



**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 80

**Fax** +49 (030) 29 38 12 61

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

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

## **Fachgutachten zur Bewertung der Blendwirkung durch Reflexion an PV-Modulen (Blendgutachten) für den Solarpark Dissen-Striesow**

Anlage: Solarpark Dissen-Striesow  
51°48'57.19"N, 14°17'31.46"O  
03096, Dissen-Striesow

in Auftrag gegeben von: EP New Energies GmbH  
Köpenicker Straße 54  
10179 Berlin Deutschland

Projektnummer: A-LV23/0027

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: B. Sc. Markus Stich

Berlin, 11.05.2023

Vereinsregister:  
Amtsgericht  
Berlin-Charlottenburg  
VR 7591 B

Bankverbindung:  
Bank für Sozialwirtschaft  
BLZ 100 205 00  
Konto 30 32 403

U-ID-Nr.: DE151155798  
BIC: BFSWDE33BER  
IBAN: DE74 1002 0500 0003 0324 03

## 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
	5.1 Bewertungsbasis .....	9
	5.2 Simulationstool und Modellierung .....	10
	5.3 Simulationsausgabe und -bewertung .....	11
6	Simulation.....	12
	6.1 PV - Anlage.....	12
	6.2 Immissionsorte.....	14
7	Ergebnisse .....	17
8	Blendschutzmaßnahmen.....	22
9	Schlussbemerkung.....	24
10	Literaturverzeichnis .....	25
11	Abbildungsverzeichnis.....	26

## 1 Einleitung

Im folgenden Gutachten wird die durch Reflexion direkter Sonneneinstrahlung verursachte Lichtemission des geplanten Solarparks Dissen-Striesow 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 hierzu zunächst relevante Bereiche ausgemacht, die einer näheren Betrachtung bedürfen. Wird für einen oder mehrere Bereiche potenzielle Blendung vermutet, kann dies anhand einer Simulation ausgeschlossen oder nachgewiesen werden. Abschließend werden die Ergebnisse bewertet und eingeordnet und bei Bedarf Blendschutzmaßnahmen empfohlen.

## 2 Beschreibung der Umgebung

Gelegen ist der geplante Solarpark südlich der Gemeinde Dissen-Striesow im Landkreis Spree-Neiße in Brandenburg. Die Flächen des Solarparks werden derzeit als Ackerland genutzt. Südlich des Solarparks liegt der Ortsteil Sielow zugehörig zur Stadt Cottbus. Östlich und Westlich des Solarparks liegen größere Forstgebiete. Eine Übersicht der Umgebung ist in Abbildung 1 gegeben.

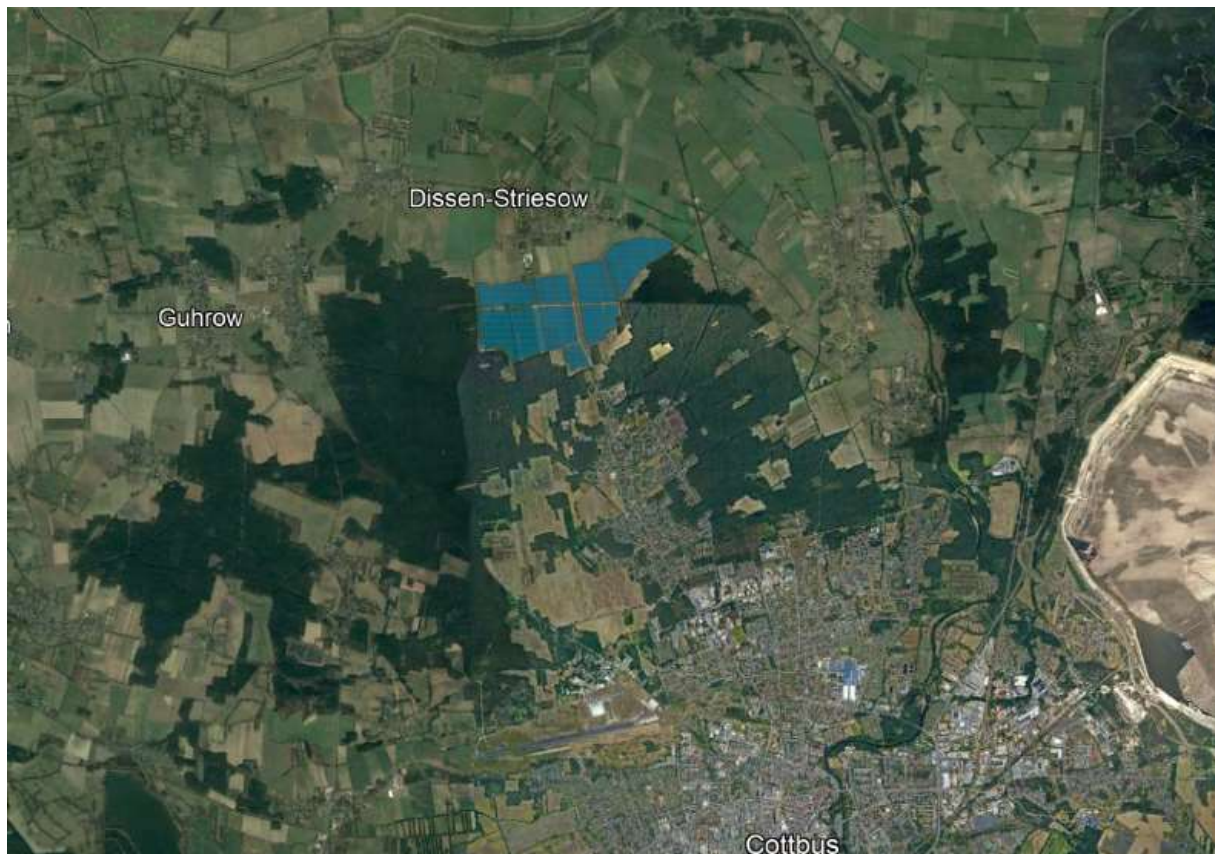


Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth)

### 3 Beschreibung der PV – Anlage

Der Modulbelegungsplan des Solarparks ist in Abbildung 2 zu sehen. Auf einer Fläche von 214,5 ha ist eine DC-Nennleistung von rund 209 MWp geplant. Alle Modulflächen sind 180° Süd ausgerichtet mit Neigungswinkeln zwischen 15°-20°. Die Modulunterkante wird 0,8 m über dem Boden liegen, die Moduloberkante liegt bei bis zu 3,5 m. Eine Darstellung der Unterkonstruktion ist in Abbildung 3 gegeben.

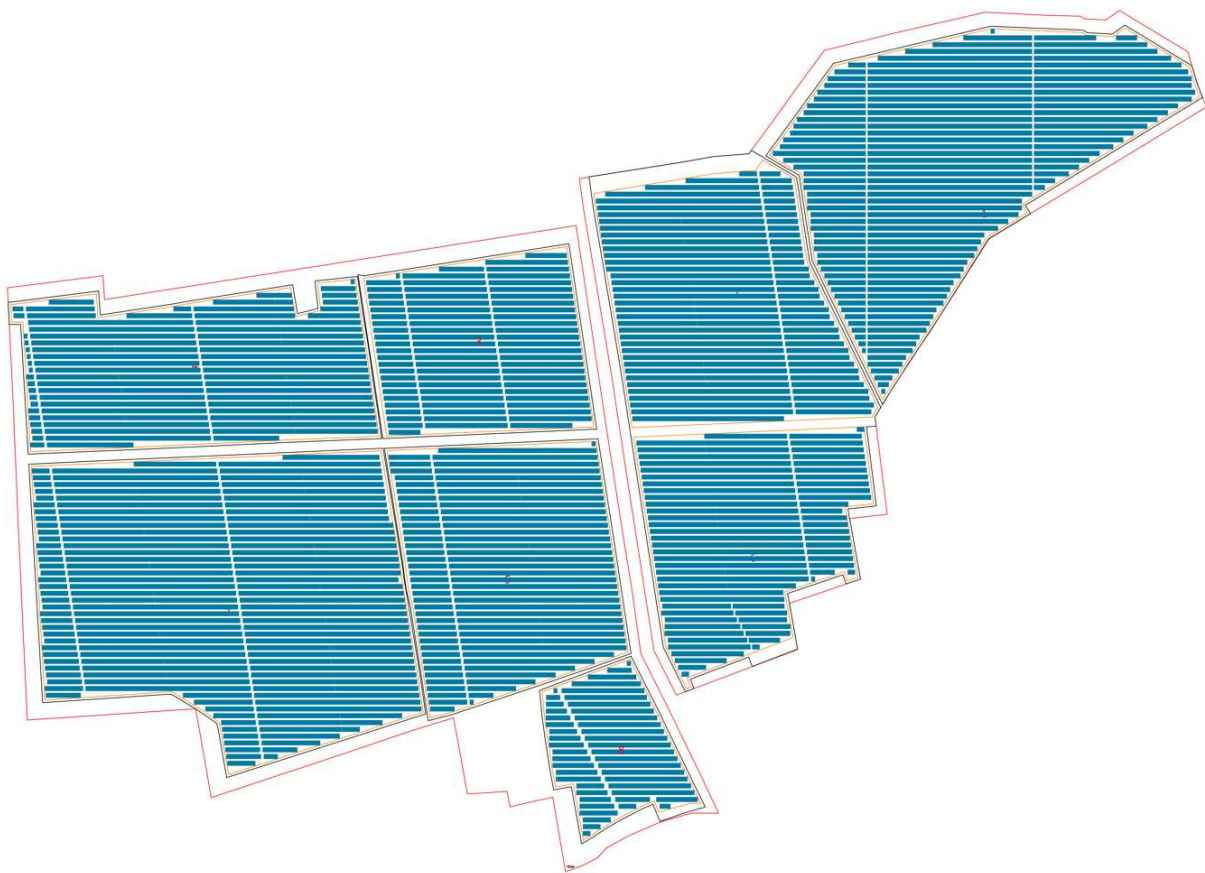


Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber)

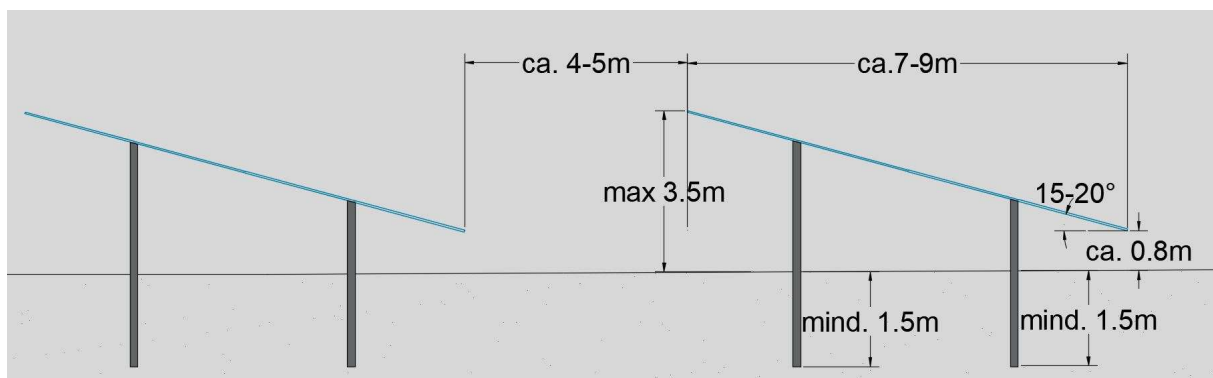


Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber)

## 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 ( $\alpha = \beta$ ).

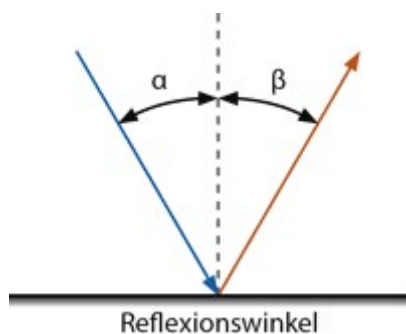


Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls

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, eine reale auftretende Streuung an einer unebenen Oberfläche und eine ideal gestreute Reflexion nach dem Lambertschen Gesetz zu sehen.

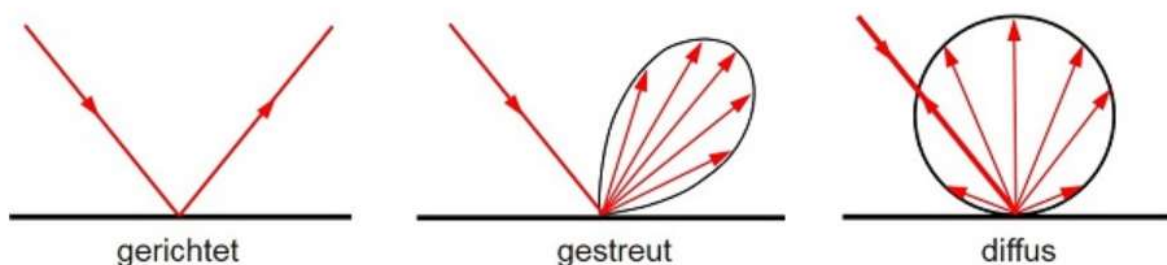


Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015)



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, in Abbildung 6.

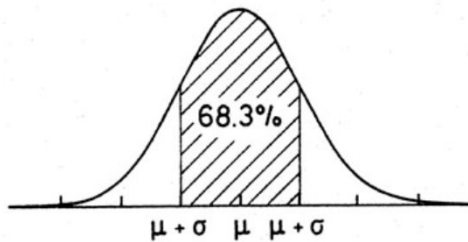


Abbildung 6: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 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 texturierten Frontgläser zu sehen.

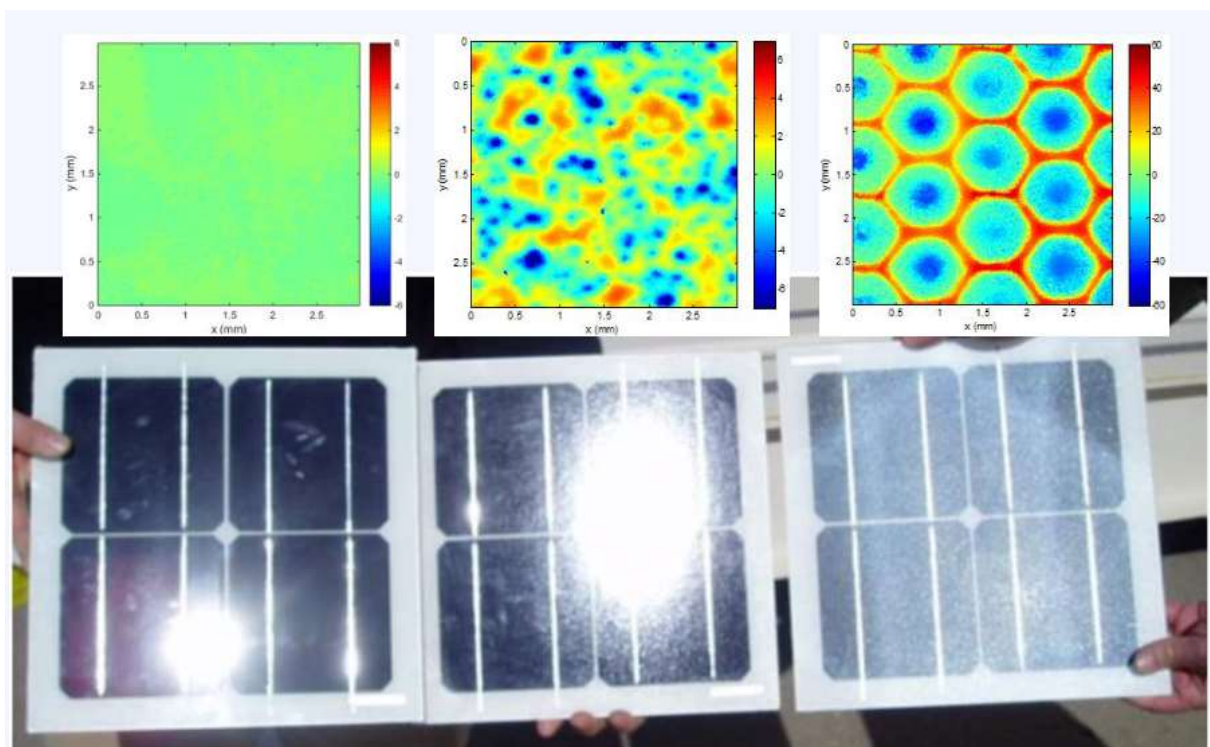


Abbildung 7: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert (Yellowhair und Ho 2015)

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweite von 20 mrad ( $1,16^\circ$ ), für leicht- bis mittelstark texturiertes Glas eine Aufweite von 92-184 mrad ( $5,34-10,6^\circ$ ) und für tiefstrukturiertes Glas 1000 mrad ( $58^\circ$ ) gemessen (Yellowhair und Ho 2015). 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 beinahe vollständig blendfreie Module herstellen, siehe Abbildung 8.

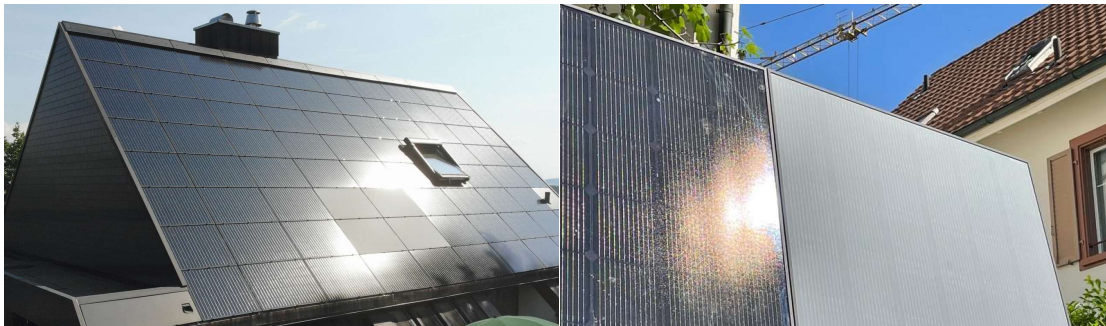


Abbildung 8: links: Module mit satinierter Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021)

Solarmodule sind so konzipiert, dass sie einen möglichst hohen Anteil des Sonnenlichtes zu nutzen, das Frontglas also eine möglichst hohe Transmissionsgrad und möglichst niedrigen Reflexionsgrad aufweist. Die Transmission von Solargläser 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, zu sehen in Abbildung 9, Ausnahme sind hier nur tief texturierte Module.

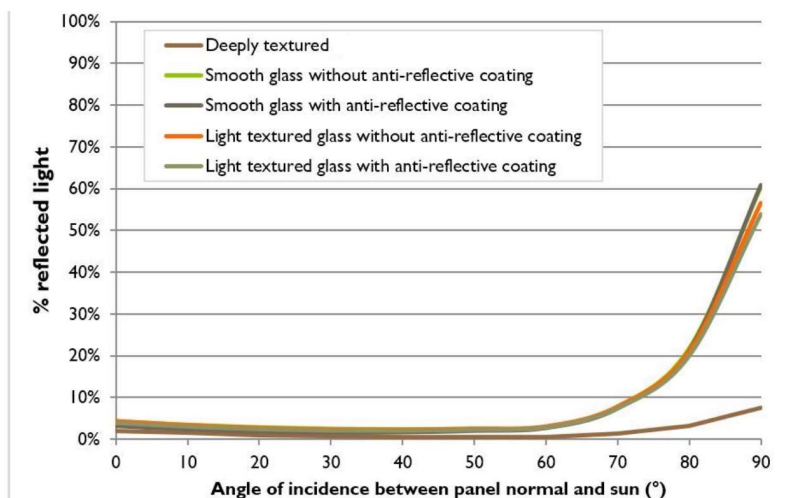


Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015)

### 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 welche das Auge fokussiert ist. Wenn die Helligkeit der Blendquelle (gewichtet mit deren Entfernung zum zentralen Sichtfeld), eine Anhebung der adaptiven Helligkeit zur Folge hat, welche dann dazu führt, dass das Ziel nicht mehr richtig wahrgenommen werden kann, liegt eine Beeinträchtigung der Sicht vor. 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.

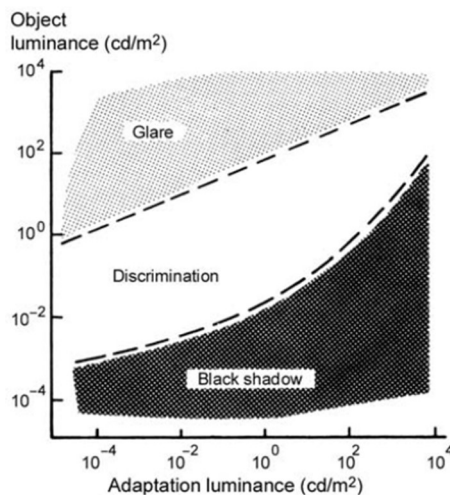


Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaptation des Auges (Boyce 2014)

Es wird zwischen Blendung unterschieden, welche eine Beeinträchtigung der Sicht zur Folge hat und einer Blendung welche „nur“ als unangenehm empfunden wird. 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 (Boyce 2014).



## 5 Methodik der Untersuchung

### 5.1 Bewertungsbasis

Um die betroffenen örtlich aufgelösten Bereiche bestimmen zu können und eine quantitative Aussage über die Reflexionsimmissionen zu treffen, wird ein Simulationstool verwendet. Dieses soll minutengenau darstellen, ob und zu welchem Zeitpunkt schutzwürdige Räume einer potenziellen Blendung ausgesetzt sind. Schutzwürdige Räume sind laut LAI-Hinweisen:

- 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 (Ministerium für Umwelt 2012)

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. Allerdings leiten die LAI - Hinweise Bewertungsgrößen aus einem Hinweispapier für Windenergieanlagen (Immissionsschutz 2002) ab. Die LAI-Hinweise 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.“* (Ministerium für Umwelt 2012)

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 verursachte Belästigung (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016). Zusätzlich zu den schutzwürdigen Räumen muss überprüft werden, ob die auftretende Blendung die Sicherheit von folgenden Bereichen gefährdet:

- Straßenverkehr
- Schienenverkehr
- Schifffahrtsverkehr
- Flugverkehr

Tritt in einem dieser Arbeitsbereiche Blendung auf, kann selbst eine kurzzeitige Blendung schwerwiegend Folgen haben. Es sollte deshalb beim Auftreten von Blendung im Verkehrsbereich mit der Behörde und den Beteiligten eine Risikoanalyse zur Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden, um ggf. Blendschutzmaßnahmen vorzunehmen.

## 5.2 Simulationstool und Modellierung

Als Simulationstool zur Bestimmung der auftretenden Blendung wird das Programm *ForgeSolar* der Firma Sims Industries, LLC verwendet. Dieses basiert auf dem wissenschaftlichen Modell „Solar Glare Hazard Analysis Tool“, welches durch die Sandia National Laboratories, New Mexico entwickelt wurde. Dieses wurde 2013 in den USA von staatlicher Seite anerkannt und bis 2021 war eine Analyse mit diesem Tool verpflichtend für PV-Flächen in Flughafenumgebung (Federal Aviation Administration 2013).

Das Tool berechnet aus den lokalen Sonnenständen die Einfallswinkel auf die Module, bzw. Modulreihen. Hierzu werden auf einer Karte die Modulflächen markiert und Neigungswinkel und Azimut der Ausrichtung eingestellt. Mit den Höhendaten des Geländes wird hieraus eine einheitliche Fläche approximiert. Es lassen sich verschiedene Modultypen mit unterschiedlichen Reflexionseigenschaften auswählen, welche im Wesentlichen darüber entscheiden, wie stark das reflektierte Licht gestreut wird. Die Simulation wertet nur als relevant markierte Beobachtungspunkte und Strecken aus. Die Auflösung der Simulation ist minütlich und erfolgt für ein Kalenderjahr. Bei der Simulation werden folgende Annahmen getroffen:

- Die Blendwirkung wird unabhängig vom Bedeckungsgrad des Himmels berechnet. Somit ergeben sich die astronomisch maximalen Blendzeiträume. Das entspricht einer „worst case“ Betrachtung der Blendsituation. Das Vernachlässigen der Wetterverhältnisse empfiehlt auch das Ministerium für Umwelt (Ministerium für Umwelt 2012) und die TU Ilmenau (Schierz 2012).
- Zur Bewertung des Straßenverkehrs wird nur die Blendung im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 30^\circ$  berücksichtigt, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Zur Bewertung des Bahnverkehrs wird die Blendung im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 20^\circ$  berücksichtigt. Zudem werden Blendungen nicht betrachtet, welche aus der gleichen Richtung wie die direkte Sonnenstrahlung kommen. Somit muss die Differenz der Richtungsvektoren von Reflexionsstrahl und Sonneneinstrahlung weniger als  $10^\circ$  betragen. Dies wird begründet dadurch, dass die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen wird und die Reflexion in diesen Fällen keine zusätzliche Blendungsquelle darstellt (OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik 2016).
- Der Immissionsort im Straßenverkehr wird in der Regel auf eine Höhe von 3 m festgelegt, was in etwa der Sichthöhe von Lastkraftwagen entspricht. Grund hierfür ist, dass in der Regel höhere Beobachtungspositionen auch einer stärkeren Blendung ausgesetzt sind. In Situationen, in denen das nicht zutrifft, weil eine Blendung von oben stattfindet, wird die Sichthöhe stattdessen auf 1,5 m über dem Boden festgelegt, um in diesem Fall einen PKW abzubilden. Der Immissionsort von Bahntrassen wird typischerweise auf 2,5 m über dem Boden festgelegt.

Für weitere Informationen wird an dieser Stelle auf die Webseite von ForgeSolar verwiesen (ForgeSolar 2022).

### 5.3 Simulationsausgabe und -bewertung

Die Simulation wertet jede PV-Fläche und jeden Beobachtungspunkt bzw. Strecke einzeln aus. Es werden dabei folgende Werte für jede Minute, jeweils für die betreffende Position berechnet:

- Die Einstrahlungsstärke der Sonne in Abhängigkeit der Uhrzeit [ $\text{W/m}^2$ ]
- Der berechnete Reflexionsgrad des PV-Fläche [-]
- Alle Strahlungsvektoren
- Der Raumwinkel des blendenden Bereichs der PV-Fläche aus Sicht des Beobachters [rad]
- Die Bestrahlungsstärke der Reflexion auf der Netzhaut [ $\text{W/cm}^2$ ]
- Die Einstufung des Blendpotenzials auf Basis der Bestrahlungsstärke und der Größe der Blendquelle [grün/gelb/rot]
- Leuchtdichte der Blendung [ $\text{cd/m}^2$ ]

Das Blendpotenzial wird gemäß Abbildung 11 in drei Bereiche unterteilt. Im grünen Bereich ist davon auszugehen, dass keine Beeinträchtigung der Sicht stattfindet, im gelben Bereich kann es dagegen zu Sichteinschränkungen kommen und im roten Bereich sogar zu dauerhaften Verbrennungen der Netzhaut. Je größer die Blendquelle (angegeben als Sichtwinkel in Milli-rad), desto größer ist auch deren Blendpotenzial.

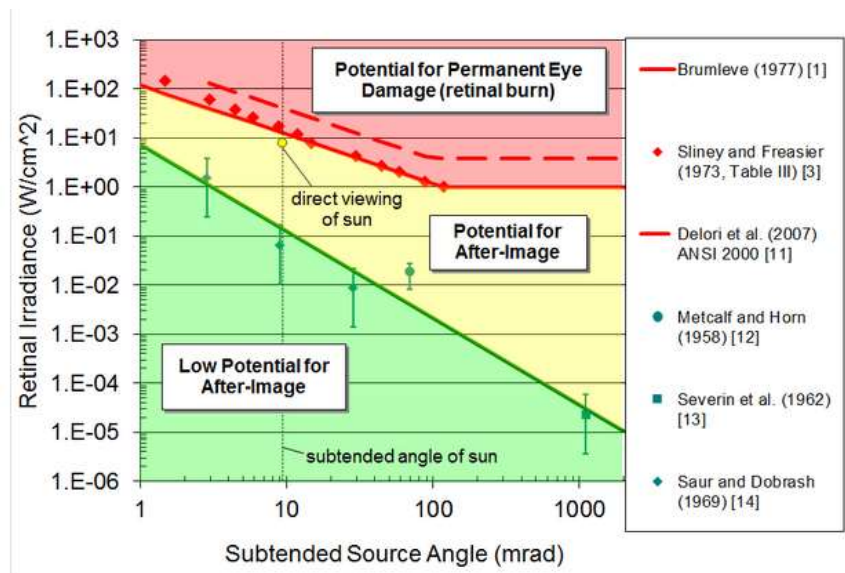


Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022)

## 6 Simulation

Dieses Kapitel stellt die Simulationsparameter dar. Es werden die Eingabedaten und Simulationsparameter für die PV-Flächen und die zu untersuchenden Immissionsorte aufgeführt. In Abbildung 12 ist eine Übersicht über die angelegte Simulation dargestellt.

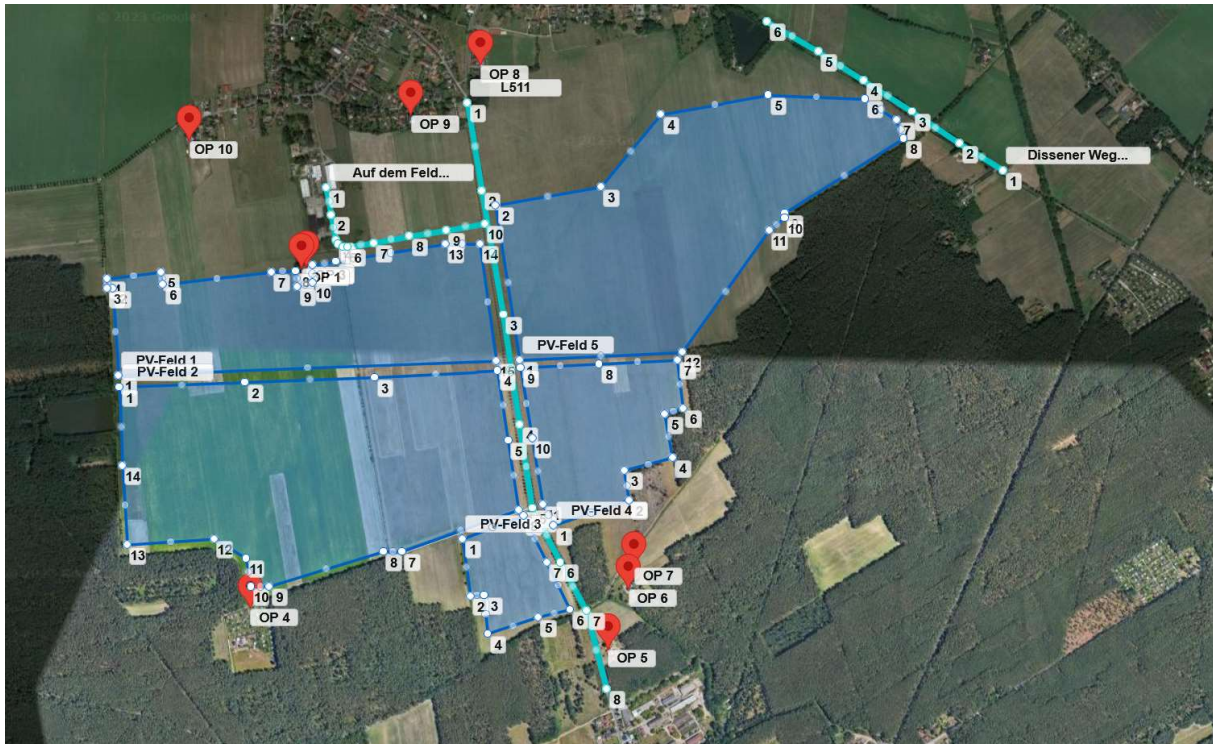


Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulation

### 6.1 PV - Anlage

Für die Simulation werden die Eingabedaten der PV - Anlage mit den Koordinaten und der Höhe über Normalhöhennull ermittelt. Die Nachstellung im Simulationsprogramm basiert auf den vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Planungsunterlagen, sowie Sattelitendaten. Die PV-Flächen sind 180° Süd ausgerichtet und werden für einen Neigungswinkel von 20° untersucht. Als mittlere Modulhöhe ergeben sich hier 2,1 m. Die genauen Koordinaten der Eckpunkte der PV-Flächen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Koordinaten, Höhe ü. NN, Untersuchungshöhe und Gesamthöhe über NN der PV-Flächen

	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehöhe ü. NN [m]	Modulhöhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
PV-Feld 1	1	51,81512	14,27734	60	2,1	62,1
	2	51,8175	14,27706	59,1	2,1	61,2
	3	51,81749	14,27682	59,2	2,1	61,3
	4	51,81776	14,2768	59,1	2,1	61,2
	5	51,81795	14,27921	59,5	2,1	61,6
	6	51,8176	14,27932	59,4	2,1	61,5

	7	51,81795	14,28413	59,7	2,1	61,8
	8	51,81799	14,28517	60,1	2,1	62,2
	9	51,81756	14,28528	59,6	2,1	61,7
	10	51,81766	14,28598	59,7	2,1	61,8
	11	51,81814	14,28594	60,2	2,1	62,3
	12	51,81825	14,28699	59,2	2,1	61,3
	13	51,81871	14,29185	59,7	2,1	61,8
	14	51,81872	14,29337	59,7	2,1	61,8
	15	51,81552	14,29411	60,3	2,1	62,4
PV-Feld 2	1	51,81479	14,27736	60	2,1	62,1
	2	51,81492	14,28295	60	2,1	62,1
	3	51,81507	14,2887	60,1	2,1	62,2
	4	51,81524	14,29416	60,1	2,1	62,2
	5	51,81333	14,29464	60,2	2,1	62,3
	6	51,81142	14,29511	59,9	2,1	62
	7	51,8103	14,28992	61,4	2,1	63,5
	8	51,8103	14,2891	60,8	2,1	62,9
	9	51,80934	14,28403	61,3	2,1	63,4
	10	51,80934	14,28322	61,3	2,1	63,4
	11	51,81009	14,28299	61,1	2,1	63,2
	12	51,81064	14,28157	61,2	2,1	63,3
	13	51,81049	14,27772	60,6	2,1	62,7
	14	51,81265	14,27752	60,3	2,1	62,4
PV-Feld 3	1	51,81064	14,29259	60,3	2,1	62,4
	2	51,80908	14,29296	61,1	2,1	63,2
	3	51,8091	14,29355	60,5	2,1	62,6
	4	51,80802	14,29374	60,7	2,1	62,8
	5	51,80848	14,29595	60,6	2,1	62,7
	6	51,8087	14,29739	61,1	2,1	63,2
	7	51,80999	14,29634	60,5	2,1	62,6
	8	51,81127	14,2953	60,1	2,1	62,2
PV-Feld 4	1	51,81101	14,29665	60,6	2,1	62,7
	2	51,81169	14,30001	61,1	2,1	63,2
	3	51,8125	14,29979	60,2	2,1	62,3
	4	51,81286	14,30191	60,9	2,1	63
	5	51,81405	14,30158	60,4	2,1	62,5
	6	51,8142	14,30238	60,4	2,1	62,5
	7	51,81553	14,30212	60,1	2,1	62,2
	8	51,81542	14,29866	60,3	2,1	62,4
	9	51,81532	14,29519	60	2,1	62,1
	10	51,8134	14,29572	60,2	2,1	62,3
	11	51,81158	14,29619	60,5	2,1	62,6
PV-Feld 5	1	51,81553	14,29515	60,3	2,1	62,4
	2	51,81979	14,29406	60,2	2,1	62,3
	3	51,82028	14,29875	59,3	2,1	61,4
	4	51,82229	14,30141	59,3	2,1	61,4
	5	51,8228	14,30619	59,5	2,1	61,6
	6	51,8227	14,31047	59,8	2,1	61,9
	7	51,82211	14,31188	59,8	2,1	61,9
	8	51,82161	14,31219	60,1	2,1	62,2
	9	51,81958	14,30691	60,7	2,1	62,8
	10	51,81943	14,30691	60,6	2,1	62,7
	11	51,81909	14,30622	61	2,1	63,1
	12	51,81577	14,30235	60,6	2,1	62,7



## 6.2 Immissionsorte

Als relevante Immissionsorte werden schutzwürdige Räume im umliegenden Gebiet untersucht, welche als OPs (*observation points*) bezeichnet werden, sowie umliegende, gegebenenfalls betroffene Straßen. Grundlage für die gewählten Immissionsorte sind Angaben des Auftraggebers, sowie Satellitenbilder. In Abbildung 13 - Abbildung 15 sind die die OPs 1-7 und ihre Umgebung nochmals vergrößert dargestellt. Die exakten Koordinaten, Höhe ü. NN, die für die Simulation angenommene Untersuchungshöhe und die daraus resultierende Gesamthöhe sind aus Tabelle 2 zu entnehmen.



Abbildung 13: Wohngebäude umgeben von PV-Feld 1, dargestellt durch OP 1-3

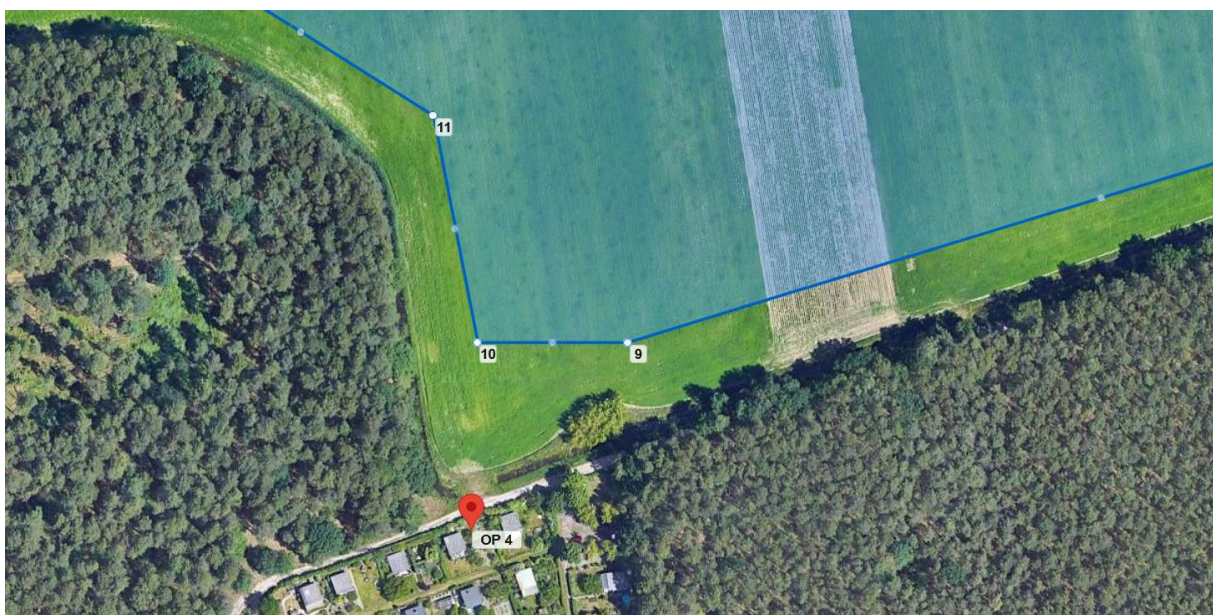


Abbildung 14: Gartenanlage Alte Schäferei im Süden von PV-Feld 2, dargestellt durch OP 4





Abbildung 15: Wohngebäude im Norden von Cottbus, südöstlich von PV-Feld 3 und 4, dargestellt durch OP 5-7

Tabelle 2: Koordinaten der zu untersuchenden Immissionsorte

Immissionsort	Punkt	Breitengrad [°]	Längengrad [°]	Geländehö- he ü. NN [m]	Betrachtungs- höhe [m]	Höhe ü. NN gesamt [m]
Wohngebäude EG	OP 1	51,81806	14,28544	61,1	1,8	62,9
Wohngebäude EG	OP 2	51,81811	14,28568	61,5	1,8	63,3
Wohngebäude 1.OG	OP 3	51,81812	14,28568	61,5	4,8	66,3
Gartenanlage Alte Schäferei	OP 4	51,80872	14,28319	62,3	1,8	64,1
Wohngebäude 1.OG	OP 5	51,80761	14,29904	63	4,8	67,8
Wohngebäude 1.OG	OP 6	51,80924	14,29996	62,7	4,8	67,5
Wohngebäude 1.OG	OP 7	51,80986	14,30021	62,1	4,8	66,9
Wohngebäude 1.OG	OP 8	51,82364	14,29339	61,1	4,8	65,9
Wohngebäude 1.OG	OP 9	51,82225	14,2903	61,3	4,8	66,1

Wohngebäude EG	OP 10	51,82156	14,28048	60,4	1,8	62,2
L511	1	51,82261	14,29284	60,8	3	63,8
	2	51,82018	14,29348	60,8	3	63,8
	3	51,8168	14,2944	61,5	3	64,5
	4	51,81376	14,29515	61,3	3	64,3
	5	51,81149	14,29571	60,9	3	63,9
	6	51,80999	14,29696	61,7	3	64,7
	7	51,80866	14,29809	61,7	3	64,7
	8	51,80652	14,29899	64,2	3	67,2
Dissener Weg	1	51,82075	14,31661	60,5	3	63,5
	2	51,82148	14,31467	61,4	3	64,4
	3	51,82236	14,31255	60,3	3	63,3
	4	51,82321	14,31042	60,3	3	63,3
	5	51,824	14,3084	59,6	3	62,6
	6	51,82483	14,30612	61,3	3	64,3
Auf dem Felde	1	51,82025	14,28658	60,2	3	63,2
	2	51,81951	14,28677	59,8	3	62,8
	3	51,81883	14,28697	59,3	3	62,3
	4	51,81873	14,28707	59,3	3	62,3
	5	51,81866	14,28727	59,6	3	62,6
	6	51,81863	14,2875	59,6	3	62,6
	7	51,81876	14,28867	59,4	3	62,4
	8	51,81892	14,29023	59,4	3	62,4
	9	51,81909	14,29187	59,2	3	62,2
	10	51,81929	14,29359	60	3	63

## 7 Ergebnisse

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Simulation bezüglich der potenziell auftretenden solaren Blendungen durch Reflexionen dargestellt. Die Simulationsergebnisse werden aufgrund der technischen Limitierung der Simulationssoftware einer weiteren Korrektur unterzogen. So ist gemäß LAI-Hinweisen keine Blendung gegeben, wenn die Richtung des Vektors der Lichtreflexion und die des Vektors der Sonnenstrahlung weniger als  $10^\circ$  auseinander liegen. Das bedeutet, dass die Sonne aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexion der Sonne an den PV-Modulen. Somit wird die Sonne, die eine höhere Lichtintensität aufweist als die Reflexion, als Hauptblendquelle wahrgenommen. Die Reflexion wird sozusagen von der Sonne überstrahlt und erscheint nicht als zusätzliche Blendung. Auch Sichtunterbrechungen werden durch die Simulation nicht ermittelt, sondern müssen nachträglich herausgefiltert werden. Die genaue Vorgehensweise hierbei wird in den folgenden Abschnitten erläutert. In Tabelle 3 sind die Werte nach genannten Korrekturen aufgeführt, kritische Werte welche den LAI-Grenzwert von 30 Stunden/Jahr bzw. 30 Minuten/Tag überschreiten oder den Verkehr betreffen sind in Rot dargestellt. Die so simulierte Blenddauer stellt das Höchstmaß potenzieller Blendung dar, welche ohne Bewölkung auftritt.

Tabelle 3: Simulationsergebnisse: gesamte potenzielle Blenddauer in Minuten über ein Jahr

Immissionsort	Potenzielle Blenddauer in Stunden
OP1	4,4
OP2	7,0
OP3	16,4
OP4	0
OP5	0
OP6	0
OP7	0
OP8	0
OP9	0
OP10	0
L511	0
Dissener Weg	52,3
Auf dem Felde	16,7

### OP1-3

Die Ergebnisse für OP1 und OP2 werden nicht gesondert aufgeführt, sie entsprechen weitestgehend den Ergebnissen zu OP3, jedoch bei deutlich niedriger potenzieller Blenddauer.

Die Ergebnisse für OP3 sind in Abbildung 16 dargestellt. Es kommt zwischen Mitte Februar und Ende April, sowie zwischen Ende August und Ende Oktober zu potenzieller Blendung in den Morgenstunden zwischen 6:30 – 8:00 Uhr. Die Immissionswinkel liegen zwischen  $80^\circ$  -  $105^\circ$  und es werden tägliche

Blenddauern von bis zu 14 Minuten erreicht. Die Werte liegen deutlich unterhalb der Grenzwerte gemäß LAI-Hinweisen und eine erhebliche Beeinträchtigung durch Blendung wird damit ausgeschlossen.

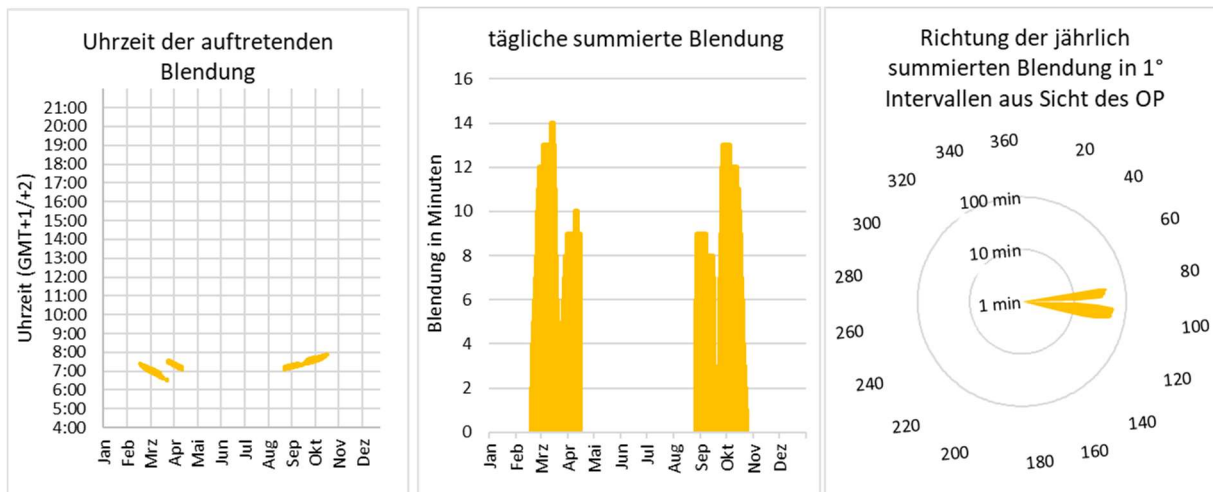


Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP3

## OP5-7

Die Ergebnisse für OP5 und OP7 werden nicht gesondert aufgeführt, sie entsprechen weitestgehend den Ergebnissen zu OP6.

Die Ergebnisse der Simulation für OP6 sind in Abbildung 17 dargestellt. Es kommt im Sommerhalbjahr zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen 273° - 294°. Gemäß Abbildung 18 besteht in dieser Richtung eine hinreichende Sichtunterbrechung durch Waldstreifen. Eine Blendung wird hiermit für OP5-7 ausgeschlossen.

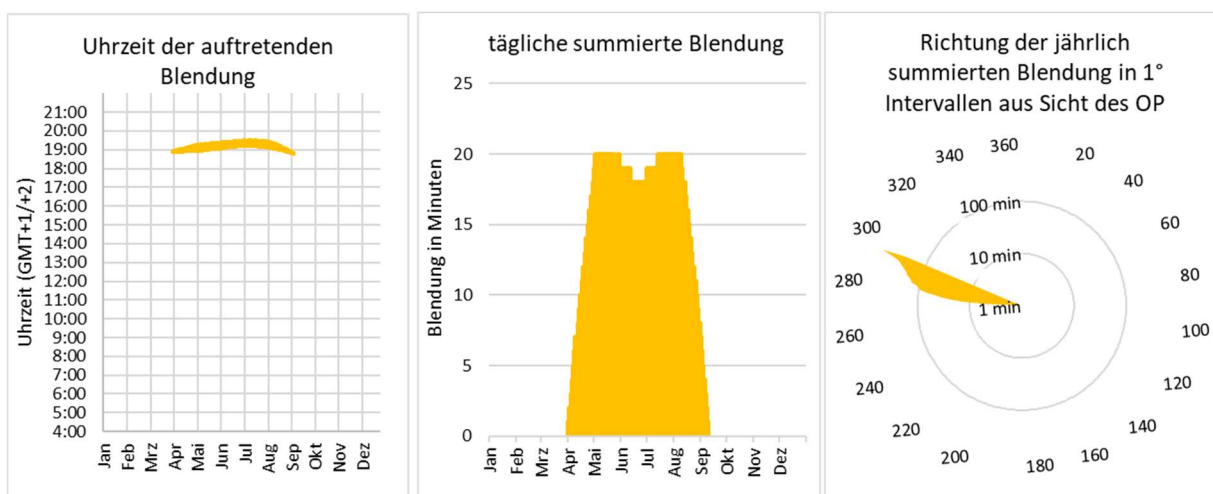


Abbildung 17: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP6





Abbildung 18: Durch potenzielle Blendung betroffene Immissionswinkel zu OP 5-7 in Rot

### Dissener Weg

Die Ergebnisse der Simulation für den Dissener Weg sind in Abbildung 19 dargestellt. Es kommt von Mitte März bis Mitte September zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen  $269^{\circ}$  -  $294^{\circ}$ . Die potenzielle Blendung tritt in den Abendstunden zwischen 17:50 und 19:30 auf. In Abbildung 20 ist der betroffene Straßenabschnitt markiert.

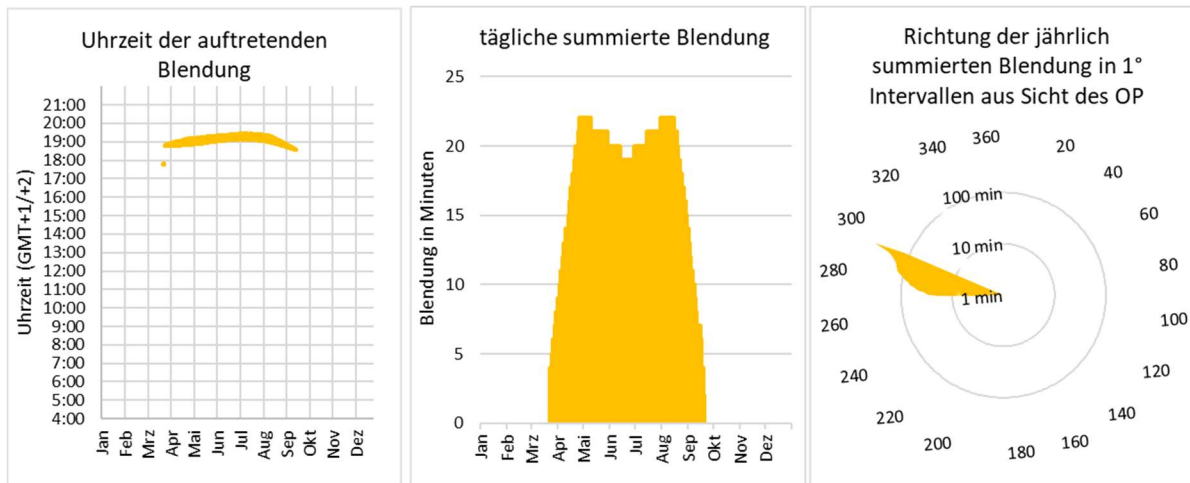


Abbildung 19: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf Dissener Weg



Abbildung 20: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt des Dissener Weg in Fahrtrichtung Nordwest in Orange, verursachende PV-Fläche und betroffener Sichtbereich des Fahrers in Rot

### Auf dem Felde

Die Ergebnisse der Simulation für die Straße/Zuwegung Auf dem Felde sind in Abbildung 21 dargestellt. Es kommt von Mitte März bis Mitte September zu potenzieller Blendung mit Immissionswinkeln zwischen  $74^\circ$  -  $89^\circ$ . Die potenzielle Blendung tritt in den Morgenstunden zwischen 6:30 und 7:30 auf. In Abbildung 20 ist der betroffene Straßenabschnitt markiert.



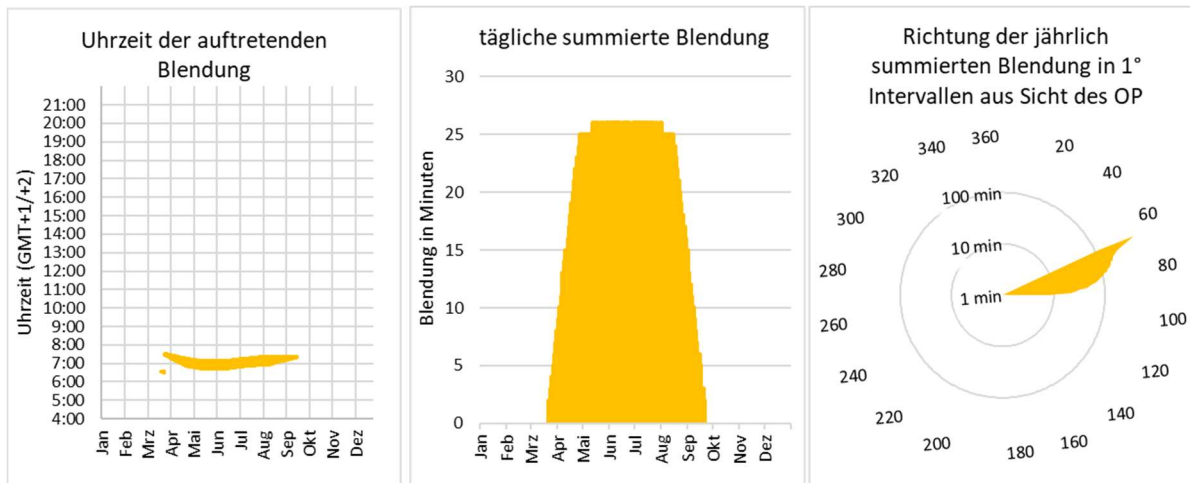


Abbildung 21: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf „Auf dem Felde“

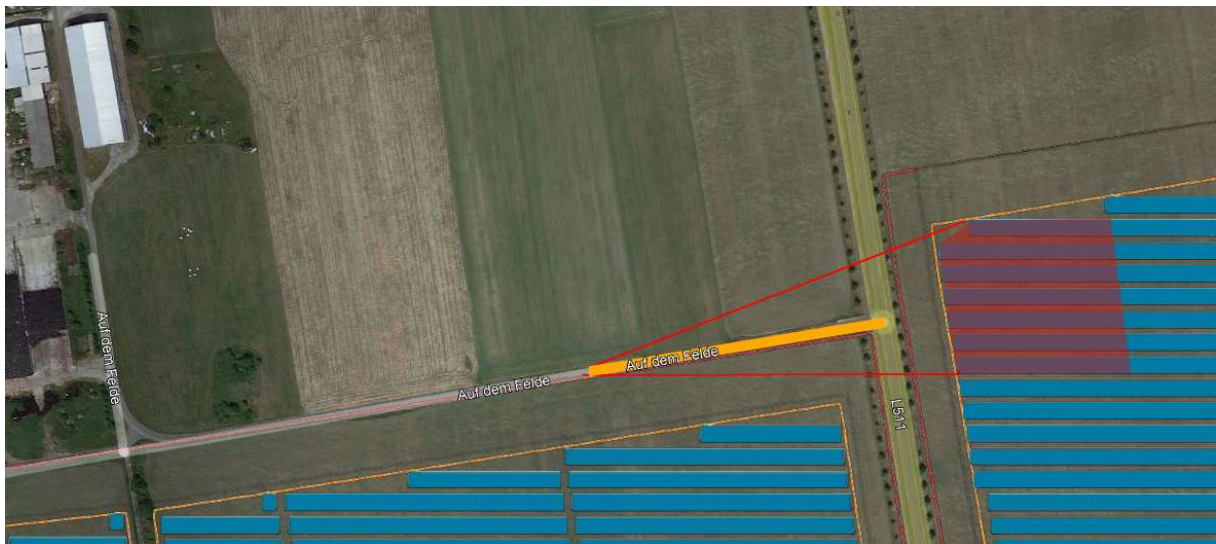


Abbildung 22: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt der Straße/Zuwegung Auf dem Felde in Fahrtrichtung Osten in Orange, betroffene PV-Fläche in Rot

## 8 Blendschutzmaßnahmen

Der Auftraggeber plant Sichtschutzpflanzung an der gesamten nördlichen Begrenzung des Solarparks, an der östlichen Parkseite zum Dissener Weg, beidseitig entlang der L511, nördlich der Gartenanlage Alte Schäferei (OP4), sowie nördlich der Wohngebäude OP6 und OP7. Gemäß der Simulationsauswertung werden zur Vermeidung potenzieller Blendung nur Sichtschutzpflanzungen zum Dissener Weg und in einem Teilbereich der L511 empfohlen. Gemäß den Planungsunterlagen des Auftraggebers zu diesen Bereichen werden hier bereits Sichtschutzpflanzungen vorgesehen, dargestellt in Abbildung 23. Nachfolgend werden dennoch die empfohlenen Blendschutzmaßnahmen dargestellt, auch wenn diese bereits eingeplant sind.



Abbildung 23: geplante Sichtschutzpflanzungen zum Dissener Weg und entlang der L511 in dunklem Orange (Quelle: Auftraggeber)

An der östlichen Grundstücksseite des Solarparks zum Dissener Weg wird ein Sichtschutz mit einer Höhe von 3 m empfohlen, dargestellt in Gelb in Abbildung 24. Es besteht hier zwar bereits Bewuchs entlang der Straße, dieser wird durch das Gutachten jedoch nicht als hinreichende Sichtunterbrechung eingestuft. Wird der Sichtschutz mittels Pflanzungen realisiert sollte darauf geachtet werden, dass die potenzielle Blendung bereits ab Mitte März auftritt und dementsprechend zu dieser Jahreszeit bereits ein ausreichender Sichtschutz gegeben ist. Auch für die Zuwegung „Auf dem Felde“ wird eine

Sichtunterbrechung zum PV-Feld 5 empfohlen, diese ist in Abbildung 25 in Gelb dargestellt und sollte in der Höhe 3 m betragen.

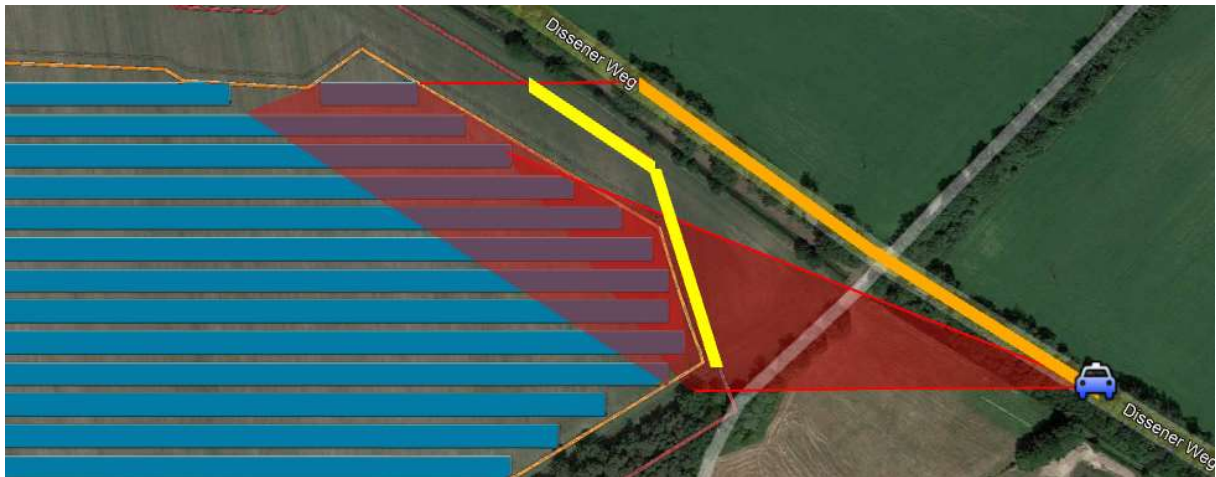


Abbildung 24: empfohlene Sichtunterbrechung zum Dissener Weg in Gelb



Abbildung 25: empfohlene Sichtunterbrechung zur Zuwegung „Auf dem Felde“ in Gelb



## 9 Schlussbemerkung

Untersucht wurde die potenzielle Blendung durch direkte Reflexion der Sonnenstrahlen an den Modulflächen für den geplanten Solarpark Dissen-Striesow. Für den Dissener Weg, sowie für die Zuwegung „Auf dem Felde“ wurde durch das Gutachten potenzielle Blendung ermittelt. Mit den vom Auftraggeber geplanten Sichtschutzmaßnahmen kann eine Blendung jedoch ausgeschlossen werden. Außerdem wurde potenzielle Blendung des Wohnhauses Auf dem Felde Nr. 20 ermittelt. Eine erhebliche Beeinträchtigung durch Blendung wird jedoch gemäß den Grenzwerten der LAI-Hinweisen ausgeschlossen. Für die L511 und die Gartenanlage Alte Schäferei wird keine potenzielle Blendung ermittelt. Auch für die Wohngebäude nördlich des Solarparks wird keine potenzielle Blendung ermittelt, für die Gebäude südlich des Solarparks wird eine potenzielle Blendung durch zwischenliegende Waldstücke ausgeschlossen.

## 10 Literaturverzeichnis

- Boyce, Peter R. *Human Factors in Lightning*. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- Bucher, Christof. „bulletin.ch.“ *Reflexionen an Photovoltaikanlagen*. 24. September 2021.  
<https://www.bulletin.ch/de/news-detail/reflexionen-an-photovoltaikanlagen.html>.
- Federal Aviation Administration. „Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports.“ *Vol. 78, No. 205*. Federal Register, 23. October 2013.
- ForgeSolar. *ForgeSolar*. 29. 07 2022. <https://www.forgesolar.com/help/#ref-yel-2015>.
- Immissionsschutz, Länderausschuss für. „Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immission von Windnergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweise), verabschiedet auf der 103. Sitzung.“ 2002.
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg als Vorsitzland der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI).“ 2012.
- OVE, Österreichischer Verband für Elektrotechnik. „Blendung durch Photovoltaikanlagen.“ Wien, 1. 11 2016.
- Schierz, Christoph. *Über die Blenbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen*. Ilmenau: TU Ilmenau, FG Lichttechnik, 2012.
- Trempler, J. *Optische Eigenschaften*. München: Carl Hanser Verlag, 2015.
- Warthmann, Peter. „gebaeudetechnik.ch.“ *Sandstrahl-Atelier löst Blendproblem*. 15. Oktober 2021.  
<https://www.gebaeudetechnik.ch/gebaeudehuelle/photovoltaikanlage/sandstrahl-atelier-loest-blendproblem/>.
- Yellowhair, Julius Yellowhair, und Clifford K. Ho. „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and GlintGlare Impacts.“ *Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability*. Albuquerque, New Mexico: Laboratories, Sandia National, 2015. 49481.
- Zehndorfer Engineering GmbH . „Lichttechnisches Gutachten Reflexionen KIOTO HC Modul.“ Klagenfurt, 2022.

## 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: geplante PV-Flächen in Blau und Umgebung (Quelle: Google Earth).....	3
Abbildung 2: Modulbelegungsplan (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 3: Unterkonstruktion der geplanten PV-Anlage (Quelle: Auftraggeber) .....	4
Abbildung 4: Reflexion eines Lichtstrahls.....	5
Abbildung 5: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) Ideale diffuse Reflexion (Trempler 2015) .....	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 (Yellowhair und Ho 2015) .....	6
Abbildung 8: links: Module mit satinierte Folie (Bucher 2021), rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul (Warthmann 2021) .....	7
Abbildung 9 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen (Yellowhair und Ho 2015) .....	7
Abbildung 10: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges (Boyce 2014).....	8
Abbildung 11: Einstufung des Blendpotenzials hinsichtlich der Sichtbeeinträchtigung (ForgeSolar 2022) .....	11
Abbildung 12: Anlage der PV-Flächen und Immissionsorte in der Simulation.....	12
Abbildung 13: Wohngebäude umgeben von PV-Feld 1, dargestellt durch OP 1-3.....	14
Abbildung 14: Gartenanlage Alte Schäferei im Süden von PV-Feld 2, dargestellt durch OP 4.....	14
Abbildung 15: Wohngebäude im Norden von Cottbus, südöstlich von PV-Feld 3 und 4, dargestellt durch OP 5-7 .....	15
Abbildung 16: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP3.....	18
Abbildung 17: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf OP6.....	18
Abbildung 18: Durch potenzielle Blendung betroffene Immissionswinkel zu OP 5-7 in Rot .....	19
Abbildung 19: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf Dissener Weg .....	20
Abbildung 20: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt des Dissener Weg in Fahrtrichtung Nordwest in Orange, verursachende PV-Fläche und betroffener Sichtbereich des Fahrers in Rot.....	20
Abbildung 21: Zeitraum und Richtung der potenziellen Blendung auf „Auf dem Felde“ .....	21
Abbildung 22: Von potenzieller Blendung betroffener Streckenabschnitt der Straße/Zuwegung Auf dem Felde in Fahrtrichtung Osten in Orange, betroffene PV-Fläche in Rot .....	21
Abbildung 23: geplante Sichtschutzpflanzungen zum Dissener Weg und entlang der L511 in dunklem Orange (Quelle: Auftraggeber) .....	22
Abbildung 24: empfohlene Sichtunterbrechung zum Dissener Weg in Gelb .....	23



Abbildung 25: empfohlene Sichtunterbrechung zur Zuwegung „Auf dem Felde“ in Gelb .....	23
--	----