



**Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V.**  
International Solar Energy Society, German Section

DGS Landesverband Berlin Brandenburg e.V.

Erich-Steinfurth-Str. 8

10243 Berlin

**Phone** +49 (030) 29 38 12 60

**Email** dgs@dgs-berlin.de

**Web** www.dgs-berlin.de

## **Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für die PV-Anlage Kyritz**

Anlage: PVA Kyritz  
52.920706°, 12.422195°  
16866, Kyritz

in Auftrag gegeben von: DEG Sonne + Wärme GmbH  
Schmiedestrang 22  
33415 Verl

Projektnummer: A-LV24/0139

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: M. Sc. Markus Stich

Berlin, 31.07.2024

Handelsregister:  
Amtsgericht  
Charlottenburg  
HRB 90823 B

Bankverbindung:  
Bank für Sozialwirtschaft  
BLZ 100 205 00  
Konto 130 96 00

U-ID-Nr.: DE 813844044  
Steuer-Nr.: 37/259/32257  
BIC: BFSWDE33BER  
IBAN: DE 84 1002 0500 00013 09600

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Beschreibung der Umgebung .....	3
3	Beschreibung der PV-Anlage.....	4
4	Grundlagen der Optik.....	5
	4.1 Geometrische Reflexionssituation.....	5
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen .....	6
	4.3 Blendung.....	8
5	Methodik der Untersuchung .....	9
6	Auswertung .....	10
7	Zusammenfassung.....	15
8	Literaturverzeichnis .....	16
9	Abbildungsverzeichnis.....	17
10	Gewährleistung .....	18

## 1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission der geplanten PV-Anlage (PVA) Kyritz und die damit einhergehende potenzielle Beeinträchtigung der Umgebung untersucht und nach den *Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen* (kurz: LAI) der *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz* bewertet. Es werden Zeitraum und Immissionswinkel potenzieller Blendung ermittelt und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen erarbeitet, um eine solche zu verhindern.

## 2 Beschreibung der Umgebung

Die PVA liegt südlich der Stadt Kyritz im Landkreis Ostprignitz-Ruppin im Nordwesten von Brandenburg. Die Modulflächen liegen auf dem Gelände des Flugplatz Kyritz. Nordöstlich der PVA verläuft die B5, südwestlich die Bahntrasse Wusterhausen – Kyritz, im Südosten liegt die Ortschaft Heinrichsfelde. Das Gelände ist eben. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben.



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

### 3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist mit einer DC-Leistung von ca. 25,5 MWp geplant, der Belegungsplan ist in Abbildung 2 dargestellt. Vorgesehen sind für beide Modulflächen Südausrichtungen mit ca. 178° Azimut bei einem Neigungswinkel von 15°. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz mit drei im Hochformat (portrait) ausgerichteten Modulen über die Tischbreite. Die Höhe der Modulunterkante liegt bei ca. 0,8 m und die Moduloberkante bei 2,65 m. Die Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 dargestellt.



Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

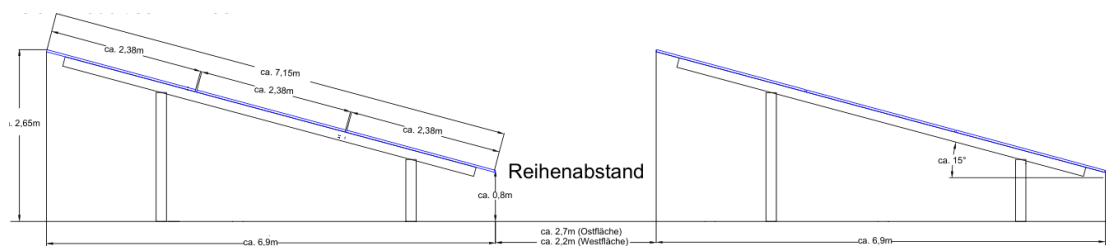


Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber)

## 4 Grundlagen der Optik

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

### 4.1 Geometrische Reflexionssituation

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

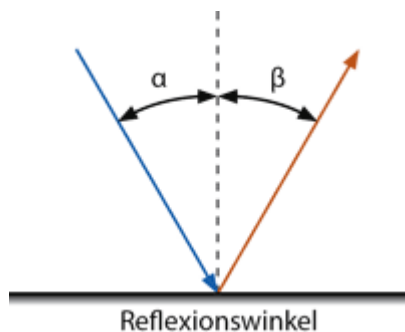


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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

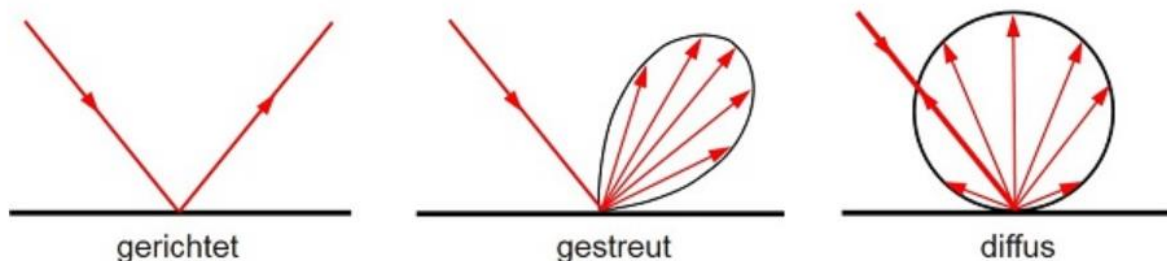


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

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

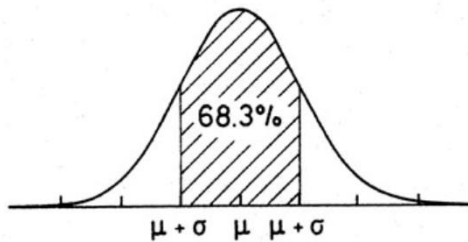


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

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

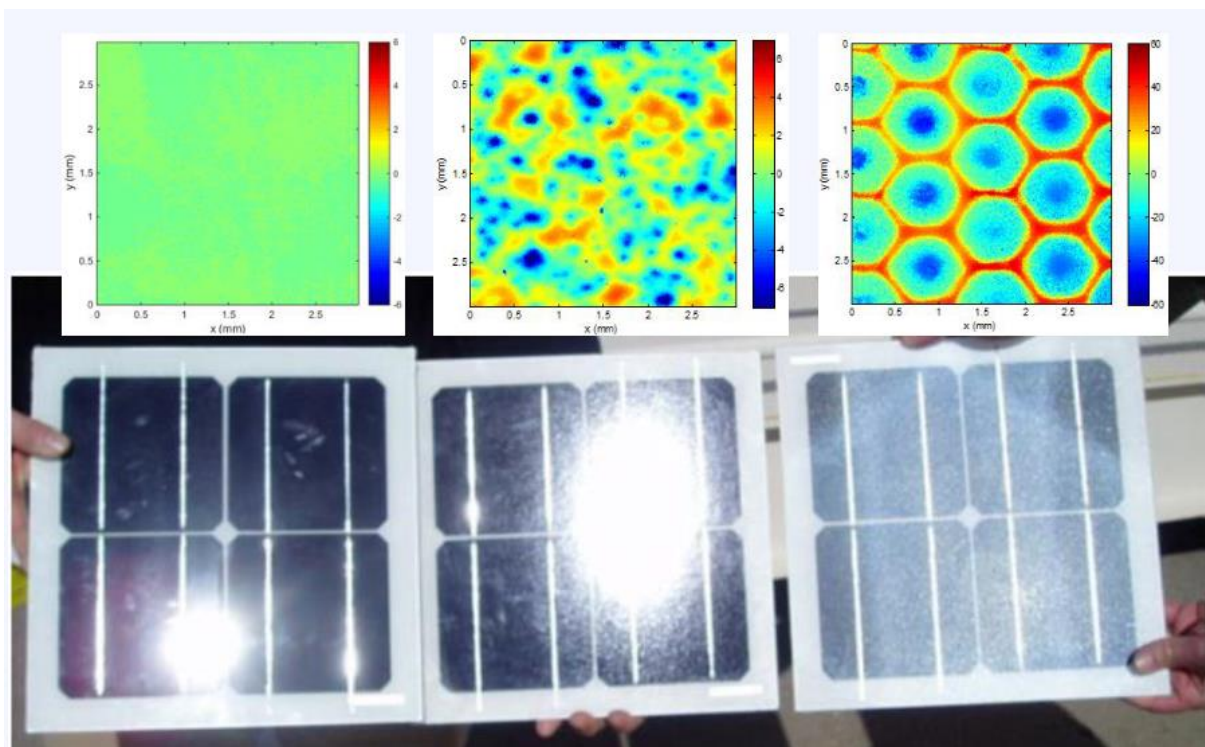


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20mrad (1,15°), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweitung von 92-184 mrad (5,27-10,56°) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad (57°) gemessen [2]. Während leicht bis mittelstark strukturiertes Glas bereits als Standardprodukt vertrieben wird, handelt es sich bei tief-strukturiertem Glas noch nicht um Massenware, da die Herstellung mit erheblichen Mehrkosten einhergeht. Alternativ ist jedoch auch das Aufbringen geeigneter Folien oder das Verwenden von satiniertem Glas eine Möglichkeit, um beinahe vollständig blendfreie Module herstellen, siehe Abbildung 8.



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

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

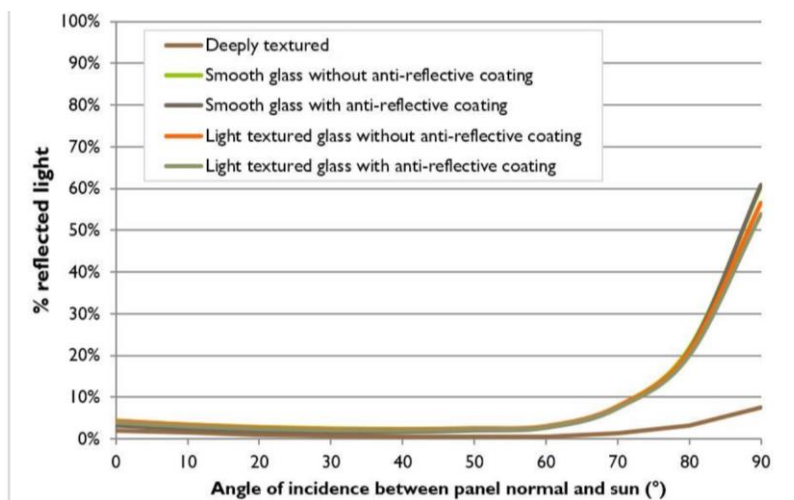


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

### 4.3 Blendung

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

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

Eine Beeinträchtigung der Sicht liegt vor, wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld), eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann. Dies wird in Abbildung 10 verdeutlicht: Erhöht sich die adaptive Helligkeit, erhöht sich auch die minimale Helligkeit, die ein Objekt haben muss, um gut erkennbar zu sein. Das Anpassungsvermögen an die Umgebungshelligkeit endet bei einer Helligkeit zwischen  $10^4 - 10^5 \text{ cd/m}^2$ , was dann als Absolutblendung bezeichnet wird. Ob es durch eine Blendquelle zu einer Absolutblendung kommt, hängt somit immer auch von der Blickrichtung zu dieser ab und ist in der Regel nur bei einer Blickrichtung direkt in die Blendquelle oder in deren direkte Nähe möglich.

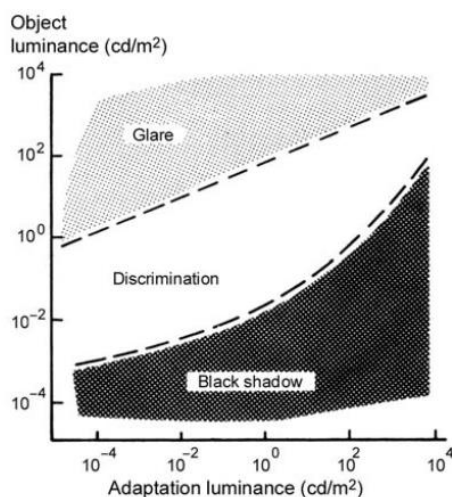


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

## 5 Methodik der Untersuchung

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

- Wohnräume
- Schlafräume einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume [6]

Ist einer dieser Räume von Blendung betroffen, wird überprüft, ob es zu einer erheblichen Belästigung im Sinne der LAI-Hinweise kommt. Derzeit gibt es dafür in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen, bzw. Grenzwerte. Die LAI-Hinweise leiten Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen [7] ab und definieren diese Bewertungsgrößen wie folgt:

*„[Gegenwärtig wird davon ausgegangen, dass...] eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG durch die maximal mögliche astronomische Blenddauer unter Berücksichtigung aller umliegenden Photovoltaikanlagen vorliegt, wenn diese **mindestens 30 Minuten am Tag oder 30 Stunden pro Kalenderjahr** beträgt.“* [6]

Liegt die Blenddauer unterhalb dieser Grenzwerte wird die Blendung als allgemein hinnehmbar bewertet. Auch der Österreichische Verband für Elektrotechnik veröffentlichte im November 2016 eine Richtlinie mit identischen Richtwerten für die Ermittlung von durch Blendung verursachter Belästigung [8]. Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit in folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr / Schienenverkehr / Schifffahrtsverkehr / Flugverkehr

Tritt in einem dieser Bereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegende Folgen haben. Es sollte deshalb beim Auftreten von potenzieller Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen. Zur Bewertung des Straßenverkehrs werden nur Reflexionen im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 30^\circ$  als relevant erachtet, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Reflexion im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 20^\circ$  berücksichtigt.

Für Blendung im Flugverkehr folgt das Gutachten der Beurteilung nach der *European Aviation Safety Agency 2017 - Certification Specifications and Guidance Material for Aerodromes Design (CS-ADR-DSN)* [9]. In dieser wird festgestellt, dass eine Blendung der Fluglotsen im Tower, sowie der Piloten beim Landeanflug und auf dem Flugfeld mit einem inakzeptablen Risiko verbunden ist. Als Grenzwert, ab wann eine Blendung auftreten kann, wird eine Leuchtdichte über  $20.000 \text{ cd/m}^2$  definiert.

## 6 Auswertung

Als relevante zu untersuchenden Immissionsorte werden die anliegende B5, die Bahntrasse, der Tower des Flugplatzes Kyritz und der Flugverkehr bei Start und Landung untersucht, sowie Wohnhäuser der Gemeinde Heinrichsfelde.

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird hierzu das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, dargestellt in Abbildung 11. In diesem ist die Richtung der möglichen Reflexionen der Sonne an der Modulfläche zu sehen. Dargestellt sind die sich ergebenden Reflexionsrichtungen in 6 Minuten Abständen über den Tag und in zwei Wochen Abständen über das Jahr. Reflexionen mit einem Höhenwinkel größer  $0^\circ$  gehen in Richtung Himmel, Reflexionen mit einem Azimut von  $90^\circ$  gehen in Richtung Osten.

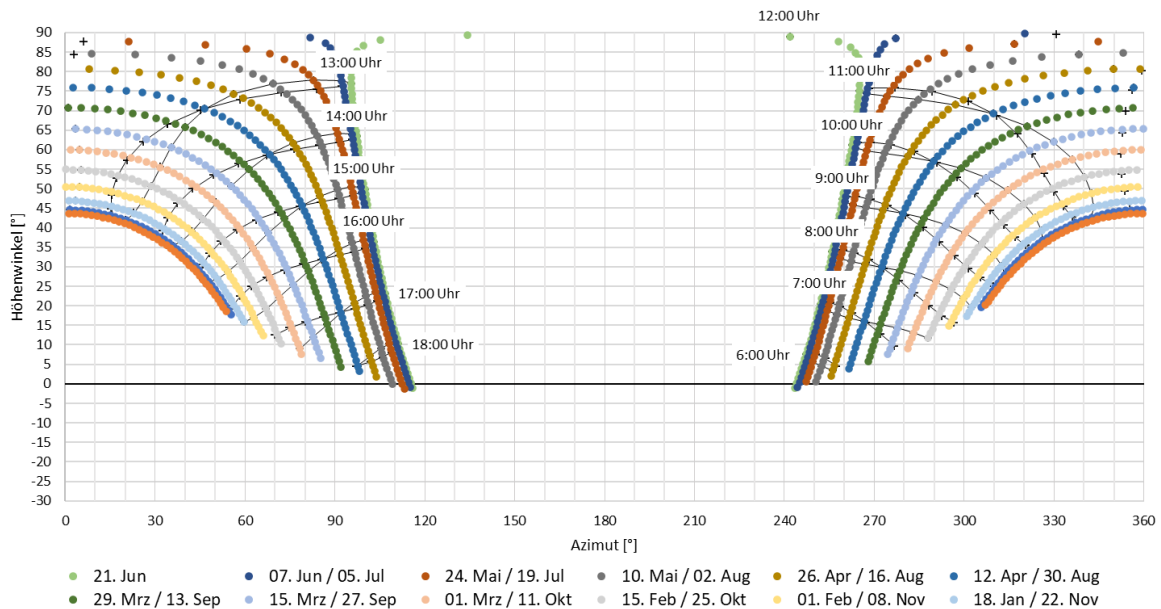


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulflächen mit  $178^\circ$  Süd-Ausrichtung,  $15^\circ$  Neigung, (UTC +1)

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis  $5^\circ$  in Richtung Osten zwischen  $91^\circ$  -  $116^\circ$  von März bis September auf und in Richtung Westen zwischen  $244^\circ$  -  $263^\circ$  von April bis August.

Nachfolgend werden die auftretenden Reflexionen für die einzelnen Immissionsorte untersucht und eingeordnet.

### B5

Die B5 verläuft mit  $141/321^\circ$  in Südost-Nordwest-Richtung. Für die Verkehrsteilnehmer wird ein relevanter Sichtwinkel von  $\pm 30^\circ$  in Fahrtrichtung angesetzt. Es resultieren hieraus relevante Immissionswinkel zwischen  $111 - 171^\circ$  in Fahrtrichtung Südosten und zwischen  $291 - 351^\circ$  in Fahrtrichtung Nordwesten.

Die Reflexionen liegen in Fahrtrichtung Nordwesten im relevanten Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer. Sie treten in mit einem Differenzwinkel ab  $25^\circ$  zur Fahrtrichtung auf und liegen damit fernab des zentralen Sichtfelds der Verkehrsteilnehmer von  $\pm 10^\circ$  zur Fahrtrichtung. Es ist daher nicht von einer relevanten Sichtbeeinträchtigung für den Verkehr auszugehen. Betroffen ist zudem nur der nördliche Streckenabschnitt, da weiter südlich ein sichtdichter Gehölzstreifen besteht. Es handelt sich weiter um einen geraden Streckenabschnitt, der weitere Streckenverlauf ist vor dem Auftreten der relevanten Reflexionen gut einsichtig. Eine Gefährdung der Verkehrssicherheit wird damit als sehr unwahrscheinlich erachtet. Es werden keine Blendschutzmaßnahmen für notwendig erachtet. Die Reflexionssituation ist in Abbildung 12 dargestellt.



Abbildung 12: Betroffener Streckenabschnitt auf der B5 in orange, relevantes Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in Gelb, Immissionswinkel in Rot, bestehender Gehölzstreifen in Grün (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies)

### Bahnstrecke

Die Bahnstrecke verläuft mit  $139//319^\circ$  in Südost-Nordwest-Richtung. Für den Zugführer wird ein relevanter Sichtwinkel von  $\pm 20^\circ$  in Fahrtrichtung angesetzt. Es resultieren hieraus relevante Immissionswinkel zwischen  $119 - 159^\circ$  in Fahrtrichtung Südosten und zwischen  $299 - 339^\circ$  in Fahrtrichtung Nordwesten.

Die Reflexionen treten mit einem Differenzwinkel ab  $36^\circ$  zur Fahrtrichtung auf und liegen damit nicht im relevanten Sichtfeld des Zugführers. Es ergibt sich damit keine Blendwirkung für den Bahnverkehr, eine Gefährdung der Verkehrssicherheit wird als äußerst unwahrscheinlich erachtet. Es sind daher aus Sicht des Gutachters keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.



Abbildung 13: Relevantes Sichtfeld des Bahnverkehrs in Gelb, Immissionswinkel in Rot (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies)

### Tower und Flugverkehr

Die Modulflächen liegen auf dem Gelände des Flughafens Kyritz, beidseitig der Start/Landebahnen. Es handelt sich um eine reguläre Asphaltpiste, eine Graspiste und zwei zusätzliche Start/Landebahnen für Segelflieger. Tower und Pisten sind in Abbildung 14 markiert.

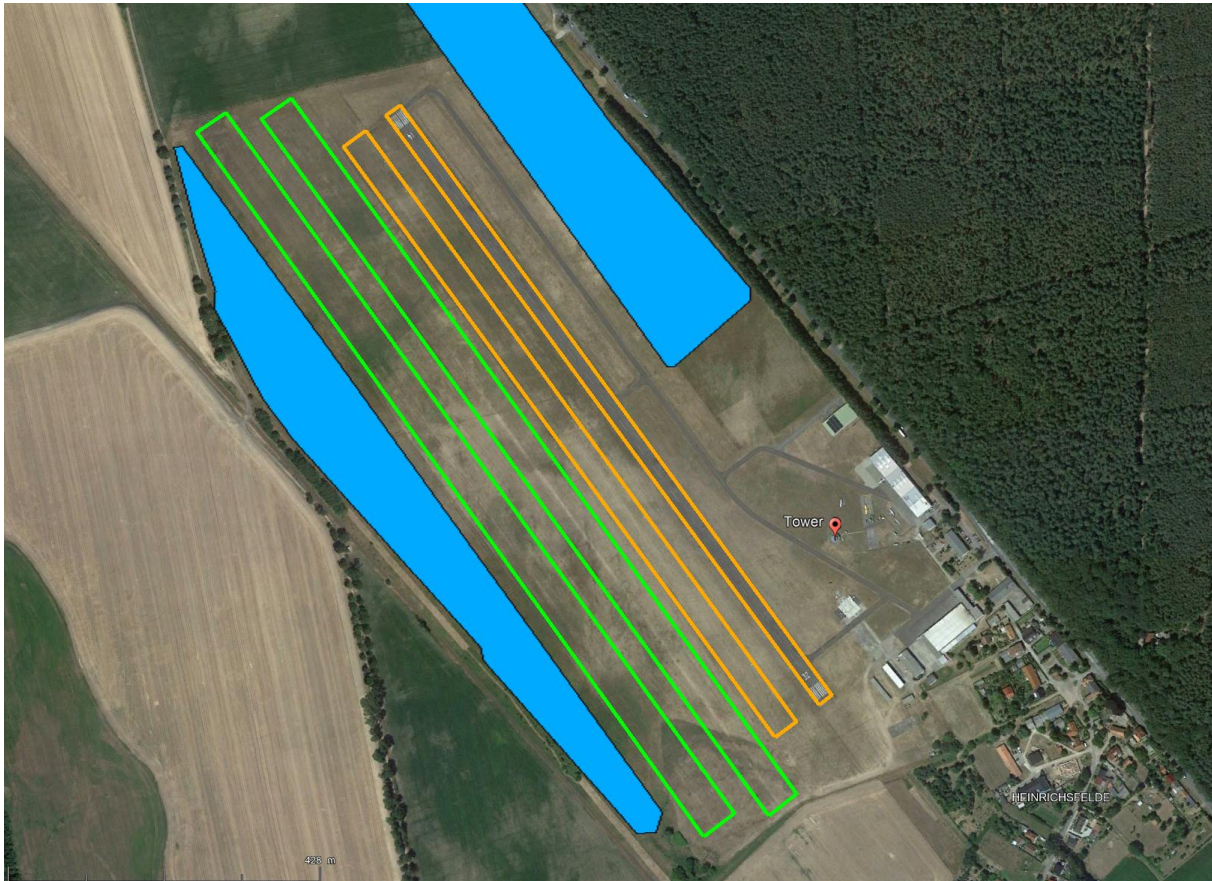


Abbildung 14: Pisten des Flughafens Kyritz in Orange, zusätzliche Start/Landebahnen für Segelflieger in Grün, Tower rot markiert (Quelle: Google Earth)

Der Tower liegt vom nordöstlichen Modulfeld in Richtung 134 - 160°. In dieser Richtung treten keine Reflexionen auf, der Tower ist daher nicht von Reflexionen des nordöstlichen Modulfelds betroffen.

Vom Südwestlichen Modulfeld liegt der Tower in Richtung 36 - 120°. Der Tower befindet sich hier in einer Entfernung von wenigstens 445 m vom Modulfeld. Mit einer Höhe von ca. 4 m über der Modulfläche sind also nur Höhenwinkel bis 0,51° relevant. Reflexionen mit größeren Höhenwinkeln gehen über den Tower hinweg. Mit diesen Höhenwinkeln sind gemäß Diagramm Reflexionen mit einem Immissionswinkel zwischen 289 - 295° von Mai bis Juli zwischen 19:30 bis 19:48 Uhr möglich. Die Betriebszeiten des Flughafens sind angegeben von 07:00 UTC - 17:00 UTC, also 9:00 Uhr bis 19:00 Uhr (UTC+2) im Sommerhalbjahr. Es sind also innerhalb der Betriebszeiten keine Reflexionen in Richtung des Towers möglich.

Die Lande/Startbahnen verlaufen mit 144//324° in Südost-Nordwest-Richtung. Die maximale Immissionshöhe wird auf 3 m über der Piste angesetzt. Die westlichste Landebahn für Segelflieger liegt in Richtung der auftretenden Reflexionen in einer Entfernung von wenigstens 40 m von der westlichen Modulfläche. Die östlichste Landebahn liegt in einer Entfernung von wenigstens 80 m von der östlichen Modulfläche entfernt. Es sind damit für die Piloten auf den Start/Landebahnen Höhenwinkel bis maximal 3° relevant. Es wird im Weiteren ein Landeanflug von ca. 3° angesetzt. Höhenwinkel größer 3° gehen damit, sowohl in Richtung der Piste als auch in Richtung der Anflugschneise über den Flugverkehr hinweg. Es sind damit auf den Flugverkehr auf Start/Landebahnen und den Einflug/Abflugschneisen Reflexionen mit Immissionswinkeln zwischen 283 - 295° vom südwestlich PV-Feld und zwischen 64-76° vom nordöstlich Modulfeld möglich. Diese Reflexionen treten gemäß Reflexionsdiagramm in Richtung Osten von April bis August ab 19:00 Uhr (UTC+2) auf und in Richtung Westen von Mai bis August bis 6:30 Uhr (UTC+2) auf. Die Betriebszeiten des Flughafens sind angegeben von 07:00 UTC - 17:00 UTC, also 9:00 Uhr bis 19:00 Uhr (UTC+2) im Sommerhalbjahr. Es treten also während der Betriebszeiten keine Reflexionen auf den Start/Landebahnen bzw. in den An/Abflugschneisen auf.

Gemäß Planungsunterlagen ist eine Verlängerung der nordöstlichen Piste um 250 m in Richtung Nordwesten geplant. Die Ergebnisse der Auswertung ändern sich mit einer Verlängerung der Piste nicht.

Beim Überfliegen der Modulflächen oder auch beim Durchfliegen der Platzrunde kann es bei Blick in Richtung der Modulflächen je nach genauer Position und Uhrzeit vereinzelt zu direkter Reflexion der Modulfläche kommen. Eine Gefährdung der Luftsicherheit geht durch diese Reflexionen jedoch nicht aus, da es sich nicht um konzentrierende Photovoltaik handelt.

#### Wohnbebauung Heinrichsfelde

Die Ortschaft Heinrichsfelde liegt südöstlich der Modulflächen, in Richtung 59 - 139° vom östlichen Modulfeld und in Richtung 122 - 165° vom westlichen Modulfeld. Es können demnach nur durch den südlichen Teil der westlichen Modulfläche Reflexionen in Richtung der Wohnhäuser auftreten. Die Wohnhäuser der Ortschaft liegen hier in einer Entfernung von wenigstens 430 m von der Modulfläche entfernt. Für Immissionsorte im 1.OG mit einer angenommenen Immissionshöhe von 4,7 m sind damit nur Höhenwinkel bis 0,52° relevant, für Immissionsorte im Erdgeschoss noch geringere Höhenwinkel. In diesem Bereich sind damit über das gesamte Jahr Reflexionen mit einer gesamten Dauer von ca. 5,6 Stunden und mit bis zu 6 Minuten täglich möglich. Diese potenziellen Zeiträume liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte, welche von den LAI-Hinweisen vorgeschlagen werden (30 Minuten pro Tag bzw. 30 Stunden pro Jahr). Eine erhebliche Beeinträchtigung der Anwohner der Ortschaft Heinrichsfelde durch Reflexionen an den Modulflächen wird daher auf Basis der LAI-Hinweise ausgeschlossen.

## **7 Zusammenfassung**

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen des geplanten Solarparks Kyritz für die Ortschaft Heinrichsfelde, den Verkehr der B5, der anliegenden Bahntrasse Wusterhausen – Kyritz, den Tower des Flugplatzes Kyritz und den Flugverkehr in den Anflug/Abflugschneisen, sowie auf den beiden Pisten untersucht.

Das Gutachten kommt auf Basis der Strahlengeometrie zu dem Schluss, dass für den Verkehr auf der B5 in Richtung Norden Reflexion im äußeren Bereich des relevanten Sichtfelds auftreten können. Es ist nicht von einer relevanten Wahrnehmungsbeeinträchtigung durch diese Reflexionen auszugehen. Sie stellen daher aus Sicht des Gutachters keine Gefährdung für die Verkehrssicherheit dar.

Weiter stellt das Gutachten fest, dass keine Reflexionen im relevanten Sichtfeld des Bahnverkehr auftreten.

In Richtung des Towers, der Start/Landebahnen und der Einflug/Abflugschneisen kommt es während der angegebenen Betriebszeiten des Flughafens zu keinen Reflexionen. Eine Beeinträchtigung der Luftsicherheit durch Reflexionen an den Modulflächen wird damit ausgeschlossen.

In Richtung der Ortschaft Heinrichsfelde können Reflexionen durch den südlichen Teil der westlichen Modulfläche auftreten. Die potenziellen Blenddauern liegen jedoch deutlich unterhalb der Grenzwerte, welche von den LAI-Hinweisen vorgeschlagen werden. Eine erhebliche Beeinträchtigung der Anwohner der Ortschaft Heinrichsfelde durch Reflexionen an den Modulflächen wird daher auf Basis der LAI-Hinweise ausgeschlossen.

Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] J. Trempler, *Optische Eigenschaften*, München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- [2] J. Y. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and GlintGlare Impacts,“ in *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability*, Albuquerque, New Mexico, 2015.
- [3] C. Bucher, „bulletin.ch,“ 24 September 2021. [Online]. Available: <https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>.
- [4] P. Warthmann, „gebaeudetechnik.ch,“ 15 Oktober 2021. [Online]. Available: <https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.
- [5] P. R. Boyce, *Human Factors in Lightning*, Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [6] K. u. E. B.-W. a. V. d. B.-A. f. I. (. Ministerium für Umwelt, „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI),“ 2012.
- [7] L. f. Immissionsschutz, „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung,“ 2002.
- [8] OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik, *Blendung durch Photovoltaikanlagen*, Wien, 2016.
- [9] E. U. A. S. Agency, „Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design (CS-ADR-DSN) Issue 6,“ 2022.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modulflächen der geplanten PVA in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 3: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	5
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1].....	5
Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung .....	6
Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2] .....	6
Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4] .....	7
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2] .....	7
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekhelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5] .....	8
Abbildung 11: Reflexionsdiagramm der Modulflächen mit 178° Süd-Ausrichtung, 15° Neigung, (UTC +1).....	10
Abbildung 12: Betroffener Streckenabschnitt auf der B5 in orange, relevantes Sichtfeld der Verkehrsteilnehmer in Gelb, Immissionswinkel in Rot, bestehender Gehölzstreifen in Grün (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies).....	11
Abbildung 13: Relevantes Sichtfeld des Bahnverkehrs in Gelb, Immissionswinkel in Rot (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies) .....	12
Abbildung 14: Start/Landebahnen des Flughafen Kyritz in Orange, Tower rot markiert (Quelle: Google Earth, Maxar Technologies) .....	13

## 10 Gewährleistung

Unsere Fachgutachten werden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Die Messungen, Bewertungen, Berechnungen und Simulationen werden entsprechend dem Stand der Wissenschaft und Technik und den anerkannten Regeln der Technik mit größtmöglicher Sorgfalt vorgenommen.

Die Fachgutachten erfolgen auf Basis der vom Auftraggeber übermittelten Informationen und Planungsunterlagen. Diese werden einer fachkritischen Wertung unterzogen. Die Informationen zu den technischen Parametern der einzelnen Komponenten werden soweit möglich mit Herstellerangaben abgeglichen. Dabei wird die Eignung der Komponenten anhand der entsprechenden Zertifikate oder anderer Nachweise geprüft. Der Gutachter unterstellt dabei, dass die für die Komponenten geltenden anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Für Fehlangaben des Auftraggebers sowie modellbedingte Abweichungen hat der Gutachter nicht einzustehen. Die in den Fachgutachten verwendeten Messungen sind mit Messunsicherheiten behaftet. Die Bewertungen anhand von Berechnungen sind mit Unsicherheiten in der Modellierung verbunden. Somit können Abweichungen zwischen den gemessenen und berechneten Werten zu den tatsächlichen Werten nicht ausgeschlossen werden. Der Gutachter ist bestrebt, die Abweichungen gering zu halten.

Für einfache und grobe Fahrlässigkeit gilt eine Haftungsbegrenzung auf folgende Beträge:

1. Die Haftung für einfache Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 100.000 € beschränkt.
2. Die Haftung für alle sonstigen Fälle der Fahrlässigkeit ist auf einen Betrag von 200.000 € begrenzt.
3. Die Haftung für Schäden aus der Verletzung des Lebens, des Körpers oder der Gesundheit wird durch die vereinbarten Haftungsbegrenzungen nicht berührt. Das gleiche gilt für die Haftung wegen Vorsatz.