



MAPRONEA
GMBH

BLENDANALYSE

PVA SCHÖNWALDE I

VORHABENTRÄGER:
TRIANEL ENERGIEPROJEKTE GMBH
ERSTELLER: F. Faß

INHALT

0.1.0 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	2
0.2.0 BEAUFTRAGUNG	2
1.0.0 METHODIK	3
1.1.0 EINGESETZTE HILFSMITTEL	3
1.2.0 GRUNDSÄTZLICHE BLENDUNG.....	3
1.3.0 PHYSIKALISCHE BLENDUNG	4
1.3.1 VERKEHR	11
1.4.0 PSYCHOLOGISCHE BLENDUNG.....	12
1.4.1 ASTRONOMISCHE BLENDZEITEN	13
1.4.2 ZULÄSSIGES BLENDMAß.....	15
2.0.0 ANALYSE.....	17
2.1.0 PROJEKTÜBERSICHT.....	17
2.2.0 BEOBACHTUNGSPUNKTE/- STRECKEN	19
2.2.1 VERKEHRSLINIE A: BAHNSTRECKE	19
2.2.1.A BAHNSTRECKE BEI DEN WESTLICHEN BAUFELDERN....	20
2.2.1.B BAHNSTRECKE BEI DEN ZENTRALEN BAUFELDERN	23
2.2.1.C BAHNSTRECKE BEI DEN ÖSTLICHEN BAUFELDERN	26
2.2.2 VERKEHRSLINIE B: GEMEINDESTRABE	28
2.2.3 GEMEINDE DARGITZ	29
3.0.0 ZUSAMMENFASSUNG.....	31
4.0.0 GEWÄHRLEISTUNG	32
5.0.0 LITERATURVERZEICHNIS	32

0.1.0 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

LAI	Norm im Bereich Lichtimmissionen: „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgruppe für Immissionsschutz“
F-PVA	Photovoltaik-Freiflächenanlage
r_B	Streuungsradius am Punkt des Betrachters
d_{\min}	minimale Distanz zwischen
L_B	Leuchtdichte beim Betrachter
L_M	ausgehende Leuchtdichte vom Modul
L_U	Umgebungsleuchtdichte
A_S	Streuungsfläche
K_S	spezifisches Blendmaß (standortspezifisch)

0.2.0 BEAUFTRAGUNG

Die Trianel Energieprojekte GmbH & Co. KG vertritt als Stadtwerkeverbund kommunale und überregionale Interessen. Ein wichtiger Teil dieses Engagements bezieht sich auf den Ausbau der Erneuerbaren Energien. Innerhalb dieses Bereiches wird die Projektierung von Solarenergie fokussiert, bei welchem vor allem das Bauleitverfahren von Photovoltaik-Freiflächenanlagen eine Hauptaufgabe ist.

Im Zuge der Bauleitverfahren für den Bebauungsplan „Solarpark an der Bahn“ in der Gemeinde Schönwalde (im Folgenden „Projekt Schönwalde“ genannt) wurde die MAPRONEA GmbH mit einer Blendanalyse beauftragt.

1.0.0 METHODIK

1.1.0 EINGESETZTE HILFSMITTEL

Für die Berechnung der potentiellen Strahlungsstärken als auch Dauer und Zeiten von Strahlungen/Reflexionen, welche im weiteren Teil von Methodik beschrieben werden, wurde die Simulationssoftware „Forge Solar“ mit der Version 2023C.1 verwendet.

Lagepläne wurden mit Hilfe von QGis Vers.: 3.28.4 erstellt.

Die schriftliche Umsetzung erfolgte mit Microsoft Office 365.

1.2.0 GRUNDSÄTZLICHE BLENDUNG

Die Abhandlung „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgruppe für Immissionsschutz“ (im weiteren Verlauf als „LAI“ bezeichnet) wird in dieser Analyse als maßgebliche Richtlinie verwendet.

Entsprechend der LAI gehört Licht zu den Emissionen und Immissionen im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (§3 Abs.2 BImSchG). Abhängig von Art, Ausmaß und/oder Dauer können potentielle Gefahren/erhebliche Nachteile/Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft entstehen.

Immissionen sind Einwirkungen, welche zu Belästigungen oder Gefahren führen und zu vermeiden sind. Die LAI wurde in diesem Sinne erstellt, um Bemessungswerte fest zu legen, welche als Grenz- oder Schwellenwerte zu verstehen sind, ab wann von potentiell gefährdender oder belästigender Immissionswirkung zu sprechen ist. Wird eine dieser Immissionswirkungen erkannt, so wird von Blendung gesprochen.

Blendwirkung wird in psychologische und in physiologische Blendung unterschieden. Physiologische Blendung beschreibt hierbei die Minderung des Sehvermögens durch Streulicht im Glaskörper des Auges. Mit psychologischer Blendwirkung ist die subjektive Belästigung durch eine ständige und ungewollte Ablenkung gemeint. Diese entsteht nicht direkt durch eine starke Lichteinwirkung oder Aufhellung, sondern eher dadurch,

dass sich die Lichtquelle deutlich von der Umgebungsleuchtdichte unterscheidet und damit den Blickfokus auf sich zieht.

Es kann also gesagt werden, dass innerhalb dieser Analyse hauptsächlich zwei Arten von Immissionswirkungen untersucht werden. Einerseits die physiologische Blendwirkung, welche sich durch direkte Auswirkung von Lichtstärke definiert, und andererseits die psychologische Blendwirkung, welche durch eine Art „ungewollte Aufmerksamkeit“ erzeugt wird. Für beide Blendwirkungen sind innerhalb der LAI-Grenzwerte festgelegt, welche auch in dieser Analyse angesetzt werden.

1.3.0 PHYSIKALISCHE BLENDUNG

Eine Photovoltaik-Freiflächenanlage (F-PVA), wie die Vorliegende, stellt selbst keine Lichtquelle dar. Das heißt die installierten Komponenten können selbst keine Lichtwellen erzeugen, welche zu den genannten Blendwirkungen führen. Die Lichtemissionen einer F-PVA resultieren aus der Reflexionswirkung der Module.

Photovoltaikmodule sind in Schichten aufgebaut. Die oberste Schicht besteht aus gehärtetem Glas, aus welchem sich das Potential für eine Reflexion ergibt (Abb. 1).

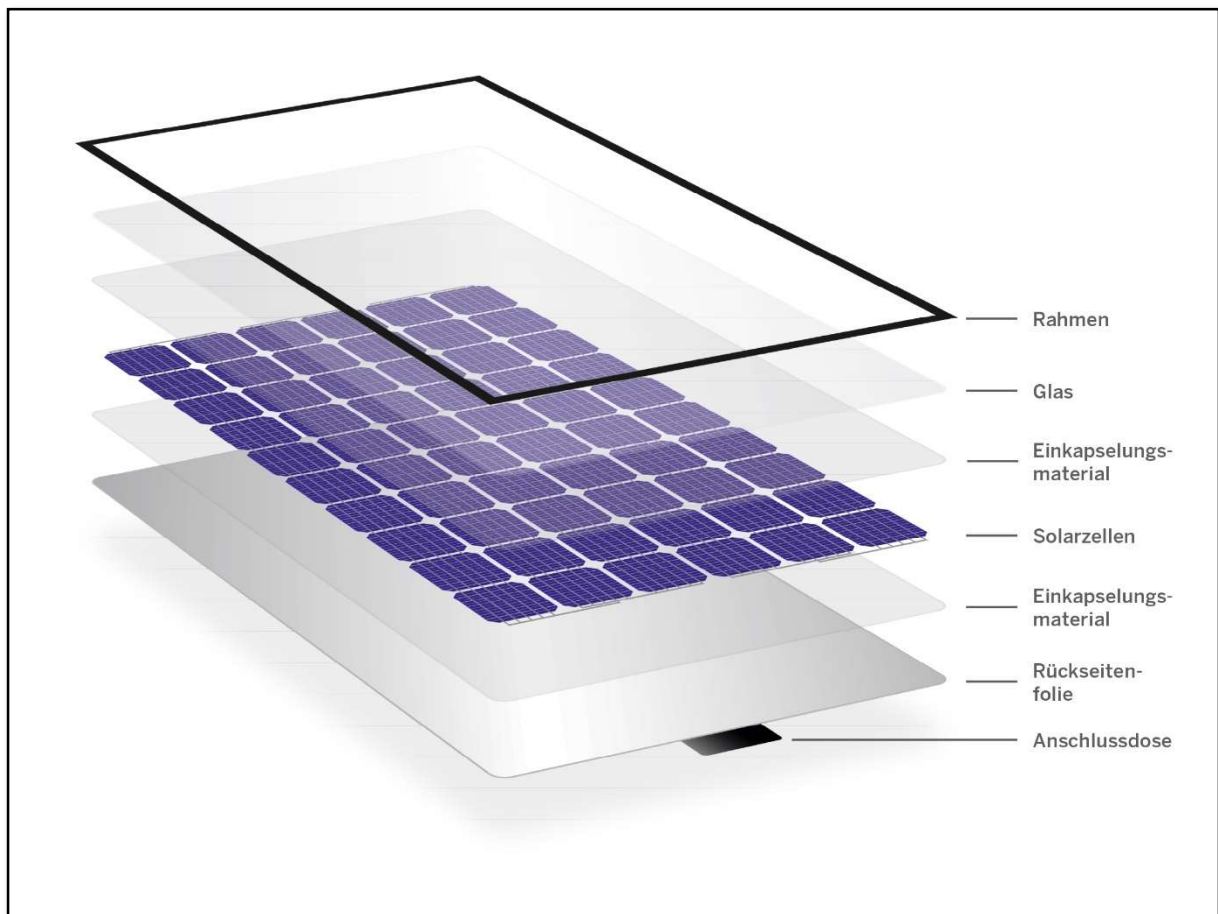


Abb. 1: zeigt den Aufbau eines Photovoltaik Modules

Quelle: <https://www.ibc-blog.de/2018/09/was-ist-eigentlich-lhs-hc-mbb/>

Für die Berechnung der Intensität der Lichtemissionen sind die Reflexionseigenschaften der Module elementar. Photovoltaikmodule werden mit einer Glasplatte gefertigt, welche eine strukturierte Oberfläche aufweist. Durch die so entstehende Streuung des einfallenden Lichtes wird mehr Licht im Modul absorbiert, was den Stromertrag in Zeiten erhöht, bei denen die Sonnenstrahlung seitlich auf die Module trifft. Der passive Nebeneffekt ist, dass einerseits weniger Licht reflektiert wird und andererseits, dass das reflektierte Licht keine perfekt gespiegelte Reflexion ist. Die Charakteristik der Reflexion weist einen stark erhöhten Diffusanteil auf. (Abb. 2)

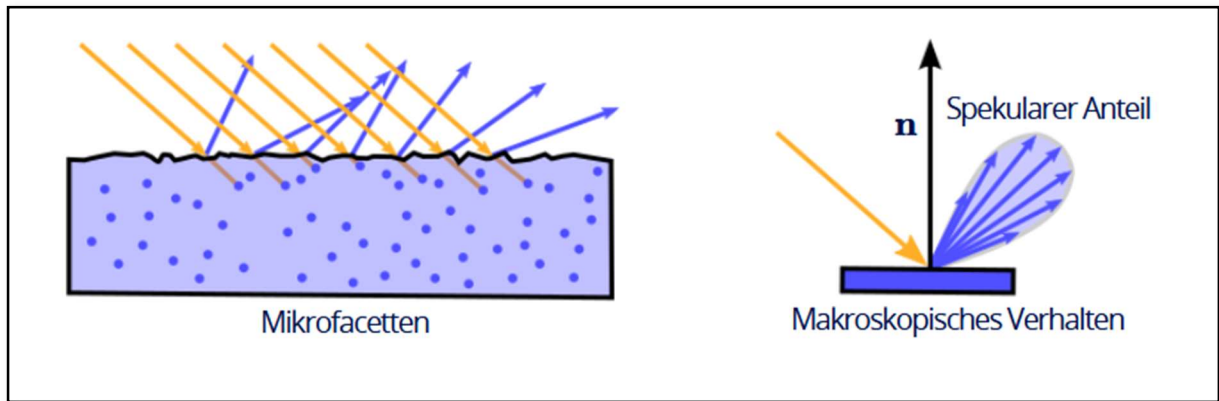


Abb. 2: links = schematische Zeichnung der strukturierten Oberfläche von PV-Modulen; rechts = zeigt schematisch das Streuverhalten von Reflexionen an Solarmodulen

Quelle: Thorsten Thormählen, 12. Dezember 2022; Vortrag: Grafikprogrammierung Licht und Materialien; Philipps-Universität Marburg / Fachbereich Mathematik und Informatik

Den Modulen wird auf diese Weise also bereits bei der Produktion die grundsätzliche Eigenschaft mitgegeben, möglichst viel Licht zu absorbieren. Dieser Effekt wird bei der Berechnung der Reflexionen in Abhängigkeit zu dem Einfallswinkel berücksichtigt.

In dem folgenden Diagramm wird ersichtlich, dass vor allem seitliche Einstrahlung auf das Modul für die Berechnung der Modulreflexionen von Bedeutung sind und orthogonal auf das Modul treffende Strahlung fast vollständig absorbiert wird. (Abb. 3)

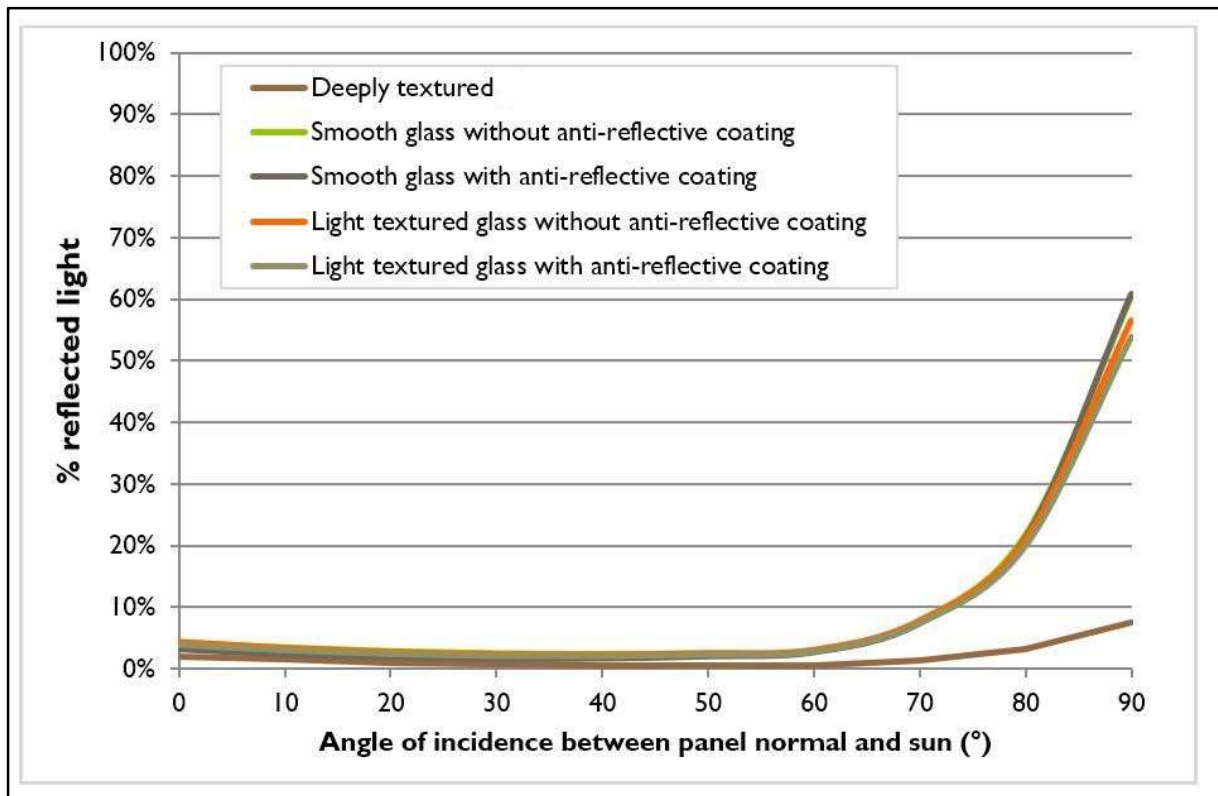


Abb. 3: zeigt die Reflexionseigenschaften von Solarmodulen in Abhängigkeit zum Auftreffwinkel und Oberflächeneigenschaften

Quelle: Yellowhair, J. and C.K. Ho. "Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts". *ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2015 Power Conference, the ASME 2015 13th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, and the ASME 2015 Nuclear Forum*. 2015. American Society of Mechanical Engineers

Nach der Ermittlung, wie groß der Anteil der reflektierten Sonnenstrahlung ist, wird betrachtet, wie stark die Reflexion beim möglichen Betrachter ist.

Aktuell eingesetzte Module weisen Charakteristiken auf, die zwischen leicht und stark strukturiertem Glas einzuordnen sind (Abb. 4). Glattes Glas erzeugt ideale direkte Reflexionen (Abb. 5 (a)), stark strukturiertes Glas erzeugt stark diffuse Reflexionen (Abb. 5 (b)), welche auch als Lambertscher Strahler bezeichnet werden (vollständige Streuung) und leicht strukturiertes Glas eine gemischte Reflexion, welche auch als gerichtete Diffusspiegelung bezeichnet wird (Abb. 5 (c)).

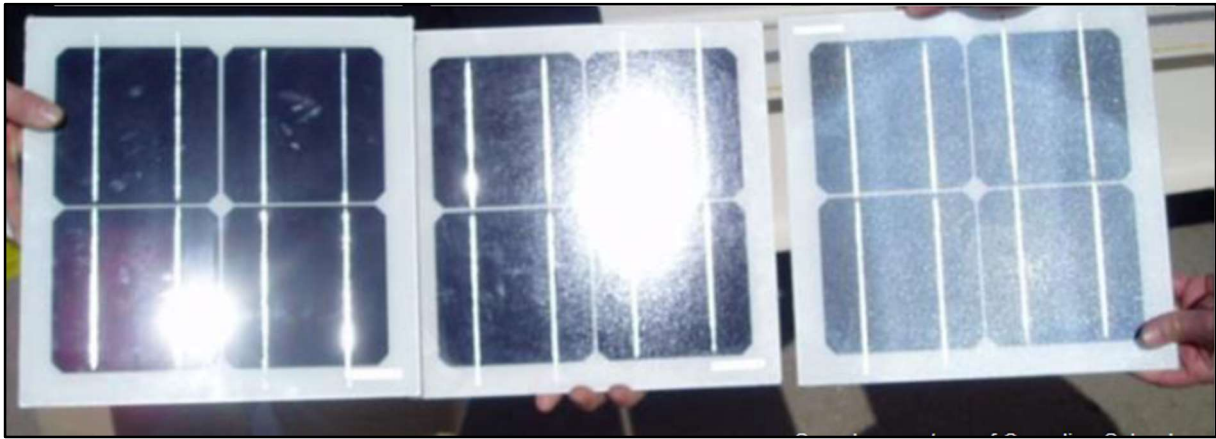


Abb. 4: Links = glattes Glas; Mitte = leicht strukturiertes Glas; Rechts = stark strukturiertes Glas

Quelle: Yellowhair, J. and C.K. Ho. "Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts". *ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability collocated with the ASME 2015 Power Conference, the ASME 2015 13th International Conference on Fuel Cell Science, Engineering and Technology, and the ASME 2015 Nuclear Forum*. 2015. American Society of Mechanical Engineers

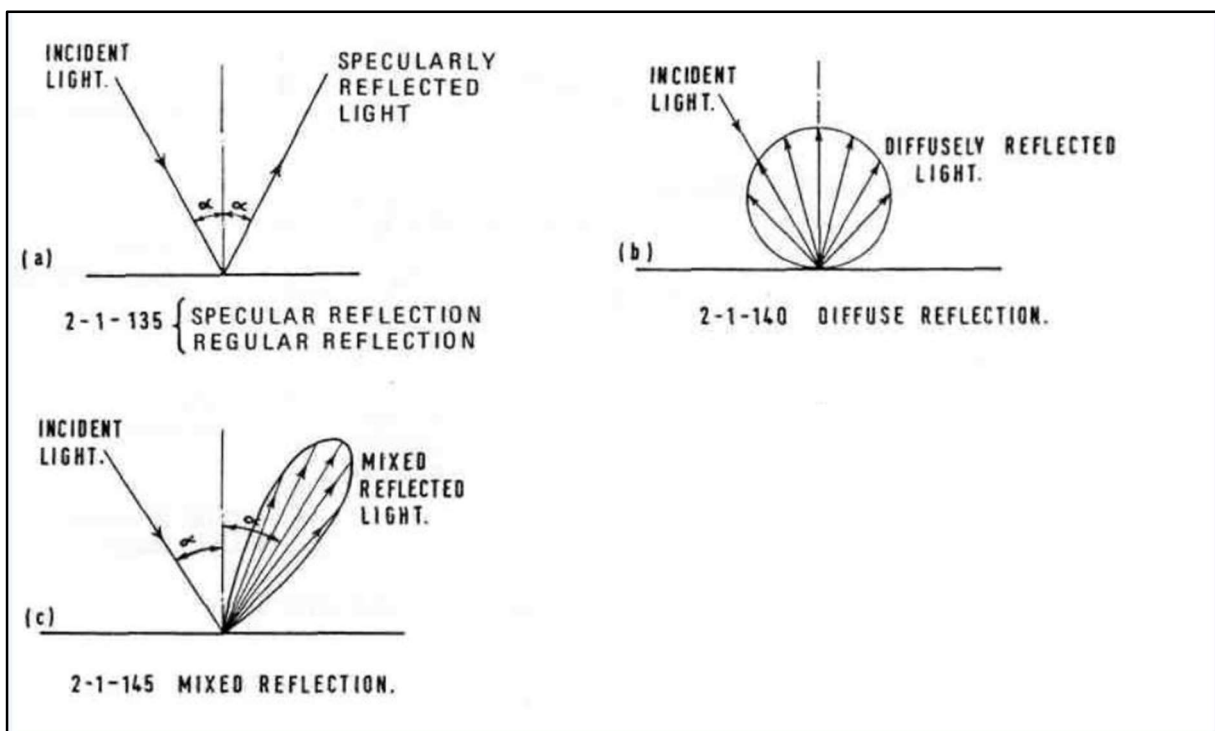


Abb. 5: zeigt die Arten der Reflexionen; (a) = ideale direkte Spiegelung; (b) = ideale diffuse Spiegelung; (c) = gemischte Spiegelung (gerichtete Diffusspiegelung)

Quelle: https://www.iala-aism.org/wiki/dictionary/index.php?title=Mixed_Reflection

Für die worst-case Betrachtung wird davon ausgegangen, dass Module mit nur leicht strukturiertem Glas verwendet werden, die keine Antirefleksionsbeschichtung haben.

Grundsätzlich wird bei jeder Berechnung der potentiellen Reflexionen beim Modul von folgenden worst-case Szenarien ausgegangen:

- Klares Wetter zu jeder Zeit (Abschwächungen durch Ereignisse in der Atmosphäre werden nicht betrachtet)
- Es wird immer die geringste Entfernung zwischen Betrachter und Modul angenommen
- Es werden Moduleigenschaften angenommen, welche die Reflexionswirkung maximieren

Als Ausschlussfaktor ist hierbei die Unterscheidungsfähigkeit zu nennen. So muss (entsprechend der LAI) der Winkel zwischen Reflexionsquelle und Sonne aus Sicht des Betrachters mindestens 10 Grad betragen. Es wird davon ausgegangen, dass die Reflexionen bei einem Differenzwinkel unter diesen 10 Grad zu vernachlässigen sind, da die Blendwirkung der Sonne deutlich höher ist.

Für die Berechnung der physikalischen Blendung ist es wichtig, die Stärke der Reflexion zu quantifizieren, die beim möglichen Betrachter ankommt. Im Vergleich zu der spekularen Reflexion muss also auch betrachtet werden, in wie weit die direkte Reflexion durch die Streuwirkung abgeschwächt wird.

Für leicht strukturiertes Glas wird ein Streuwinkel von 126 mrad (7,21927 Grad) angegeben (Datenbank: ForgeSolar; Messreihendurchschnitt aktueller Modultypen). Die maximale Streuung wird hierbei als maximale Abweichung von der idealen Spiegelung (Abb. 6) definiert.

Geometrisch wird die Streuung als sich ausbreitender Kegel betrachtet, die ihren Ursprung bei dem Modul mit der geringsten Entfernung hat.

Der maximale Radius des Kegels wird trigonometrisch mit der geringsten Entfernung des Betrachters zum spiegelnden Modul errechnet:

$$r_B = d_{min} * \tan (7,219^\circ)$$

r_B = Streuradius beim Betrachter [m]

d_{min} = minimalste Distanz zwischen Modul und Betrachter [m]

Für die tatsächliche Quantifizierung der Lichtstärke wird annäherungsweise das Strahlverbreitungsprinzip eines Lambertischen Strahlers direkt vor dem Betrachter angewendet:

$$L_B = L_M * \frac{1}{A_s}$$

L_B = Leuchtdichte beim Betrachter [cd/qm]

L_M = ausgehende Leuchtdichte vom Modul [cd/qm]

A_s = Streuungsfläche [qm]

Wobei A die Fläche der aufgespannten Halbkugel mit dem Streuradius beim Betrachter ist:

$$A_s = 2 * \pi * r_B^2$$

A_s = Streuungsfläche [qm]

r_B = Streuradius beim Betrachter [m]

In der Realität wird die Strahlverbreitung eher ellipsenähnlich ablaufen, wobei die Ellipse entlang der idealen Spiegelung (Abb. 5 (a)) ihre längste Ausdehnung hat (Abb. 5 (c)). Die Streuung auf eine geometrische Kugel erhöht die Strahldichte künstlich und kann somit ebenfalls als worst-case Szenario betrachtet werden.

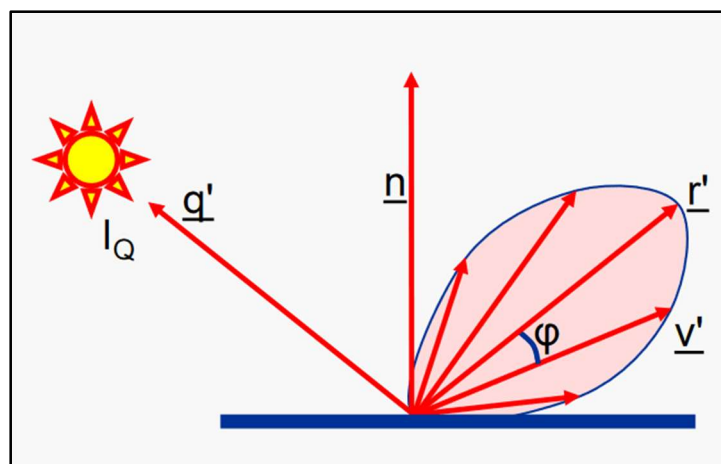


Abb. 6: zeigt das näherungsweise angewendete Berechnungsverfahren; φ = Streuungswinkel

1.3.1 VERKEHR

Da laut LAI Verkehrswege nicht als schutzwürdige Räume definiert sind, wird bei den Verkehrswegen vor allem die physikalische Blendung überprüft um ablenkende Wirkungen auf das Verkehrsgeschehen ausschließen zu können.

Die resultierenden Werte werden mit der Absolutblendung abgeglichen, welche durch die LAI mit 10^5 [cd/qm] definiert sind. Diese Absolutblendung stellt, mit Verweis auf die Eingangs genannte ablenkende Wirkung auf den Verkehr, den Grenzwert für einfallende Strahlung auf Verkehrsteilnehmer dar.

Die beschriebene Berechnung dieser Strahlung findet Anwendung auf alle Verkehrswege in der näheren Umgebung. Da die LAI nicht weiter auf die Blendwirkung auf Verkehrswege eingeht, wird hier die ÖVE R11-3 herangezogen, bei welcher ein maximaler seitlicher Blickwinkel von 30 Grad definiert wird (Abb. 7).

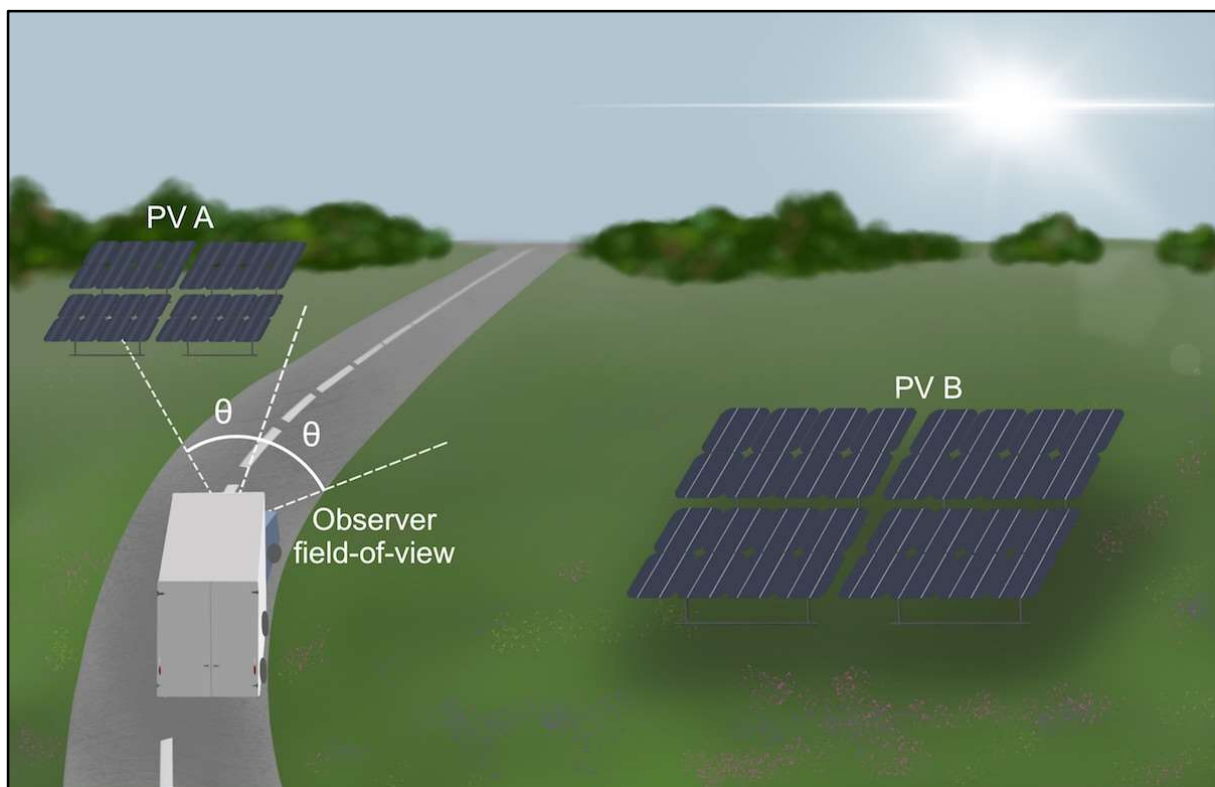


Abb. 7: zeigt eine schematische Zeichnung eines Verkehrsteilnehmers und seine Sichtachsen zu beiden Seiten des Verkehrsweges

Quelle: Rogers, J. A., et al. (2015). "Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach", Federal Aviation Administration

Eine Gefährdung des Verkehrsgeschehens kann nur dann ausgeschlossen werden, wenn eine Absolutblendung nach angegebener Berechnung auf jegliche Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen werden kann.

1.4.0 PSYCHOLOGISCHE BLENDUNG

Laut LAI ist die psychologische Blendung vor allem im Hinblick auf schutzwürdige Räume zu betrachten, welche wie folgt definiert werden:

- Wohnräume
- Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräume, in Beherbergungsstätten)
- Ruhe- und Schlafräume in Krankenhäusern und Senatorien
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Bildungseinrichtungen
- Büroräume, Praxisräume und ähnliche Arbeitsräume

Somit wird im Bereich der psychologischen Blendung vor allem geprüft, ob nahegelegene schutzwürdige Räume beeinträchtigt werden. Diese schutzwürdigen Räume werden im Folgenden auch als Observationspunkte beschrieben.

Für die Einordnung der psychologischen Blendung werden durch die LAI zwei Bewertungen definiert:

- Astronomische Blendzeiten

- Zulässiges Blendmaß

1.4.1 ASTRONOMISCHE BLENDZEITEN

Es wird geprüft, wie hoch die astronomischen Blendzeiten sind und wann diese auftreten. Hierbei wird nicht die Stärke der Reflexion betrachtet, sondern wie viele Minuten am Tag und im Jahr eine pot. Blendung möglich ist.

Die in der LAI genannten Vorgaben werden auch in dieser Analyse als maßgebliche Grenzwerte angesetzt:

Maximal 30 min. pro Tag

Maximal 30 Stunden pro Jahr

Um eine potentielle Belästigung durch Blendung aus zu schließen, werden die Observationspunkte in der Nähe der F-PVA auf diese astronomischen Blendzeiten hin überprüft.

In der LAI wird beschrieben, dass ab einer Distanz von 100m oder weniger eine direkte Nähe zu einer F-PVA besteht und dementsprechend die Astronomischen Blendzeiten bilanziert werden sollen (Abb. 8).

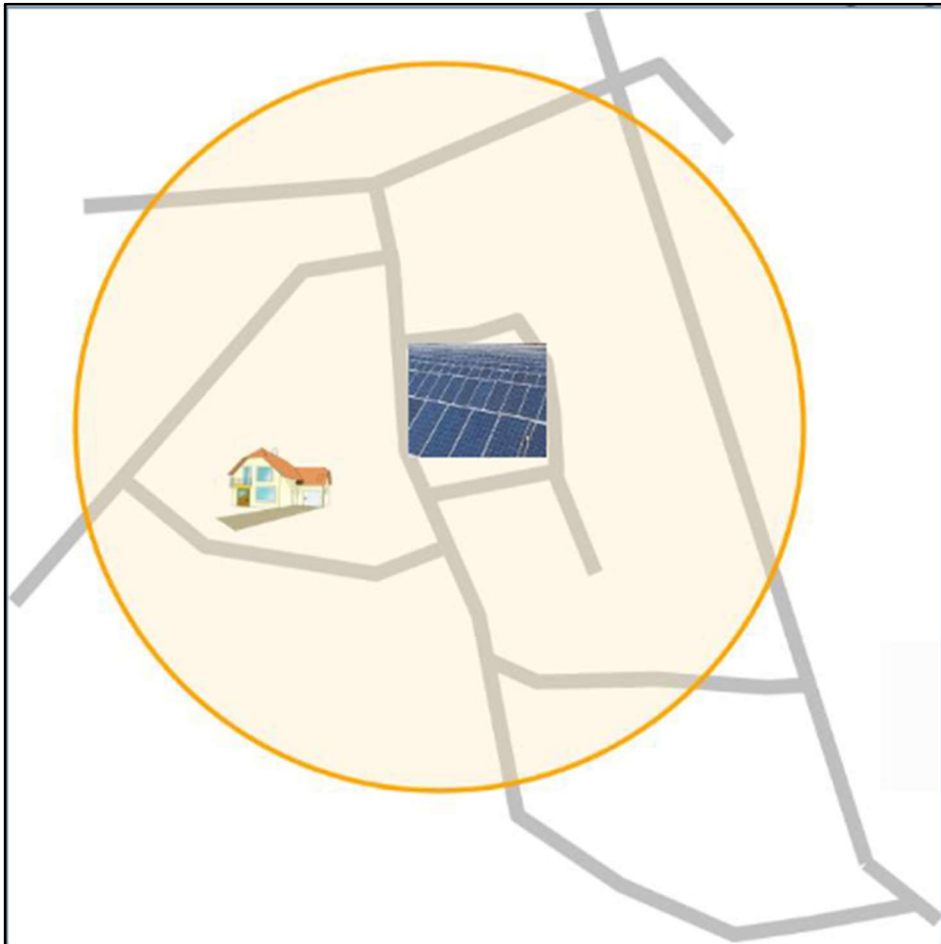


Abb. 8: Auszug aus der LAI; zeigt skizzenhaft ein PV-Feld mit einem 100m Radius

Quelle: „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgruppe für Immissionsschutz“

Abhängig von den Umgebungsbedingungen können aber auch Standorte mit einem Abstand von mehr als 100 Metern auf die genannten Grenzwerte hin überprüft werden. Dies erfolgt dann auf Wunsch des Auftraggebers.

1.4.2 ZULÄSSIGES BLENDMAß

Das zulässige Blendmaß ist eine Möglichkeit, die Lichteinwirkung auf schutzwürdige Räume zu bewerten. Hierbei wird hauptsächlich betrachtet, an welchen Tageszeiten eine Lichtquelle das Potential hat, Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen, was störend wirken kann.

Wichtig hierbei ist die Bemerkbarkeit, also die Differenz der Helligkeit zur Umgebung, ausschlaggebend für die Blendwirkung. Eine Reflexion wirkt auf den Betrachter erst dann störend, wenn diese deutlich heller ist als ihre Umgebung.

Für die Berechnung wird auch hier von einem worst-case Szenario ausgegangen, indem die höchste Leuchtdichte innerhalb des Jahres angesetzt wird. Entsprechend Kap. 1.3.0 (Physikalische Blendung) werden auch hier die beim Betrachter effektiv eingehenden Leuchtdichten ermittelt.

$$K_S = 0,1 * (L_B/L_u)^{0,5}$$

L_B = Leuchtdichte beim Betrachter [cd/qm]

L_u = Umgebungsleuchtdichte [cd/qm]

K_S = spezifisches Blendmaß

In der LAI werden Umgebungsleuchtdichten von 10^2 bis 10^3 cd/qm genannt. In der Bewertung wird auch hier vom worst-case Szenario ausgegangen, was in diesem Fall der niedrigere Wert ist, da Reflexionen bei niedrigen Umgebungsleuchtdichten eine höhere Störwirkung haben.

In der LAI werden in Abhängigkeit von dem Einwirkungsort und den Tageszeiten Grenzwerte festgelegt, welche für die Prüfung auf Blendwirkung maßgeblich sind (Tab. 1).

	Immissionsort (Einwirkungsort) (Gebietsart nach § BauNVO) [2]	Immissionsrichtwert k für Blendung		
		6 h bis 20 h	20 h bis 22 h	22 h bis 6 h
1	Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten (§ 3) ¹⁾	32	32	32
2	reine Wohngebiete allgemeine Wohngebiete (§ 4) besondere Wohngebiete (§ 4a) Kleinsiedlungsgebiete (§ 2) Erholungsgebiete (§ 10)	96	64	32
3	Dorfgebiete (§ 5) Mischgebiete (§ 6)	160	160	32
4	Kerngebiete (§ 7) ²⁾ Ge- werbegebiete (§ 8) In- dustriegebiete (§ 9)	-	-	160

¹⁾ Wird die Beleuchtungsanlage regelmäßig weniger als eine Stunde pro Tag eingeschaltet, gelten auch für die in Zeile 1 genannten Gebiete die Werte der Zeile 2.

²⁾ Kerngebiete können in Einzelfällen bei geringer Umgebungsbeleuchtung ($L_{u, \text{mess}} < 0,1 \text{ cd/m}^2$) auch Zeile 3 zugeordnet werden.

Tab. 1: Immissionsrichtwerte zur Festlegung der maximal zulässigen Blendung durch technische Lichtquellen

Quelle: „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgruppe für Immissionsschutz“

2.0.0 ANALYSE

2.1.0 PROJEKTÜBERSICHT

Bei dem Projekt Schönwalde handelt es sich um eine F-PVA welche auf zwei Planteile aufgeteilt ist:

- Nördlicher Planteil
- Südlicher Planteil

Diese Aufteilung ergibt sich aus dem Umstand, dass das Anlagengebiet an einer ost-west-verlaufenden Bahntrasse entlangführt.

Projekt	Sternberg
Anlagenart	Freiflächen Photovoltaik
Koordinaten	53°32'00.9"N 13°55'48.1"E
Observationspunkte	-
Verkehrslinien	1x Bahnstrecke / 1x Gemeindestraße
Azimutausrichtung	0° Süd
Elevation	15° - 25°

Tab. 2: Standortspezifikationen

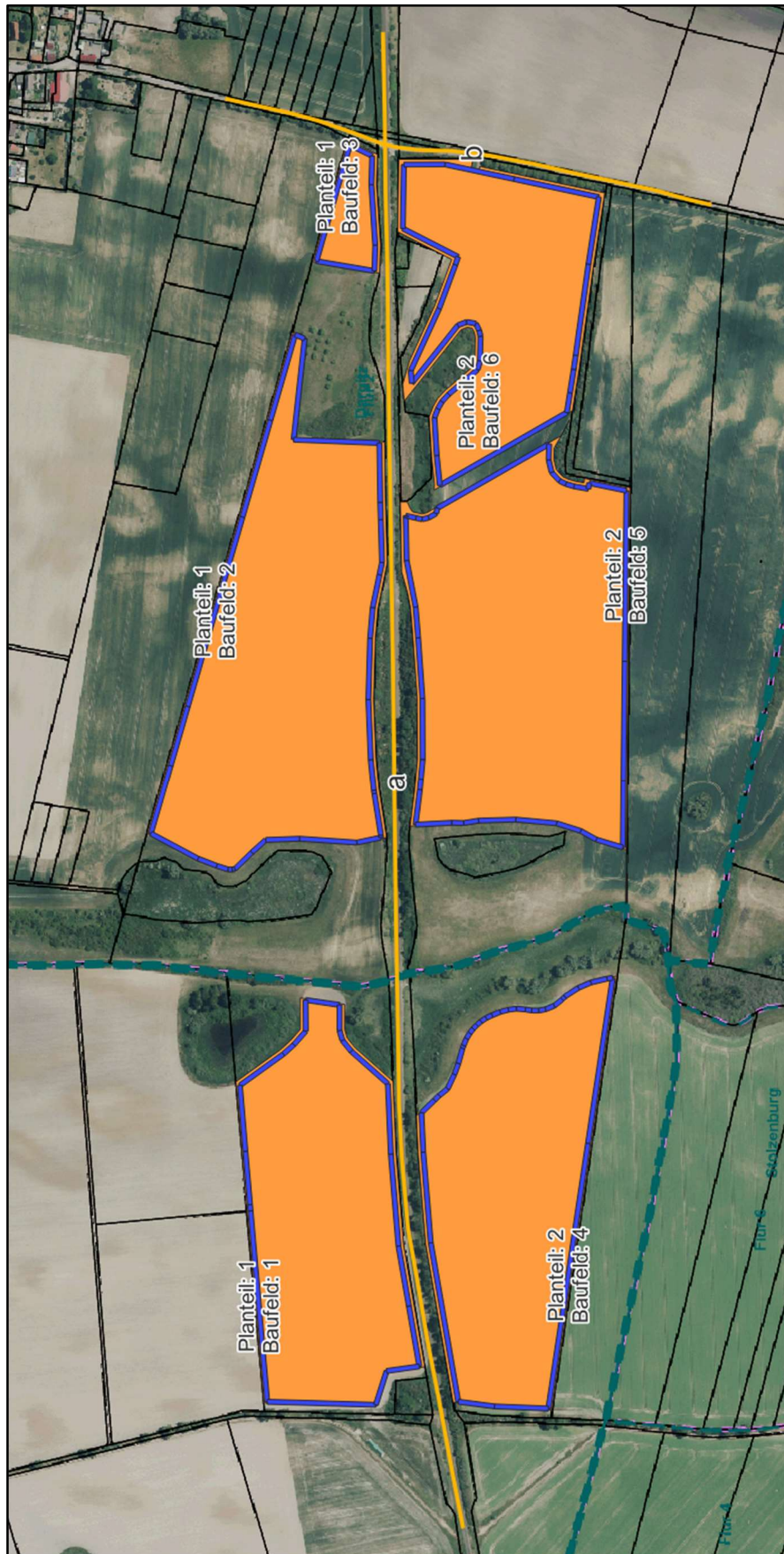


Abb. 9: zeigt den Lageplan der geplanten Anlage; orangene Fläche mit blauer Umrandung zeigt die Anlagenfläche; gelbe Linien mit Buchstaben zeigen Verkehrslinien: a=Bahnstrecke / b=Gemeindestraße

2.2.0 BEOBACHTUNGSPUNKTE/- STRECKEN

2.2.1 VERKEHRSLINIE A: BAHNSTRECKE

Zwischen den nördlichen und den südlichen Baufeldern verläuft die Nahverkehrsbahnstrecke zwischen Pasewalk und Blumenhagen (Abb. 10). Innerhalb dieser Analyse bekommt diese Bahnstrecke eine besondere Aufmerksamkeit. Aus diesem Grund werden die einzelnen Baufeldabschnitte innerhalb dieses Kapitels getrennt betrachtet.



Abb. 10: Verkehrslinienplan des Nahverkehrs (Schiene)

Quelle: <https://www.bahn.de/service/fahrplaene/streckennetz>

2.2.1.A BAHNSTRECKE BEI DEN WESTLICHEN BAUFELDERN

Für das Baufeld 4 (Abb. 11) konnte bei keiner geprüften Modulneigung (15-25 Grad) eine potentielle Blendung festgestellt werden. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass das Baufeld 4 südlich der Bahnstrecke steht und die Sonne zu keiner Zeit im Jahr einen Sonnenstand erreichen kann, bei dem eine Reflexion in Richtung des Triebwagens auf der Bahnstrecke eintreten könnte.

Bei Baufeld 1 wurden astronomische Blendzeiten ermittelt, bei denen eine potentielle Blendwirkung möglich wäre (Abb. 11).

Als minimale Entfernung zwischen Triebwagen/Lokomotive und der PV-Anlage wurden 28,9 Meter in Fahrtrichtung Blumenhagen und 24,4 Meter in Fahrtrichtung Pasewalk ermittelt. Bei dieser Distanz wurde der maximale seitliche Blickwinkel des Zugführers von 30° berücksichtigt.

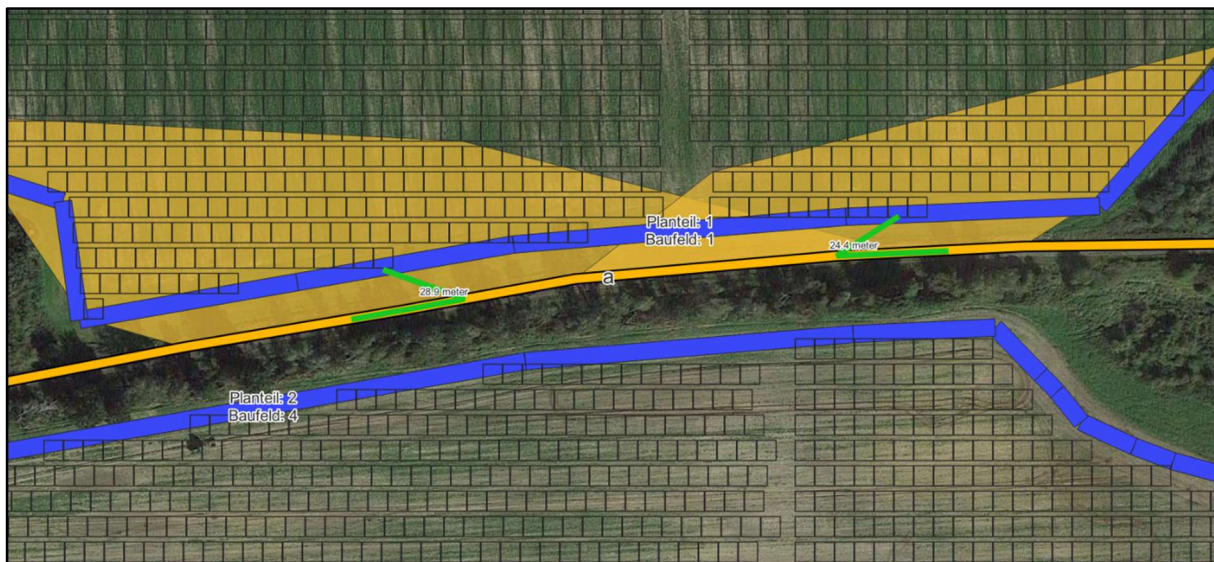


Abb. 11: zeigt die potentielle Reflexionsbereiche des westlichen Anlagenteils (gelb); schwarze Rechtecke = geplante Modultische; grüne Winkel = 30° Sichtachse aus Triebwagen mit geringster Entfernung zu den nächstgelegenen Modulen; blau = Grenze d. Baufeldes

Im Ergebnis gibt es ein direktes Potential für eine Blendwirkung zwischen 4:58 Uhr bis 6:07 Uhr und zwischen 18:03 Uhr bis 19:12 Uhr in einem Zeitraum von April bis August (Abb. 12). Die maximalen Leuchtdichten der Reflexionen werden hierbei im Juni mit $1.918.315 \text{ cd/qm}$ erreicht (Abb. 13). Es werden für beide Fahrtrichtungen die höchstmöglichen Leuchtdichten angenommen, um ein worst-case-szenario zu erzeugen. Die maximale Leuchtdichte beim Triebwagen wären $22.841,1 \text{ cd/qm}$ in Fahrtrichtung Blumenhagen und $32.043,0 \text{ cd/qm}$ in Fahrtrichtung

Pasewalk (entsprechend Kap. 1.3.0). Diese Maximalwerte sind unterhalb der 100.000 cd/qm, womit eine Absolutblendung auf den Triebwagen auszuschließen ist

Betrachter	Fahrtrichtung Blumenhagen
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	ja
Maximale Leuchtdichte beim Modul	1.918.315 cd/qm
Minimale Entfernung	28,9 meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	22.841,1 cd/qm

Tab. 3: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

Betrachter	Fahrtrichtung Pasewalk
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	ja
Maximale Leuchtdichte beim Modul	1.918.315 cd/qm
Minimale Entfernung	24,4 meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	32.043,0 cd/qm

Tab. 4: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

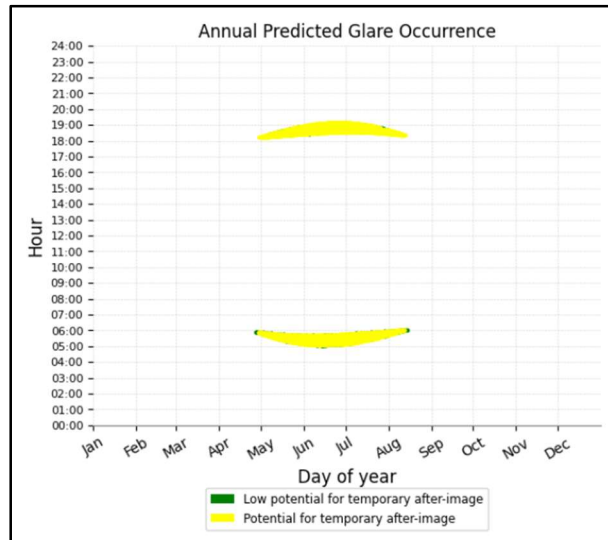


Abb. 12: zeigt die potentiellen Blendzeiten im Jahresverlauf

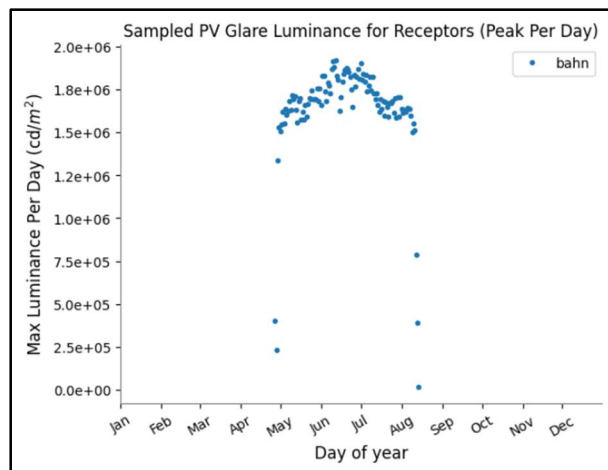


Abb. 13: zeigt die maximalen potentiellen Leuchtdichten

2.2.1.B BAHNSTRECKE BEI DEN ZENTRALEN BAUFELDERN

Wie im vorigen Abschnitt konnte auch im zentralen Anlagenbereich keine mögliche Reflexion aus dem südlichen Baufeld 5 auf die Bahnstrecke ermittelt werden.

Bei Baufeld 2 wurden astronomische Blendzeiten ermittelt, bei denen eine potentielle Blendwirkung möglich wäre (Abb. 14).

Als minimale Entfernung zwischen Triebwagen/Lokomotive und der PV-Anlage wurden 21,6 Meter in Fahrtrichtung Blumenhagen ermittelt. Bei dieser Distanz wurde der maximale seitliche Blickwinkel des Zugführers von 30° berücksichtigt.

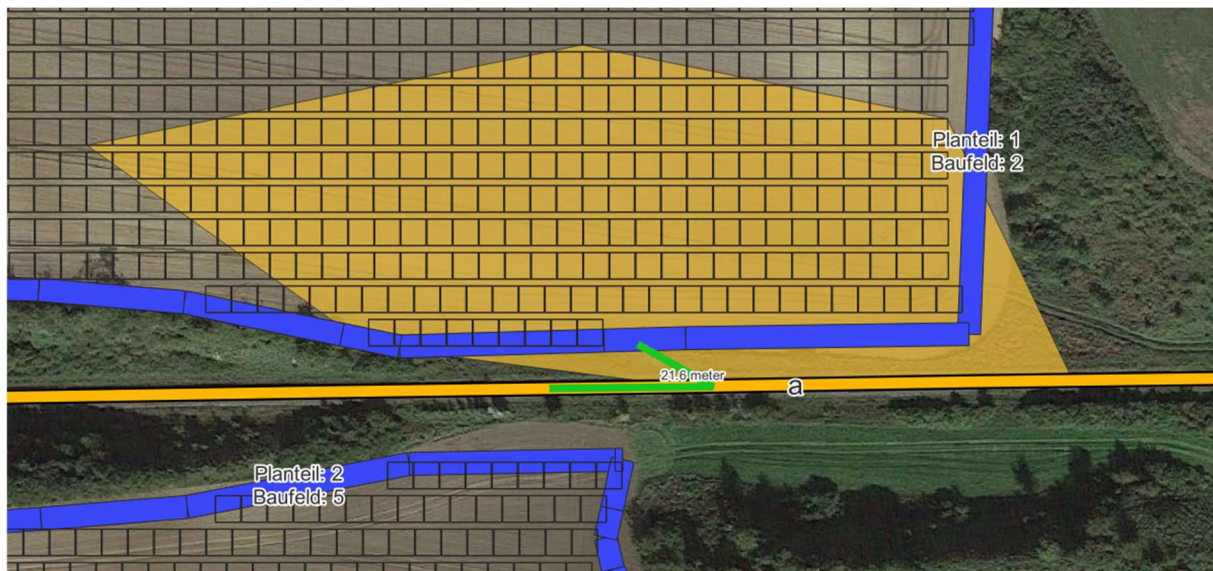


Abb. 14: zeigt die potentielle Reflexionsbereiche des zentralen Anlagenteils (gelb); schwarze Rechtecke = geplante Modultische; grüne Winkel = 30° Sichtachse aus Triebwagen mit geringster Entfernung zu den nächstgelegenen Modulen; blau = Grenze d. Baufeldes

Im Ergebnis gibt es ein direktes Potential für eine Blendwirkung zwischen 5:04 Uhr bis 6:10 Uhr und zwischen 17:56 Uhr bis 19:03 Uhr in einem Zeitraum von April bis August (Abb. 15). Die maximalen Leuchtdichten der Reflexionen werden hierbei im April mit 1.413.001 cd/qm erreicht (Abb. 16). Dieses Reflexionspotential bezieht sich hauptsächlich auf die Fahrtrichtung Blumenhagen. Die maximale Leuchtdichte beim Triebwagen wären 30.118,13 cd/qm in Fahrtrichtung Blumenhagen (entsprechend Kap. 1.3.0). Diese Maximalwerte sind unterhalb der 100.000 cd/qm, womit eine Absolutblendung auf den Triebwagen auszuschließen ist

Betrachter	Fahrtrichtung Blumenhagen
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	ja
Maximale Leuchtdichte beim Modul	1.413.001 cd/qm
Minimale Entfernung	21,6 meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	30.118,13 cd/qm

Tab. 5: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

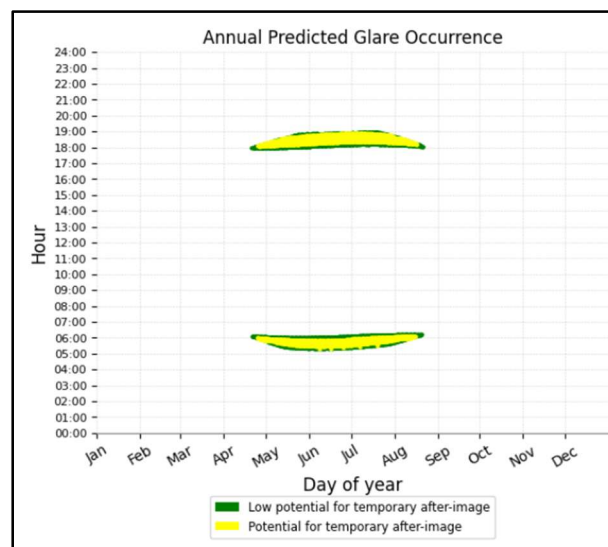


Abb. 15: zeigt die potentiellen Blendzeiten im Jahresverlauf

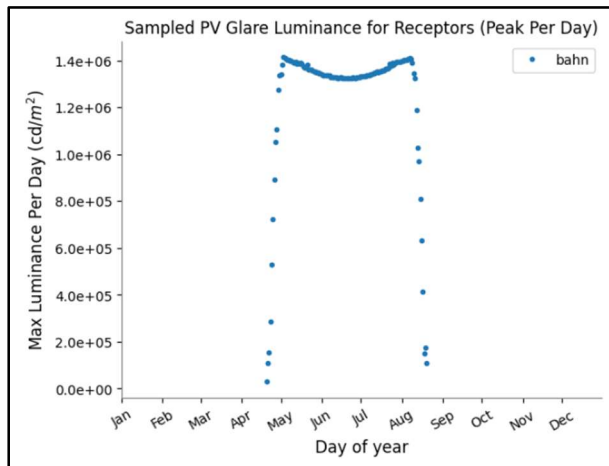


Abb. 16: zeigt die maximalen potentiellen Leuchtdichten

2.2.1.C BAHNSTRECKE BEI DEN ÖSTLICHEN BAUFELDERN

Auch im östlichen Anlagenbereich konnten keine möglichen Reflexionen aus den südlichen Baufeldern ermittelt werden.

Bei Baufeld 3 wurden astronomische Blendzeiten ermittelt, bei denen eine potentielle Blendwirkung möglich wäre (Abb. 17).

Als minimale Entfernung zwischen Triebwagen/Lokomotive und der PV-Anlage wurden 26,3 Meter in Fahrtrichtung Blumenhagen ermittelt. Bei dieser Distanz wurde der maximale seitliche Blickwinkel des Zugführers von 30° berücksichtigt.

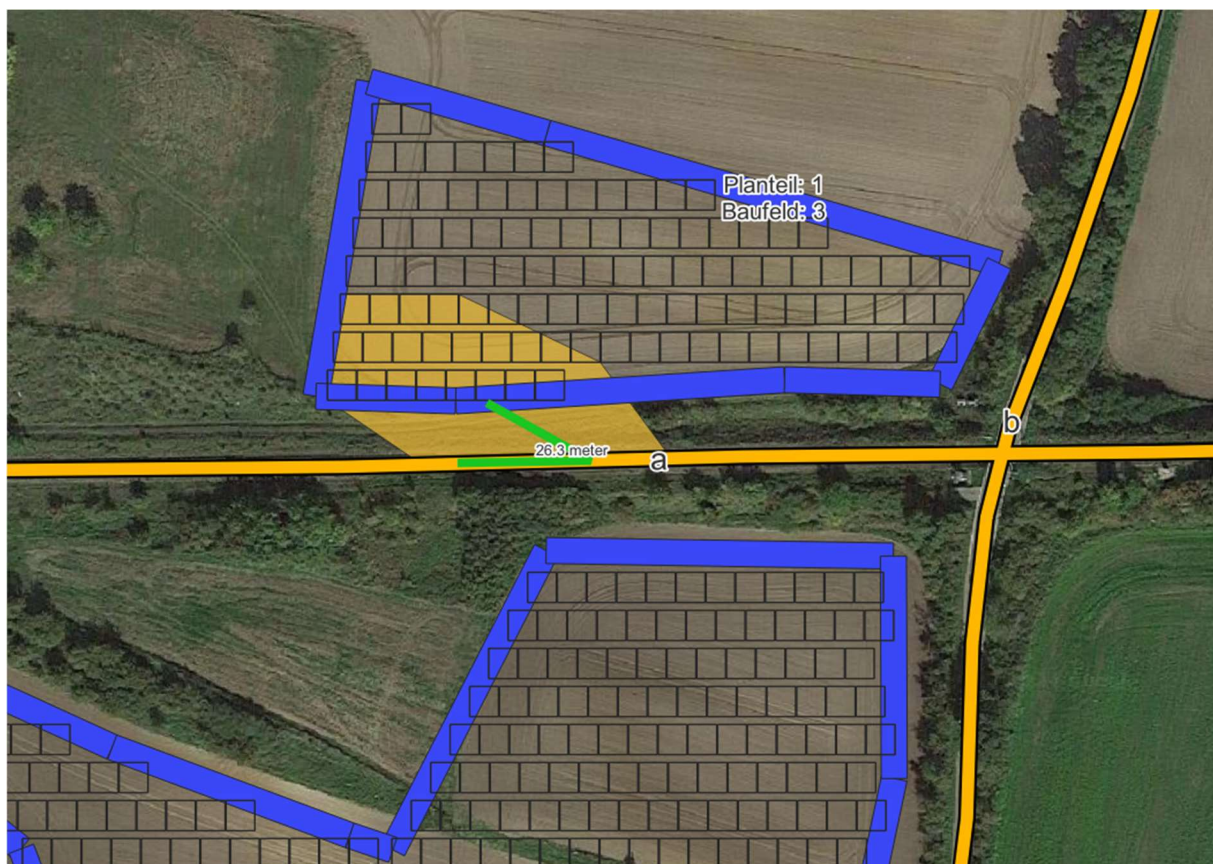


Abb. 17: zeigt die potentielle Reflexionsbereiche des östlichen Anlagenteils (gelb); schwarze Rechtecke = geplante Modultische; grüne Winkel = 30° Sichtachse aus Triebwagen mit geringster Entfernung zu den nächstgelegenen Modulen; blau = Grenze d. Baufeldes

Im Ergebnis gibt es ein direktes Potential für eine Blendwirkung zwischen 5:02 Uhr bis 6:11 Uhr und zwischen 18:01 Uhr bis 19:06 Uhr in einem Zeitraum von April bis August (Abb. 18). Die maximalen Leuchtdichten der Reflexionen werden hierbei im Juni mit 1.285.798 cd/qm erreicht (Abb. 19). Dieses Reflexionspotential bezieht sich hauptsächlich auf die Fahrtrichtung Blumenhagen. Die maximale Leuchtdichte beim Triebwagen wären 18.486,5 cd/qm in Fahrtrichtung Blumenhagen (entsprechend Kap. 1.3.0). Diese Maximalwerte sind unterhalb der 100.000 cd/qm, womit eine Absolutblendung auf den Triebwagen auszuschließen ist

Betrachter	Fahrtrichtung Blumenhagen
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	ja
Maximale Leuchtdichte beim Modul	1.285.798 cd/qm
Minimale Entfernung	26,3 meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	18.486,5 cd/qm

Tab. 6: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

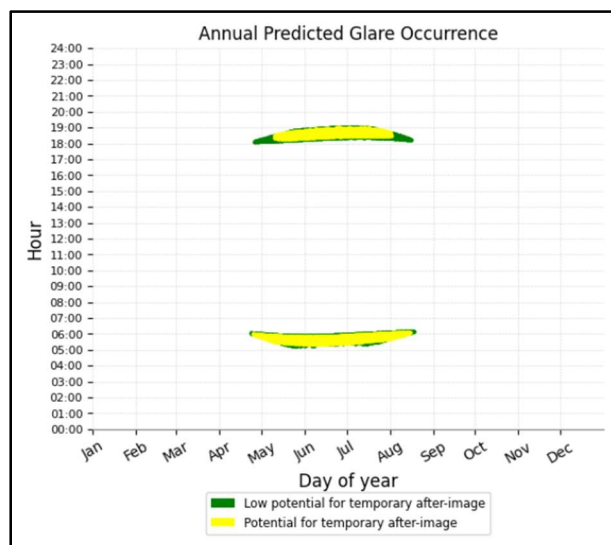


Abb. 18: zeigt die potentiellen Blendzeiten im Jahresverlauf

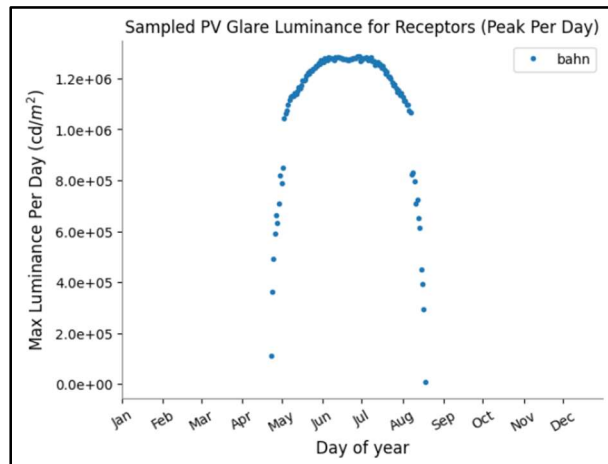


Abb. 19: zeigt die maximalen potentiellen Leuchtdichte

2.2.2 VERKEHRSLINIE B: GEMEINDESTRASSE

Bei der nord-südlich zur PV-Anlage verlaufenden „Lindenstraße“ konnte innerhalb der Blickachsen der Fahrzeugführer zu keiner Zeit im Jahr eine potentiell blendende Reflexion ermittelt werden. Der Grund hierfür sind bereits die astronomischen Blendzeiten. Konkret konnte zu keiner Zeit im Jahr ein Sonnenstand ermittelt werden, bei welchem der Austrittswinkel der Reflexion die Blickrichtung eines möglichen Fahrzeugführers einnehmen würde.

Betrachter	Gemeindestraße
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	nein
Maximale Leuchtdichte beim Modul	- cd/qm
Minimale Entfernung	- meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	- cd/qm

Tab. 7: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

2.2.3 GEMEINDE DARGITZ

Die Gemeinde Dargitz ist die Ortschaft mit der geringsten Distanz zu der Anlage und bildet damit den nächstgelegenen Wohnraum. Eine Belästigung ist aufgrund der großen Distanz von über 338 Metern entsprechend der Richtlinien der LAI nicht zu erwarten (Abb. 20).



Abb. 20: zeigt die geringste Entfernung zur Wohnbebauung der Gemeinde; schwarze Rechtecke = geplante Modultische; grüner Balken = Entfernung von Gemeinde zu nächstgelegenen Modulen; blau = Grenze d. Baufeldes

Auf Wunsch des Auftraggebers wurde eine zusätzliche Simulation durchgeführt, welche potentielle Reflexionen in Richtung der Ortschaft untersuchen sollte.

Als Ergebnis konnte hier keine astronomische Blendzeit festgestellt werden. Es gibt also keinen Sonnenstand im Jahr, bei welchem die austretende Reflexion in Richtung der Ortschaft weißt. Dies ist dadurch zu erklären, dass sich die Ortschaft nord/nord-östlich der geplanten Anlage befindet und eine Reflexion durch die Südausrichtung der Module unmöglich wird.

Betrachter	Gemeinde Dargitz
Potentiell beeinträchtigende Reflexion	nein
Maximale Leuchtdichte beim Modul	- cd/qm
Minimale Entfernung	- meter
Maximale Leuchtdichte beim Betrachter	- cd/qm

Tab. 8: Zeigt die standortspezifischen Ergebnisse

3.0.0 ZUSAMMENFASSUNG

Betrachter	Absolutblendung	Blendmaß	Blendzeiten	Ergebnis
Bahn – westlich Richtung Westen	22.841,1 cd/qm < 10 ⁵ cd/qm =keine Blendung	-	-	Keine Blendung
Bahn – westlich Richtung Osten	32.043,0 cd/qm < 10 ⁵ cd/qm =keine Blendung			Keine Blendung
Bahn - zentral	30.118,1 cd/qm < 10 ⁵ cd/qm =keine Blendung	-	-	Keine Blendung
Bahn - östlich	18.486,5 cd/qm < 10 ⁵ cd/qm =keine Blendung	-	-	Keine Blendung
Gemeindestraße	-	Kein Einwirkort	Keine Astronomischen Blendzeiten	Keine Blendung
Ort: Dargitz	-	Kein Einwirkort	Keine Astronomischen Blendzeiten	Keine Blendung

Tab. 9: Zeigt die Ergebnisse der Blendanalyse

Fazit:

Es konnten keine Blendwirkungen entsprechend der geltenden Normen ermittelt werden.

Unter der Vorgabe, dass die bauliche Umsetzung nicht elementar von der aktuellen Planung (Stand: 05.04.2024) abweicht, bedarf es keiner bauliche Maßnahmen zur Reduzierung von Blendungen.

4.0.0 GEWÄHRLEISTUNG

Dieses Gutachten wurde nach bestem Wissen und Gewissen unter Verwendung der zugearbeiteten Unterlagen mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die verwendeten Hilfsmittel befinden sich auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik. Dennoch können Irrtümer oder Abweichungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Hierfür wird von uns ausdrücklich keine Haftung übernommen. Gewährleistungen jeder Art sind ausgeschlossen.

5.0.0 LITERATURVERZEICHNIS

- 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
- Volker Quaschnig, Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015
- J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481
- Prof. Dr. Aris Christidis, Vortrag: Schattierung und Beleuchtung; WS 2018 / 19; Technische Hochschule Mittelhessen
- Thorsten Thormählen, 12. Dezember 2022; Vortrag: Grafikprogrammierung Licht und Materialien; Philipps-Universität Marburg / Fachbereich Mathematik und Informatik
- Clifford K. Ho, Cheryl M. Ghanbari, Richard B. Diver; Methodology to assess potential glint and glare Hazards from concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation; August 2011
- Karin Kolbe; Untersuchung von Oberflächenreflexen zur Gewinnung der beleuchtenden Lichtfarbe; Februar 2007