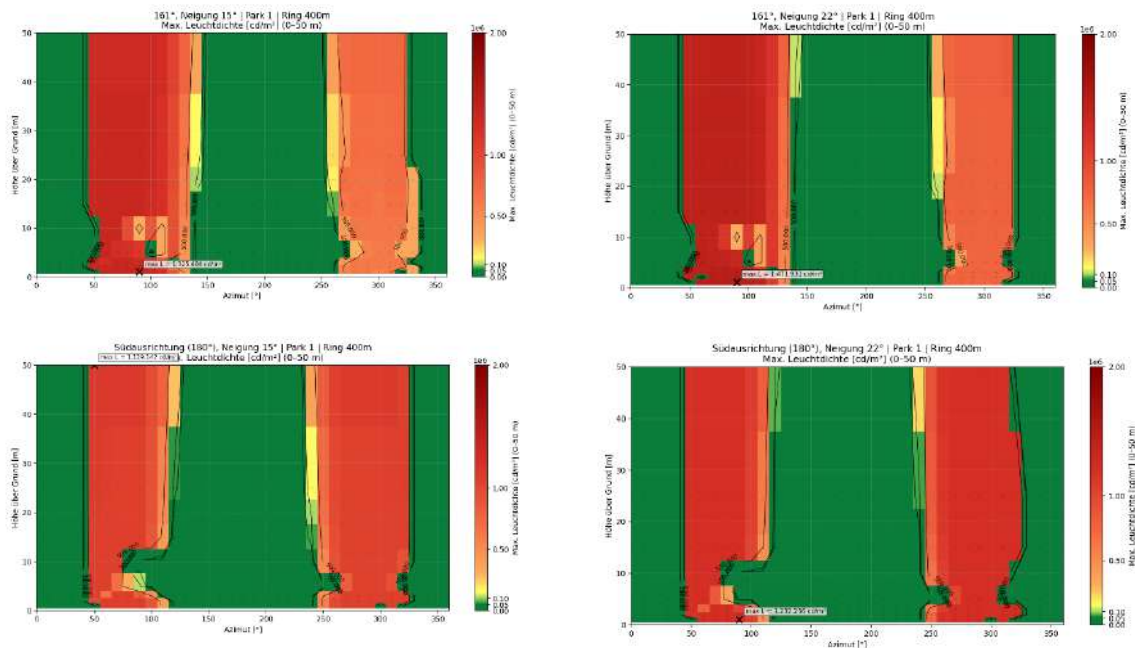


Abbildung 13: Vergleich der projektierten Ausrichtung 161° mit einer reinen Südausrichtung 180° – 400 m Zylinder, maximale Leuchtdichte, Zoom 0–50 m über Grund.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Anlagenazimut einen wesentlichen Einfluss auf die räumliche Lage möglicher Blendbereiche besitzt. Durch die Ausrichtung der Module lassen sich die Blendbereiche entlang des Horizonts beziehungsweise der Azimutrichtung deutlich verschieben.

Im Vergleich zwischen der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° und der reinen Südausrichtung mit 180° zeigt sich jedoch keine vollständige Vermeidung relevanter Blendwirkungen. Auch bei der Südausrichtung mit marktüblichen Standardmodulen verbleiben im tiefflugrelevanten Höhenbereich Bereiche mit erhöhten bis hohen Leuchtdichten.

Die Wirkung einer geänderten Ausrichtung besteht daher vor allem in einer räumlichen Steuerung der betroffenen Richtungssektoren. Sie führt nicht automatisch zu einer Reduktion aller relevanten Intensitätsbereiche.

Für den Standort Jeßnigk West 2 ist diese Steuerungswirkung relevant, da die Anlage im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf liegt. Die flugbetriebliche Bedeutung der dargestellten Blendbereiche hängt dabei insbesondere davon ab, ob und in welchen Höhen entsprechende Richtungssektoren tatsächlich durch Hubschrauberbewegungen genutzt werden.

Die reine Südausrichtung ist bei Verwendung marktüblicher Standardmodule daher nicht als vollständige Minderungsmaßnahme zu bewerten. Sie verändert die räumliche Verteilung der Blendwirkungen, lässt aber weiterhin relevante Leuchtdichten erkennen. Eine weitergehende Reduktion wird erst in Kombination mit blendarmen Modulen erreicht.

5.6 Vergleich marktüblicher und blendarmer Module

Die Auswertungen der Varianten mit blendarmen Modulen zeigen eine deutliche Reduktion der auftretenden Leuchtdichten.

Die Bezeichnung „blendarm“ bezieht sich dabei ausdrücklich auf die in der Simulation angesetzte winkelabhängige Reflexions- beziehungsweise Leuchtdichtecharakteristik. Die Ergebnisse gelten daher nur für Module, deren Reflexionseigenschaften dieser Charakteristik entsprechen oder günstiger sind.

5.6.1 V6 - Projektierte Ausrichtung 161° mit blendarmen Modulen

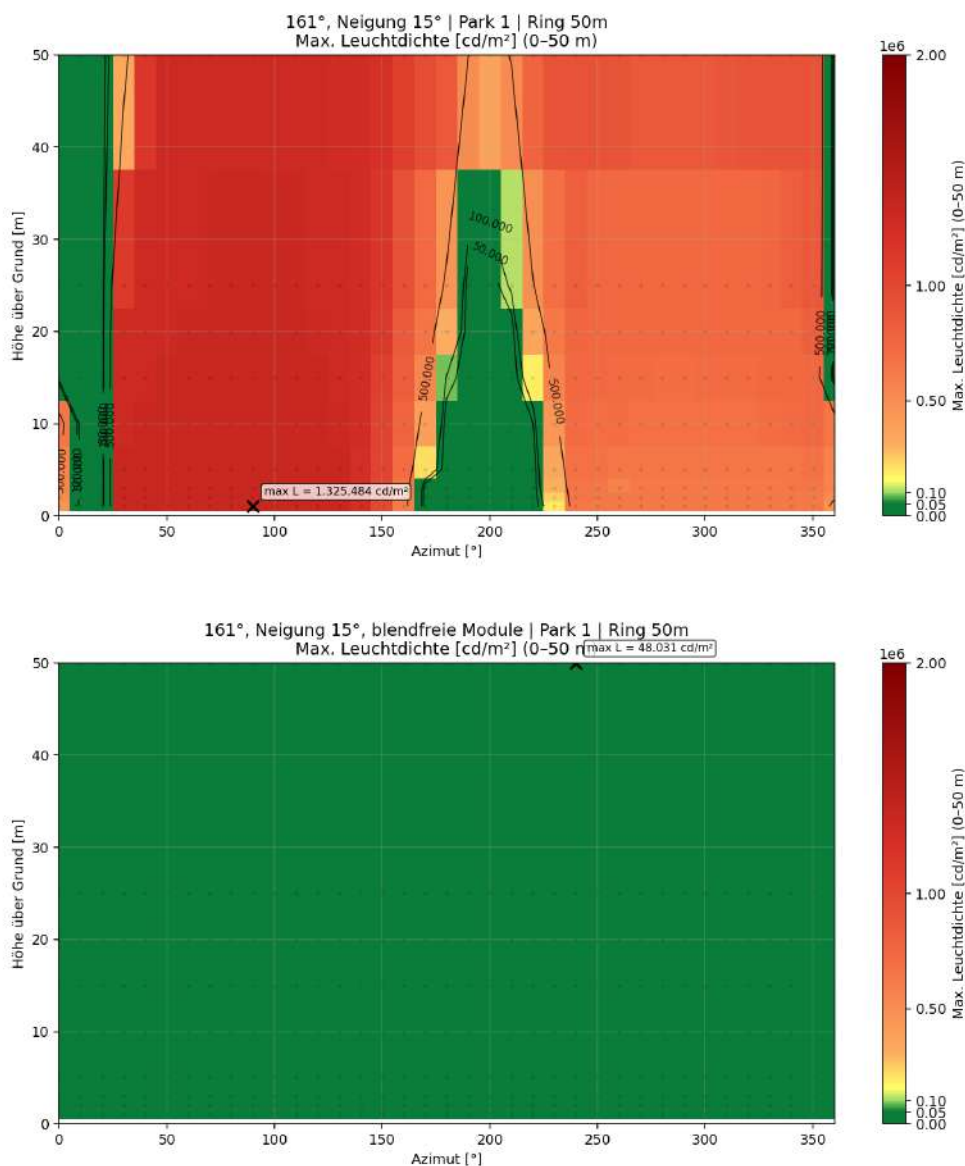


Abbildung 14: Vergleich marktübliches Modul und blendarmes Modul bei Azimut 161° / 15° – Zylinder, maximale Leuchtdichte, Zoom 0–50 m über Grund.

Für die projektierte Ausrichtung mit ca. 161° führt die Verwendung blendarmer Module zu einer deutlichen Reduktion der berechneten Reflexionsleuchtdichten.

Im Vergleich zur Standardvariante werden die hochintensiven Bereiche vermieden.

Bereiche oberhalb von 50.000 cd/m^2 werden in der blendarmen Variante mit projektierte Ausrichtung nicht mehr ermittelt. Damit werden die im vorliegenden flugbetrieblichen Kontext besonders relevanten hohen Intensitätsbereiche durch die blendarmen Module wirksam reduziert.

Die untersuchten blendarmen Module reduzieren die auftretenden Leuchtdichten deutlich. Bei der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° (Variante V6) werden keine Werte oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt. Auch bei der reinen Südausrichtung mit blendarmen Modulen (Variante V7) werden keine Werte oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt. Beide blendarmen Varianten liegen damit vollständig im unkritischen Bereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes.

5.6.2 V7 - Südausrichtung 180° mit blendarmen Modulen

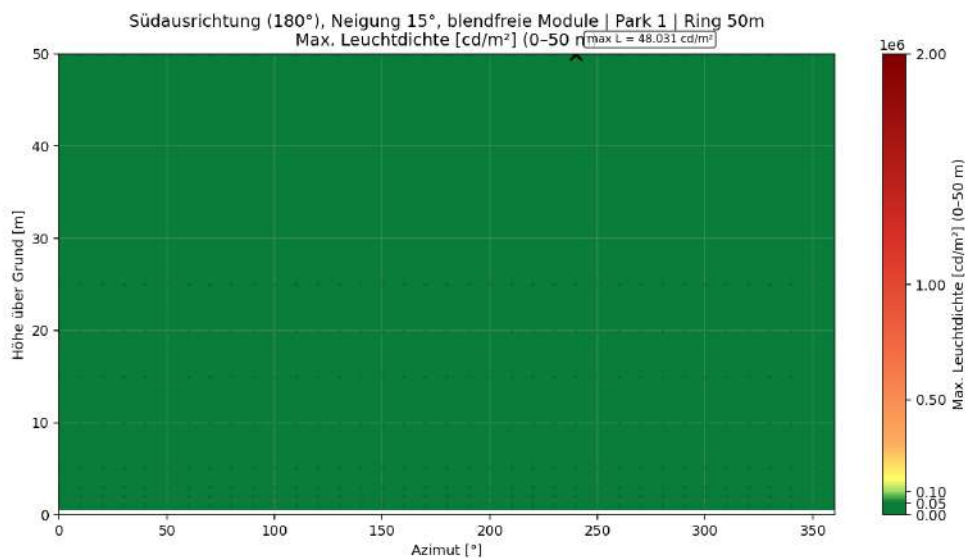


Abbildung 15: Vergleich marktübliches Modul und blendarmes Modul bei Südausrichtung $180^\circ / 15^\circ$ – Zylinder, maximale Leuchtdichte, Zoom 0–50 m über Grund.

Für die untersuchte Variante mit reiner Südausrichtung und blendarmen Modulen zeigen die Intensitätsdarstellungen keine Bereiche mit Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m^2 .

Die maximale berechnete Leuchtdichte bleibt unterhalb der Schwelle von 50.000 cd/m^2 . Damit liegen die berechneten maximalen Reflexionsleuchtdichten in dieser Variante vollständig im als unkritisch eingeordneten Bereich.

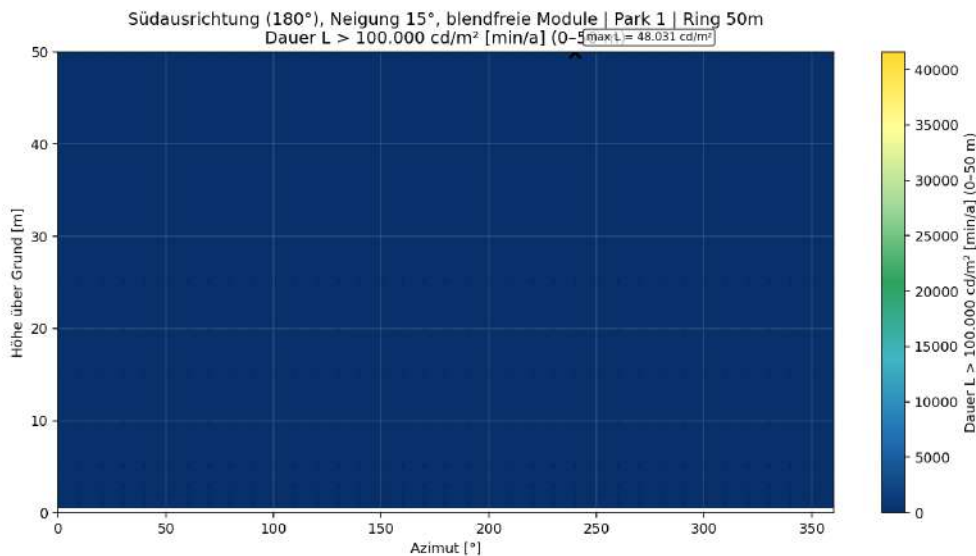


Abbildung 16: Blendarmes Modul bei Südausrichtung 180° / 15° – Zylinder, Dauer der Überschreitung von 50.000 cd/m², Zoom 0–50 m über Grund.

Die Dauerplots bestätigen diese Einordnung. Da keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m² ermittelt werden, treten auch keine Überschreitungsdauern oberhalb dieser Schwelle auf.

Die Variante 180° mit blendarmen Modulen stellt damit innerhalb der untersuchten Konfigurationen eine wirksame Minderungsvariante dar.

Diese Aussage gilt für die konkret angesetzte Modulcharakteristik der blendarmen Module. Für die spätere Umsetzung ist daher sicherzustellen, dass die tatsächlich eingesetzten Module eine gleiche oder günstigere Reflexionscharakteristik aufweisen.

5.6.3 Einordnung der Minderungswirkung

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass blendarme Module grundsätzlich eine wirksame technische Maßnahme zur Reduktion potenzieller Blendwirkungen darstellen können.

Am Standort Jeßnigk West 2 zeigen sowohl die projektierte Ausrichtung mit ca. 161° als auch die reine Südausrichtung mit 180° bei Verwendung blendarmer Module eine sehr hohe Minderungswirkung. In beiden Fällen werden keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m² ermittelt.

Aus blendtechnischer Sicht ist damit der Einsatz blendarmer Module die maßgebliche Minderungsmaßnahme. Eine zusätzliche Änderung der Ausrichtung auf 180° führt nach den vorliegenden Berechnungen zu einer vollständigen Reduktion unterhalb der Schwelle von 50.000 cd/m². Ob diese zusätzliche geometrische Optimierung gegenüber der projektierten Ausrichtung erforderlich ist, hängt von der flugbetrieblichen Relevanz der verbleibenden kleinräumigen Bereiche oberhalb von 50.000 cd/m² ab.

Die finale Bewertung, ob diese Minderungsmaßnahme aufgrund der konkreten militärischen Nutzung erforderlich ist, kann im Rahmen dieses Gutachtens nicht abschließend erfolgen. Hierfür sind Kenntnisse über konkrete Manöver, Flugprofile und flugbetriebliche Anforderungen erforderlich, die dem Gutachter nicht vollständig vorliegen. Die abschließende Bewertung bleibt der zuständigen Fachstelle der Bundeswehr vorbehalten.

6 Diskussion der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt sowohl hinsichtlich der Anlagengeometrie als auch hinsichtlich der eingesetzten Modulcharakteristik deutliche Unterschiede in der Charakteristik der Blendwirkungen.

Für den Standort Jeßnigk West 2 ist die flugbetriebliche Einordnung aufgrund der Lage im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf vorsorglich zu betrachten. Anders als bei unmittelbar flugplatznah angrenzenden Anlagen hängt die konkrete Relevanz der dargestellten Blendbereiche stärker von den tatsächlich genutzten Flugwegen, Flughöhen und Manöverbereichen ab.

Vor diesem Hintergrund kommt den Bereichen oberhalb von 100.000 cd/m^2 eine besondere Bedeutung zu. Ob und in welchem Umfang diese Bereiche flugbetrieblich relevant sind, hängt jedoch maßgeblich davon ab, ob die betroffenen Richtungs- und Höhenbereiche im militärischen Flugbetrieb tatsächlich genutzt werden.

Der Vergleich der untersuchten Ausrichtungsvarianten zeigt, dass der Anlagenazimut die räumliche Lage möglicher Blendwirkungen wesentlich beeinflusst. Die Blendbereiche werden entlang des Horizonts beziehungsweise der Azimutrichtung verschoben. Dadurch können potenziell relevante Bereiche grundsätzlich räumlich gesteuert werden.

Eine Änderung der Ausrichtung wirkt jedoch nicht als vollständige Vermeidungsmaßnahme, sondern verändert primär die Lage der betroffenen Richtungssektoren.

Innerhalb der untersuchten Standardvarianten stellt die reine Südausrichtung die günstigste Variante dar. Sie führt im Vergleich zur projektierten Ausrichtung zu einer günstigeren räumlichen Verteilung im Hinblick auf die flugbetrieblich relevanten Bereiche.

Gleichwohl treten auch bei der Südausrichtung mit marktüblichen Standardmodulen weiterhin relevante Leuchtdichten auf. Eine vollständige Vermeidung kritischer Bereiche wird dadurch allein nicht erreicht.

Die Untersuchung der Modulneigung zeigt, dass eine größere Neigung die Blendwirkungen räumlich und vertikal verändert. Nördlich der Anlage vergrößert sich der nicht beziehungsweise nur gering betroffene Bereich und die relevanten Blendbereiche liegen stärker in größeren Höhen. Dies ist für bodennahe beziehungsweise tiefflugrelevante Bereiche grundsätzlich günstig.

Gleichzeitig treten die verbleibenden Blendbereiche im östlichen und westlichen Richtungsbereich teilweise intensiver hervor. Eine größere Neigung ist daher nicht pauschal als Minderungsmaßnahme zu bewerten.

Die Ost-West-Variante zeigt im vorliegenden Fall ein ungünstiges Verteilungsmuster. Die Blendwirkungen verteilen sich deutlich breiter entlang des Horizonts und betreffen im unteren Höhenbereich einen großen Azimutbereich. Zudem treten mehr Bereiche mit sehr hohen Leuchtdichten oberhalb von 500.000 cd/m^2 auf.

Vor diesem Hintergrund ist die Ost-West-Variante für den Standort Jeßnigk West 2 nicht als geeignete Minderungsvariante einzustufen.

Die Varianten mit blendarmen Modulen zeigen dagegen eine deutliche Reduktion der Leuchtdichten. Sowohl bei der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° als auch bei der reinen Südausrichtung mit 180° werden keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt.

Beide Varianten liegen damit vollständig im unkritischen Bereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes.

Aus blendtechnischer Sicht ist der Einsatz blendarmer Module damit die maßgebliche Minderungsmaßnahme. Eine zusätzliche Änderung der Ausrichtung auf 180° ist nach den vorliegenden Berechnungen nicht erforderlich, um die Schwelle von 50.000 cd/m² einzuhalten. Damit liegen die Ergebnisse vollständig im unkritischen Bereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes.

Für die flugbetriebliche Einordnung ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass sich Piloten in einem dynamischen Bewegungsablauf befinden und ihre Blickrichtung kontinuierlich anpassen. Eine statische Betrachtung einzelner Blickrichtungen stellt daher eine konservative Annahme dar.

Die identifizierten Konstellationen mit erhöhten Leuchtdichten setzen jeweils spezifische Kombinationen aus Flugrichtung, Flughöhe und Sonnenstand voraus. Diese Kombinationen treten im praktischen Flugbetrieb nur in einem Teil der möglichen Flugmanöver auf.

Vor diesem Hintergrund ist davon auszugehen, dass die tatsächlich auftretende Exposition gegenüber potenziellen Blendwirkungen im realen Flugbetrieb geringer ist als in der rein geometrischen Betrachtung dargestellt.

Gleichzeitig ist aufgrund des militärischen Flugbetriebs im Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf ein vorsorglicher Bewertungsansatz sachgerecht.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass potenzielle Blendwirkungen am Standort Jeßnigk West 2 durch Ausrichtung, Modulneigung und Modulcharakteristik deutlich beeinflusst werden können. Die vollständige beziehungsweise nahezu vollständige Reduktion relevanter Blendwirkungen wird jedoch erst durch die Kombination aus reiner Südausrichtung und blendarmen Modulen erreicht.

6.1 Gutachterliche Einordnung der untersuchten Varianten

Aus gutachterlicher Sicht lassen sich die untersuchten Varianten wie folgt einordnen:

Die projektierte Standardvariante mit einem Anlagenazimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15° zeigt relevante Blendbereiche im tiefflugrelevanten Höhenbereich. Die Blendwirkungen treten nicht flächendeckend auf, sondern sind räumlich auf bestimmte Richtungssektoren begrenzt. Aufgrund der Lage im weiteren Umfeld des Fliegerhorsts Holzdorf hängt die flugbetriebliche Relevanz dieser Bereiche maßgeblich davon ab, ob die betroffenen Richtungs- und Höhenbereiche im tatsächlichen Hubschrauberbetrieb genutzt werden.

Die Variante mit größerer Modulneigung von 22° zeigt eine räumliche Verlagerung der Blendbereiche. In Teilbereichen, insbesondere nördlich der Anlage, kann dies zu einer Entlastung tiefer Höhenbereiche führen. Gleichzeitig werden die verbleibenden Blendbereiche im östlichen und westlichen Richtungsbereich teilweise intensiver. Die größere Neigung ist daher nicht als alleinige Minderungsmaßnahme geeignet.

Die reine Südausrichtung stellt unter den untersuchten Standardmodulen die günstigste geometrische Variante dar. Sie verändert die räumliche Lage der Blendbereiche in einer für den Standort Jeßnigk West 2 günstigeren Weise. Dennoch werden auch bei marktüblichen Standardmodulen weiterhin relevante Leuchtdichten ermittelt.

Die Ost-West-Variante ist im vorliegenden Kontext ungünstig. Sie führt zu einer breiten Betroffenheit des unteren Höhenbereichs und weist mehr Bereiche mit sehr hohen Leuchtdichten auf. Diese Variante ist daher im Hinblick auf die Anforderungen des Hubschrauberbetriebs nicht als Minderungsvariante zu bewerten.

Die Verwendung blendarmer Module reduziert die Leuchtdichten deutlich. Bei der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° werden keine Bereiche oberhalb von 100.000 cd/m^2 mehr ermittelt; es verbleiben jedoch sehr kleine Bereiche oberhalb von 50.000 cd/m^2 und damit im unteren Ermessensbereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes. Bei der reinen Südausrichtung mit 180° werden keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt. Damit stellt die Südausrichtung mit blendarmen Modulen die einzige untersuchte Variante dar, die vollständig im unkritischen Bereich liegt.

6.2 Abwägung und Zuständigkeit der flugbetrieblichen Bewertung

Die vorliegenden Auswertungen zeigen die physikalisch-geometrischen Zusammenhänge zwischen Anlagenkonfiguration, Modulcharakteristik, räumlicher Lage der Blendbereiche und maximaler Leuchtdichte.

Es liegen jedoch keine vollständigen Informationen über konkrete Manöverflüge, taktische Flugprofile, regelmäßig genutzte Flugwege, besondere Einsatzverfahren oder spezifische flugbetriebliche Anforderungen der Bundeswehr im Umfeld des Flugplatzes Jeßnigk West 2 vor.

Die Untersuchung kann daher nicht abschließend bewerten, welche der dargestellten Varianten aus Sicht der Bundeswehr im konkreten Flugbetrieb noch tragbar ist.

Ergänzend ist zu berücksichtigen, dass die vorliegenden Berechnungen bewusst auf einem konservativen Worst-Case-Ansatz beruhen. Die Simulation unterstellt dauerhaft klare Sichtbedingungen sowie sämtliche theoretisch möglichen Kombinationen aus Beobachtersposition, Flughöhe, Flugrichtung und Sonnenstand. Dadurch werden auch solche Konstellationen erfasst, die im praktischen Flugbetrieb nur selten oder gegebenenfalls überhaupt nicht auftreten.

Die dargestellten hohen Leuchtdichten sind insbesondere für tiefflugrelevante Flugbewegungen von Bedeutung, da relevante Sichtbeziehungen zur Photovoltaikanlage nur in bestimmten niedrigen Flughöhen sowie bei spezifischen geometrischen Anflugkonstellationen entstehen können.

Die tatsächliche flugbetriebliche Relevanz der ermittelten Blendwirkungen hängt daher maßgeblich davon ab, ob die betreffenden Richtungssektoren und Höhenbereiche im realen militärischen Betrieb regelmäßig genutzt werden. Ohne belastbare Informationen zu konkreten Flugrouten, Manöverbereichen, taktischen Verfahren und Tiefflugprofilen kann aus den rein geometrischen Worst-Case-Berechnungen keine unmittelbare operative Relevanz einzelner Blendbereiche abgeleitet werden.

Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass blendarme Module zwar eine wirksame technische Minderungsmaßnahme darstellen, jedoch mit erheblichen Mehrkosten verbunden sein können. Ein flächendeckender Einsatz solcher Module ist daher nicht pauschal für jedes Projekt als wirtschaftlich tragbar anzusehen.

Vor diesem Hintergrund erscheint es aus gutachterlicher Sicht nicht sachgerecht, allein auf Grundlage theoretisch möglicher Worst-Case-Konstellationen pauschal den Einsatz blendarmer Module zu fordern. Der Einsatz solcher Module ist mit erheblichen Mehrkosten verbunden und sollte daher insbesondere davon abhängig gemacht werden, ob die betreffenden Blendkonstellationen im konkreten militärischen Flugbetrieb tatsächlich relevant werden können.

Die abschließende Bewertung der Erforderlichkeit und Verhältnismäßigkeit möglicher Minderungsmaßnahmen setzt daher zwingend eine flugbetriebliche Einordnung der konkreten Flugbewegungen und Tiefflugbereiche durch die zuständigen Fachstellen der Bundeswehr voraus.

6.3 Empfehlung aus gutachterlicher Sicht

Vor dem Hintergrund der Lage im weiteren Umfeld des Flugplatzes und der seitens der Bundeswehr formulierten Anforderung, insbesondere im Bereich tiefflugrelevanter Hubschraubermanöver Leuchtdichten oberhalb von 100.000 cd/m^2 möglichst zu vermeiden, sollte die Anlagenkonfiguration entsprechend optimiert werden.

Aus rein blendtechnischer Sicht ist eine reine Ost-West-Konfiguration für den Standort Jeßnigk West 2 nicht zu empfehlen, da sie zu einer breiten Betroffenheit des unteren Höhenbereichs und zu Bereichen hoher Leuchtdichte führt.

Eine Optimierung allein über die Modulneigung ist ebenfalls nicht ausreichend, da hierdurch die relevanten Blendbereiche zwar räumlich verändert, jedoch nicht sicher vermieden werden.

Die wirksamste technische Minderungsmaßnahme ist im vorliegenden Fall der Einsatz blendarmer Module mit der in der Simulation angesetzten Reflexionscharakteristik. Bereits bei Beibehaltung der projektierten Ausrichtung von ca. 161° werden mit blendarmen Modulen keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt.

Eine zusätzliche Änderung der Anlagenorientierung auf 180° führt nach den vorliegenden Berechnungen zu Ergebnissen unterhalb von 50.000 cd/m^2 und stellt damit die stärkste untersuchte Minderungsvariante dar. Ob diese zusätzliche Änderung gegenüber der projektierten Ausrichtung erforderlich und verhältnismäßig ist, sollte jedoch auf Grundlage der flugbetrieblichen Relevanz der verbleibenden kleinräumigen Bereiche oberhalb von 50.000 cd/m^2 bewertet werden.

Ob der Einsatz blendarmer Module aufgrund der konkreten militärischen Nutzung erforderlich und verhältnismäßig ist, kann im Rahmen dieses Gutachtens nicht abschließend entschieden werden. Dies hängt insbesondere davon ab, ob die betroffenen Richtungs- und Höhenbereiche im tatsächlichen Hubschrauberbetrieb genutzt werden.

6.4 Schlussfolgerung

Aufgrund der größeren Entfernung zum Flugplatz ist die flugbetriebliche Relevanz der ermittelten Blendbereiche weniger unmittelbar als bei flugplatznah angrenzenden Anlagen. Die Ergebnisse sind daher inswobesondere als vorsorgliche Potenzialanalyse zu verstehen. Ob die verbleibenden Bereiche der Varianten V1 beziehungsweise V6 im konkreten Flugbetrieb relevant sind, hängt von den tatsächlich genutzten Flugwegen, Flughöhen und Manöverbereichen ab und kann im Rahmen dieses Gutachtens nicht abschließend bewertet werden.

Die Untersuchung zeigt, dass am Standort Jeßnigk West 2 in den Standardvarianten relevante Blendwirkungen auftreten können. Diese sind jedoch räumlich nicht gleichmäßig verteilt, sondern konzentrieren sich auf bestimmte Azimutbereiche.

Besonders relevant ist dabei, dass ein wesentlicher Teil der intensiven Blendbereiche in Richtung des Ortes Jeßnigk weist. Sofern in diesem Bereich keine tiefflugrelevanten Hubschrauberbewegungen stattfinden, kann die flugbetriebliche Relevanz dieser Bereiche geringer sein. Eine abschließende Bewertung ist jedoch ohne Kenntnis der konkreten Flugwege, Flughöhen und Manöverbereiche nicht möglich.

Die Varianten mit blendarmen Modulen zeigen eine deutliche Minderungswirkung. Die Varianten mit blendarmen Modulen zeigen eine deutliche Minderungswirkung. Bei der projektierten Ausrichtung mit ca. 161° werden Bereiche oberhalb von 100.000 cd/m^2 vermieden; es verbleiben jedoch sehr kleine Bereiche oberhalb von 50.000 cd/m^2 und damit im unteren Ermessensbereich des hier verwendeten Bewertungsansatzes. Bei der reinen Südausrichtung mit 180° werden keine Leuchtdichten oberhalb von 50.000 cd/m^2 ermittelt.

Auf Grundlage der vorliegenden Auswertungen ist der Einsatz blendarmer Module daher geeignet, relevante Blendwirkungen weitgehend zu reduzieren. Eine vollständige Reduktion aller dargestellten Bereiche auf Werte unterhalb von 50.000 cd/m^2 wird durch die Kombination aus Südausrichtung und blendarmen Modulen erreicht. Ob die verbleibenden kleinräumigen Bereiche der projektierten Ausrichtung mit blendarmen Modulen flugbetrieblich relevant sind, hängt insbesondere davon ab, ob die betroffenen Richtungs- und Höhenbereiche im tatsächlichen Hubschrauberbetrieb genutzt werden. Auf Grundlage der vorliegenden Auswertungen ist der Einsatz blendarmer Module daher geeignet, relevante Blendwirkungen weitgehend zu vermeiden. Eine zusätzliche Änderung der Ausrichtung auf 180° ist nach den vorliegenden Berechnungen nicht erforderlich, sofern die tatsächlich eingesetzten Module die angesetzte blendarme Reflexionscharakteristik erreichen oder unterschreiten. Bei Umsetzung anderer Varianten verbleiben dagegen, je nach Ausrichtung und Modulcharakteristik, Bereiche mit Leuchtdichten im Ermessensbereich beziehungsweise im kritischen Bereich. Diese wären im Rahmen der flugbetrieblichen Bewertung gesondert zu berücksichtigen.

6.5 Verhältnis zum bestehenden Blendgutachten für Straßenverkehr

Für den Standort Jeßnigk West 2 liegt bereits ein separates Blendgutachten vom 02.12.2024 vor. Dieses Gutachten untersucht unter anderem mögliche Blendwirkungen auf die Landesstraße L 72. Die dortige Auswertung kommt zu dem Ergebnis, dass überall dort, wo Reflexionen innerhalb des straßenverkehrlich relevanten Sichtfeldes von $\pm 30^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung auftreten könnten, Fahrzeugführer durch Gebäude abgeschirmt werden, welche die Sicht auf die PVA vollständig unterbinden. Zusätzliche Maßnahmen für den Straßenverkehr wurden daher nicht als erforderlich bewertet.

Das bestehende Straßengutachten basiert auf einer Anlagenkonfiguration mit einem Anlagenazimut von ca. 161° und einer Modulneigung von 15° . Diese Konfiguration entspricht der im vorliegenden Gutachten als V1 betrachteten Ausgangsvariante. Für diese Variante bleibt das bestehende Straßengutachten weiterhin als maßgebliche Grundlage der straßenverkehrlichen Bewertung heranzuziehen.

Das vorliegende Gutachten verfolgt einen anderen Untersuchungsansatz. Es betrachtet zylindrische Beobachtungsräume im Luftraum und dient der ergänzenden Bewertung möglicher Blendwirkungen auf tiefflugrelevante Hubschrauberbewegungen. Die straßenverkehrliche Bewertung wird dadurch nicht ersetzt.

Für die in diesem Gutachten betrachteten blendarmen Varianten ergeben sich keine Anhaltspunkte dafür, dass die straßenverkehrliche Bewertung des bestehenden Gutachtens infrage gestellt wird. Die blendarmen Module reduzieren die Reflexionsleuchtdichten deutlich und führen damit nicht zu einer Erhöhung der straßenverkehrlich relevanten Blendwirkung.

Anders ist die Situation bei geänderten Standardvarianten zu bewerten. Eine Drehung der Module in Richtung Osten kann die Reflexionsgeometrie in Richtung der Landesstraße L 72 ungünstig verändern und damit mögliche Blendwirkungen auf die Straße erhöhen. Eine solche Variante sollte straßenverkehrlich erneut geprüft werden, sofern sie genehmigungsrelevant weiterverfolgt wird.

Eine Drehung in Richtung Westen wirkt demgegenüber tendenziell mindernd auf die Blendwirkung in Richtung der untersuchten Straße, solange die Drehung nicht so weit erfolgt, dass sich die Reflexionsgeometrie grundlegend umkehrt. Bei einer westlichen Drehung von weniger als 90° ist aus gutachterlicher Sicht daher keine Verschlechterung der straßenverkehrlichen Bewertung zu erwarten.

Aus gutachterlicher Sicht ist eine vollständige Neuerstellung des bestehenden Straßengutachtens für die Ausgangsvariante $161^\circ / 15^\circ$ sowie für die untersuchten blendarmen Varianten nicht erforderlich. Für abweichende Standardvarianten, insbesondere eine deutliche Drehung in Richtung Osten oder Varianten mit erhöhter Modulneigung, kann dagegen eine ergänzende straßenverkehrliche Stellungnahme zweckmäßig sein.

7 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] 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>
- [7] 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
- [8] Dr. Christof Bucher, „Blendung an PV-Anlagen: Erfahrungen mit blendarmen Produkten“, *SolarUpdate Swissolar*, 2024, [Online]. Verfügbar unter: https://sonnwinn.de/wp-content/uploads/SolarUpdate24_2.1_Christof_Bucher_BFH.pdf
- [9] 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
- [10] 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.
- [11] Ronald W. Montgomery, B.S und Van B. Nakagawara, O.D., „Sunglasses for Pilots: Beyond the Image“, *Publication AM-400-05/1*, [Online]. Verfügbar unter: <https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/sunglasses.pdf>
- [12] N. Vb, M. Rw, und M. Wj, „Optical Radiation Transmittance of Aircraft Windscreens and Pilot Vision“, *DOT/FAA/AM-07/20*, 2007, [Online]. Verfügbar unter: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/200720.pdf

8 Anhang

Im Anhang werden die vollständigen ergänzenden Darstellungen dokumentiert, insbesondere:

- Vollbereichsdarstellungen 1–1000 m über Grund für die im Haupttext gezeigten Varianten,
- maximale Tagesminuten,
- schwellenbezogene Dauerplots $> 50.000 \text{ cd/m}^2$, $> 100.000 \text{ cd/m}^2$, $> 500.000 \text{ cd/m}^2$ und ggf. $> 1.000.000 \text{ cd/m}^2$.

Im Haupttext liegt der Schwerpunkt aufgrund der flugbetrieblichen Rückmeldung auf der maximalen Leuchtdichte sowie ergänzend auf der Dauer oberhalb der Schwellen 50.000 cd/m^2 und 100.000 cd/m^2 .

Die Ergebnisdarstellung erfolgt analog zur bisherigen Gutachtenstruktur mit eingebetteten Ergebnisdiagrammen. Für Jeßnigk West 2 wird die Anzahl der Abbildungen im Haupttext bewusst begrenzt. Im Haupttext werden diejenigen Darstellungen gezeigt, die für die flugbetriebliche Bewertung und den Variantenvergleich unmittelbar erforderlich sind. Die vollständigen weiteren Auswertungen werden im Anhang dokumentiert.

8.1 V1 - Ausgangsvariante 161° / 15°

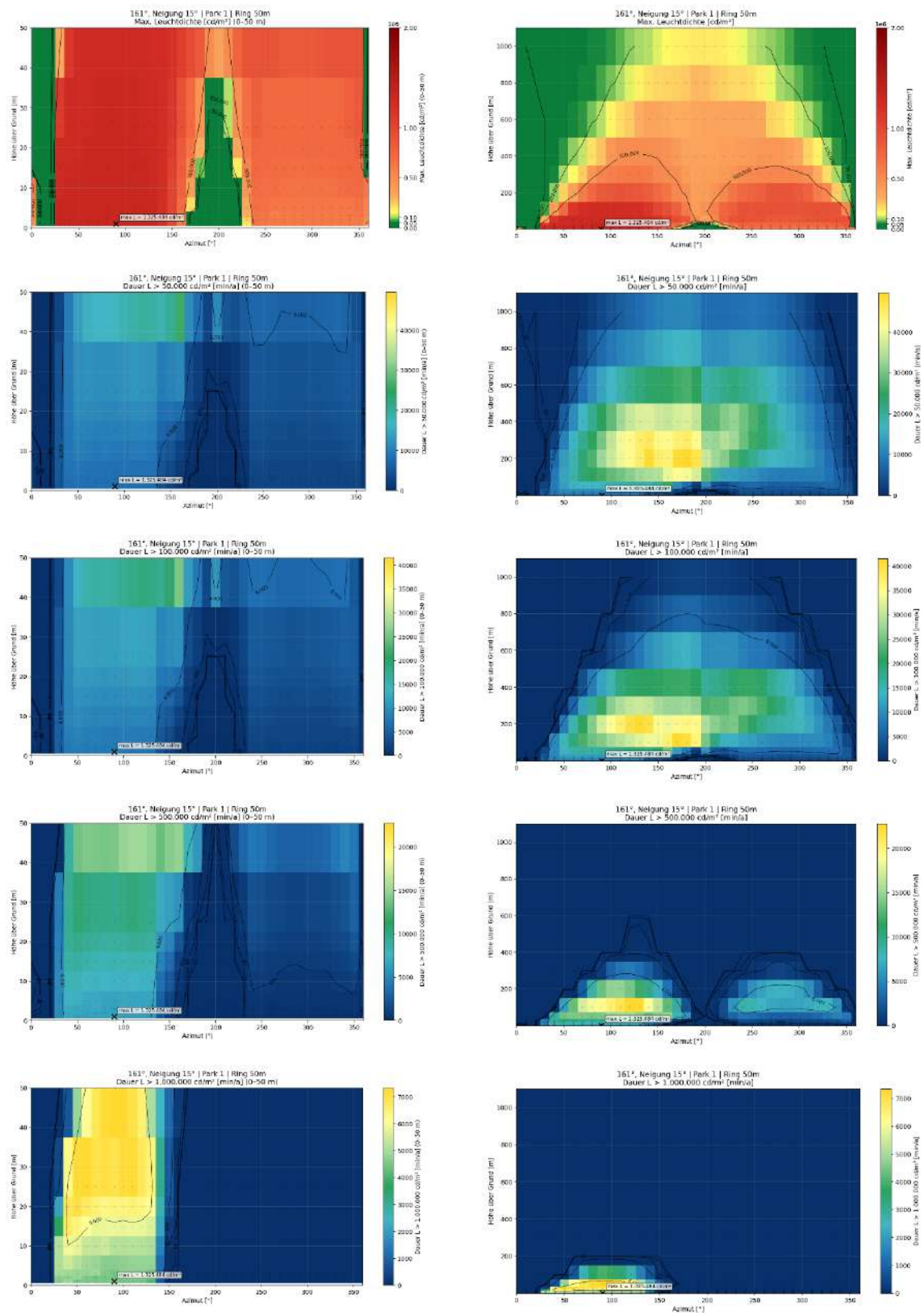


Abbildung 17: 161° / 15°, Zylinder 50 m– maximale Leuchtdichte und Blenddauer für verschiedene Reflektionsintensitäten

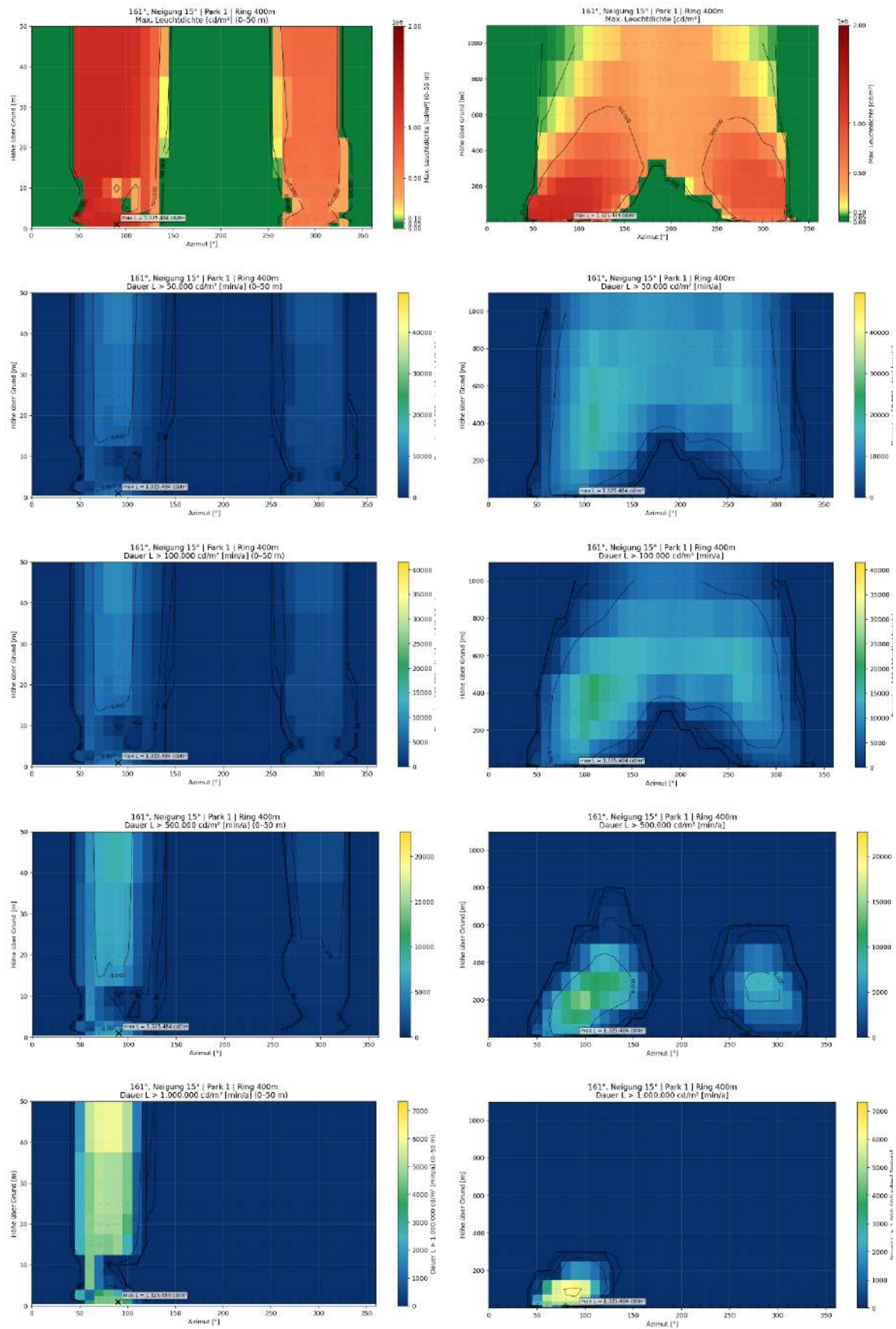


Abbildung 18: 161° / 15°, Zylinder 400 m – maximale Leuchtdichte und Blenddauern für verschiedene Reflektionsintensitäten

8.2 V3 - Einfluss des Anlagenazimuts – 180° / 15°

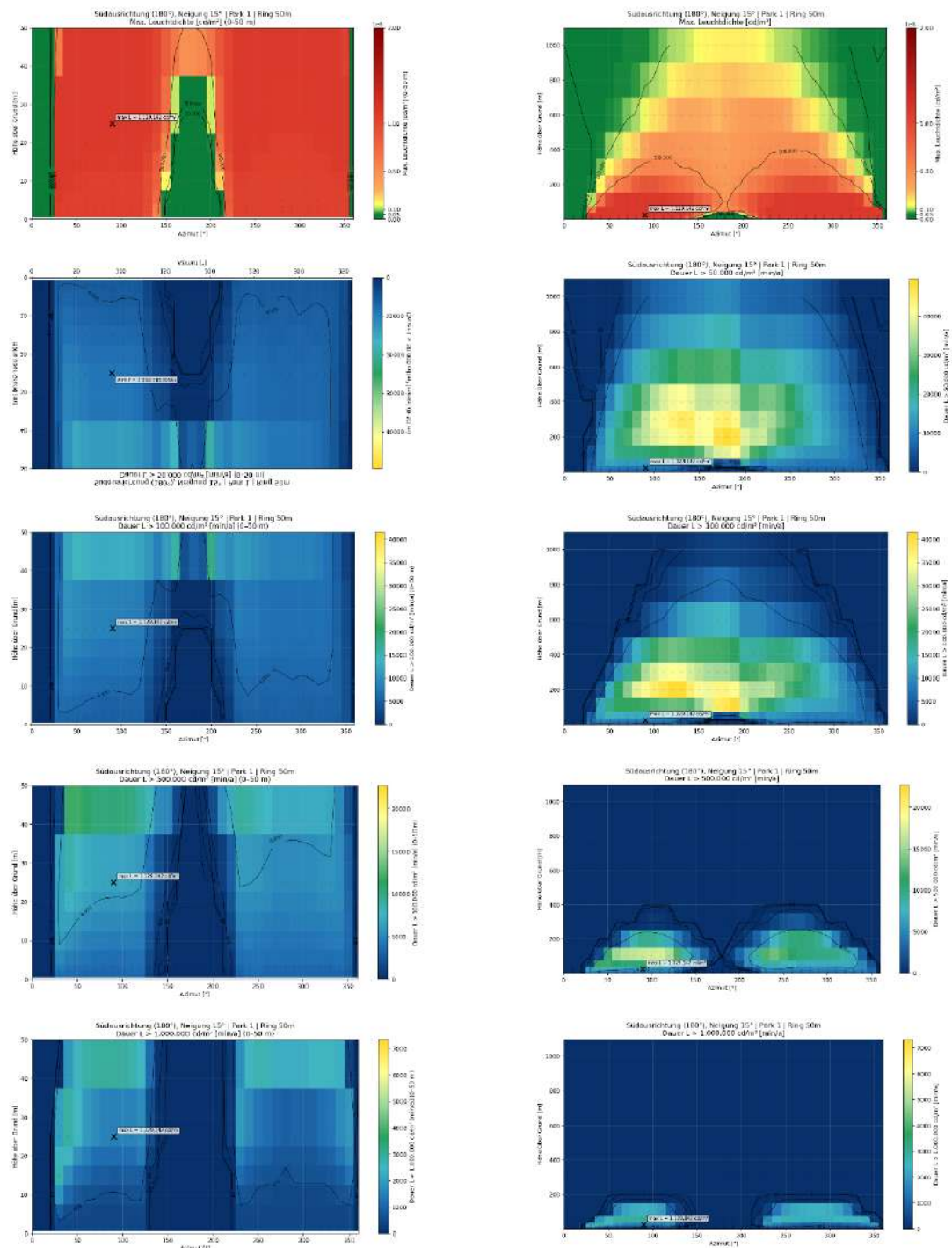


Abbildung 19: 161° / 15°, Zylinder 50m – maximale Leuchtdichte und Blenddauern für verschiedene Reflektionsintensitäten

8.3 V6 – Blendarm 161° / 15°

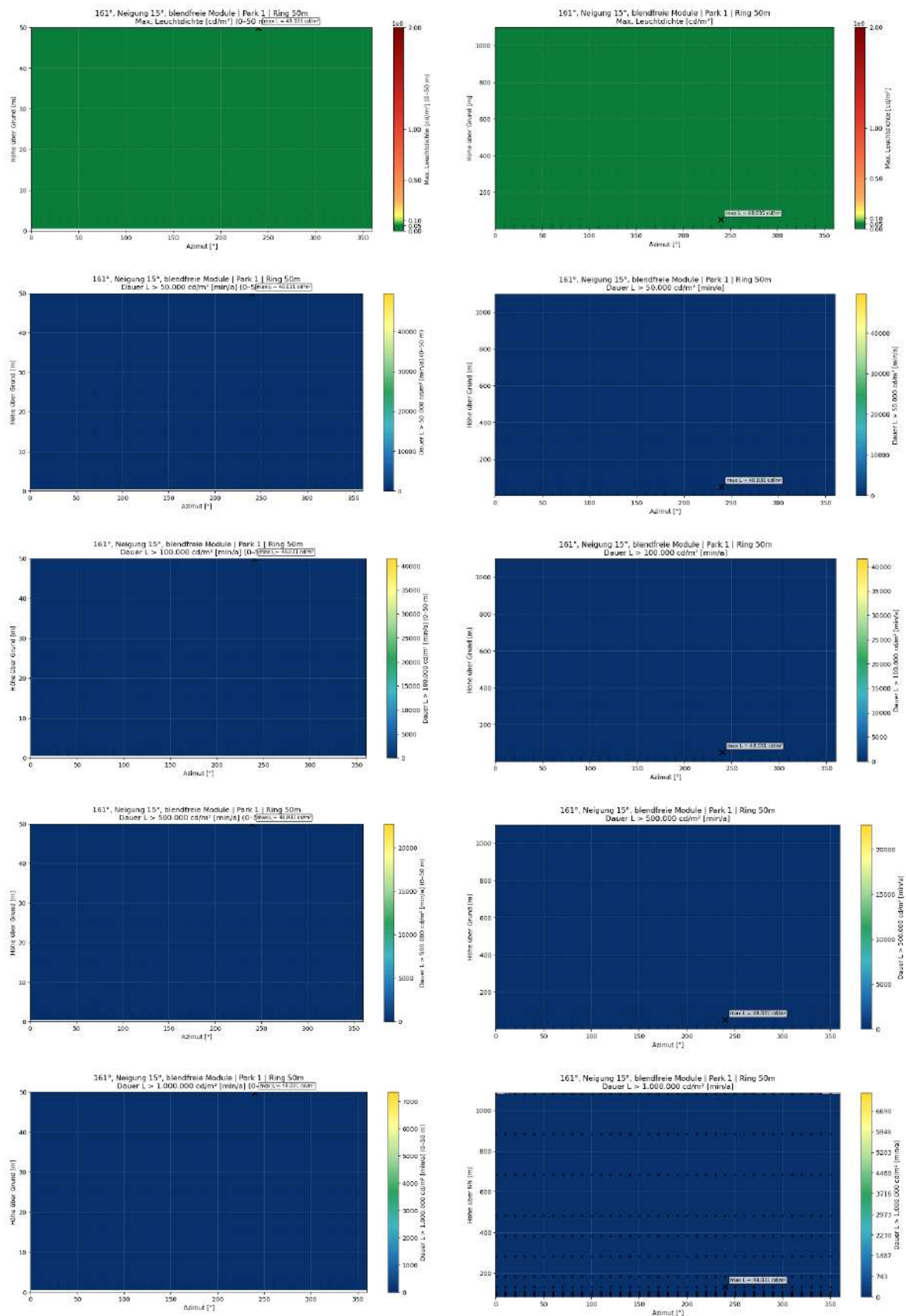


Abbildung 20: 161° / 15°, Zylinder 50 m – maximale Leuchtdichte und Blenddauern für verschiedene Reflektionsintensitäten

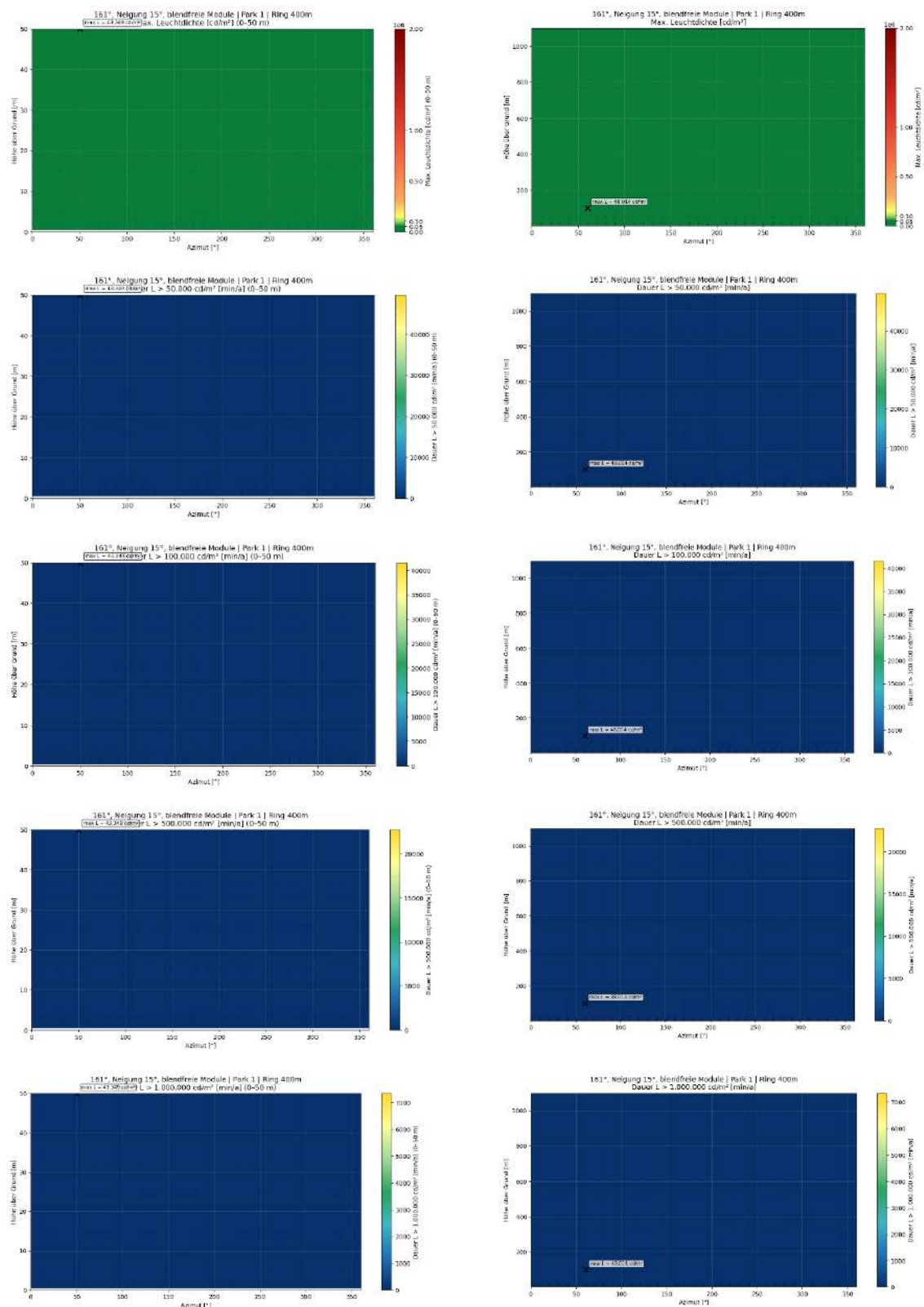


Abbildung 21: 161° / 15°, Zylinder 400 m – maximale Leuchtdichte und Blenddauern für verschiedene Reflektionsintensitäten

8.4 V7 – Blendarm 180° / 15°

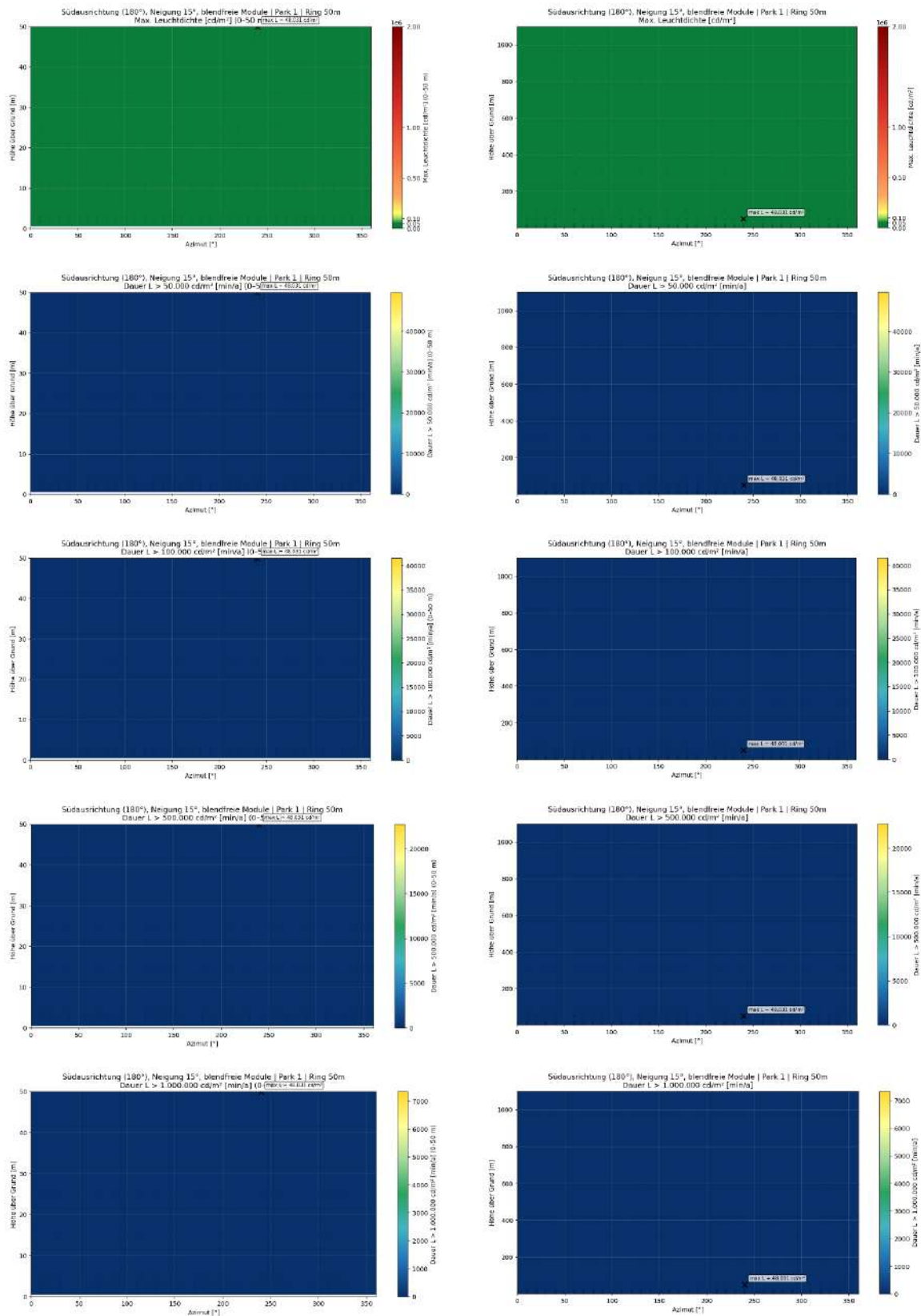


Abbildung 22: 180° / 15°, Zylinder 50 m– maximale Leuchtdichte und Blendauern für verschiedene Reflektivintensitäten