



**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 den Solarpark Rockenthin**

Anlage: Solarpark Rockenthin  
52.865820°, 11.011312°  
29410 Salzwedel

in Auftrag gegeben von: Wattner Projektentwicklungsgesellschaft mbH  
Maike Schlicker  
Maximinenstraße 6  
50668 Köln

Projektnummer: A-LV24/0156

Gutachter: Dipl.-Ing. Ralf Haselhuhn

Bearbeiter: Dr. Laurent Kroely

Berlin, 25.11.2024

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.....	6
4	Grundlagen der Optik.....	8
	4.1 Geometrische Reflexionssituation.....	8
	4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen .....	9
	4.3 Blendung.....	11
5	Methodik der Untersuchung .....	12
6	Auswertung .....	13
	6.1 Eisenbahnverkehr.....	13
	6.1.1 Bahnstrecke in Fahrtrichtung Westen .....	14
	6.1.2 Bahnstrecke in Fahrtrichtung Osten.....	14
	6.2 Kreisstraße 1378 (K 1378) .....	16
	6.2.1 K 1378 in Fahrtrichtung Osten.....	16
	6.2.2 K 1378 Fahrtrichtung Westen.....	16
	6.3 Wohngebäude .....	18
7	Zusammenfassung.....	20
8	Literaturverzeichnis .....	21
9	Abbildungsverzeichnis.....	22
10	Gewährleistung .....	24

## 1 Einleitung

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

## 2 Beschreibung der Umgebung

Die geplante PVA liegt nördlich des Ortsteils Rockenthin im Altmarkkreis Salzwedel in Sachsen-Anhalt. Südlich des Solarparks liegt eine Bahnstrecke (die sog. Amerikalinie), südlich und östlich liegt die Kreisstraße 1378 (K 1378), und um den Park liegen Wirtschaftswege an. Die potenziellen Reflexionen auf die Wirtschaftswege werden nicht untersucht. Die PVA ist auf bisher landwirtschaftlich genutzten Flächen geplant. Das Gelände ist nicht eben: laut der vom Auftraggeber gelieferten Vermessung fällt es im östlichen und mittleren Teil nach Süden ca. 4 - 6 Meter (ca. 1,1 - 1,7°) ab. Im westlichen Teil fällt es nach Süden nur bis ca. 1,5 Meter (ca. 0,4°) ab. In Ost-West Richtung ist das Gelände weitestgehend eben. Eine Übersicht über die nähere Umgebung der PV-Anlage wird in Abbildung 1 gegeben. Es gab keinen Ortstermin aber Fotos wurden vom Auftraggeber geliefert (s. Abbildung 2).



Abbildung 1: Gelände der geplanten PVA (rote Linie) und Umgebung (Quellen: Auftraggeber und Google Earth)



Abbildung 2: Foto des Geländes (Blick nach Ost) (Quelle: Auftraggeber)

Laut dem Auftraggeber bzw. laut dessen Vermesser gibt es im *unmittelbar angrenzenden* Bereich zur PVA keine Lichtsignale. Westlich der PVA kann ein Lichtsignal auf den Satellitenbildern erkannt werden (in Abbildung 3 mit „1“ markiert) und es wurde ein zweites Lichtsignal vor Ort fotografiert (in Abbildung 3 mit „2“ markiert und in Abbildung 4 zu sehen).



Abbildung 3: Positionen der Lichtsignale (Quellen: Google Earth und Auftraggeber)



Abbildung 4: Aufnahme des in Abbildung 3 mit „2“ markierten Lichtsignals (Quelle: Auftraggeber)

An den in Abbildung 5 mit „U“ und „B“ markierten Positionen gibt es eine Überquerung der Bahnstrecke mit Schranke und Ampel, wie in Abbildung 6 zu entnehmen. Die Überquerung „B“ soll zukünftig mit einer Bahnbrücke ersetzt werden.



Abbildung 5: Positionen der Überquerungen der Bahnstrecke (Quelle: Google Earth)



Abbildung 6: Bahnübergang mit Schranke und Ampel (Quelle: Auftraggeber)

### 3 Beschreibung der PV-Anlage

Die PVA ist mit einer DC-Leistung von ca. 23,1 MWp geplant. Vorgesehen ist eine Süd-Ausrichtung mit  $180^\circ$  Azimut und einem Neigungswinkel von  $17^\circ$ . Der Modulbelegungsplan ist in Abbildung 7 dargestellt. Laut den übermittelten CAD Plänen liegt die maximal belegte Fläche mind. 4,5 Meter vom Zaun entfernt. Als Unterkonstruktion kommt ein 2-Pfeiler-System zum Einsatz. Die Modulunterkante ist auf 0,8 m Höhe und die Moduloberkante auf 2,2 m geplant. Die Unterkonstruktion ist schematisch in Abbildung 8 dargestellt.



Abbildung 7: Modulbelegungsplan des Parks (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 ( $\alpha = \beta$ ).

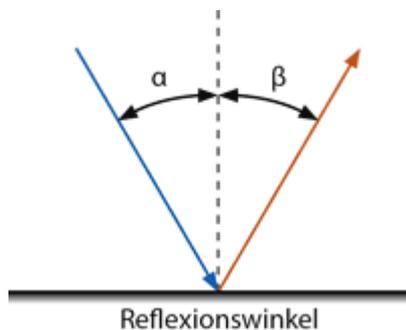


Abbildung 9: Reflexion eines Lichtstrahls

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 10 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.

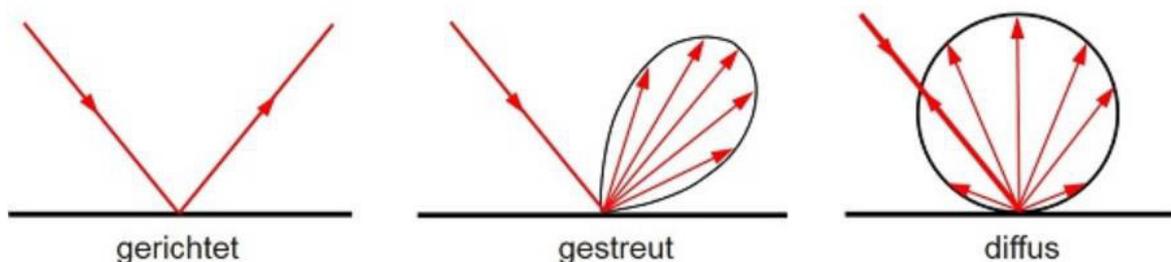


Abbildung 10: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1]

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 11).

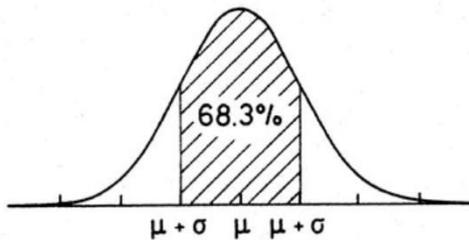


Abbildung 11: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung

## 4.2 Reflexionseigenschaften verschiedener Modultypen

Entscheidend für die Reflexionseigenschaften eines PV-Moduls ist die Oberflächenstruktur des Glases. In Abbildung 12 sind Messungen der Oberflächenstruktur und Bilder der auftretenden Reflexion für drei unterschiedlich stark texturierte Frontgläser zu sehen.

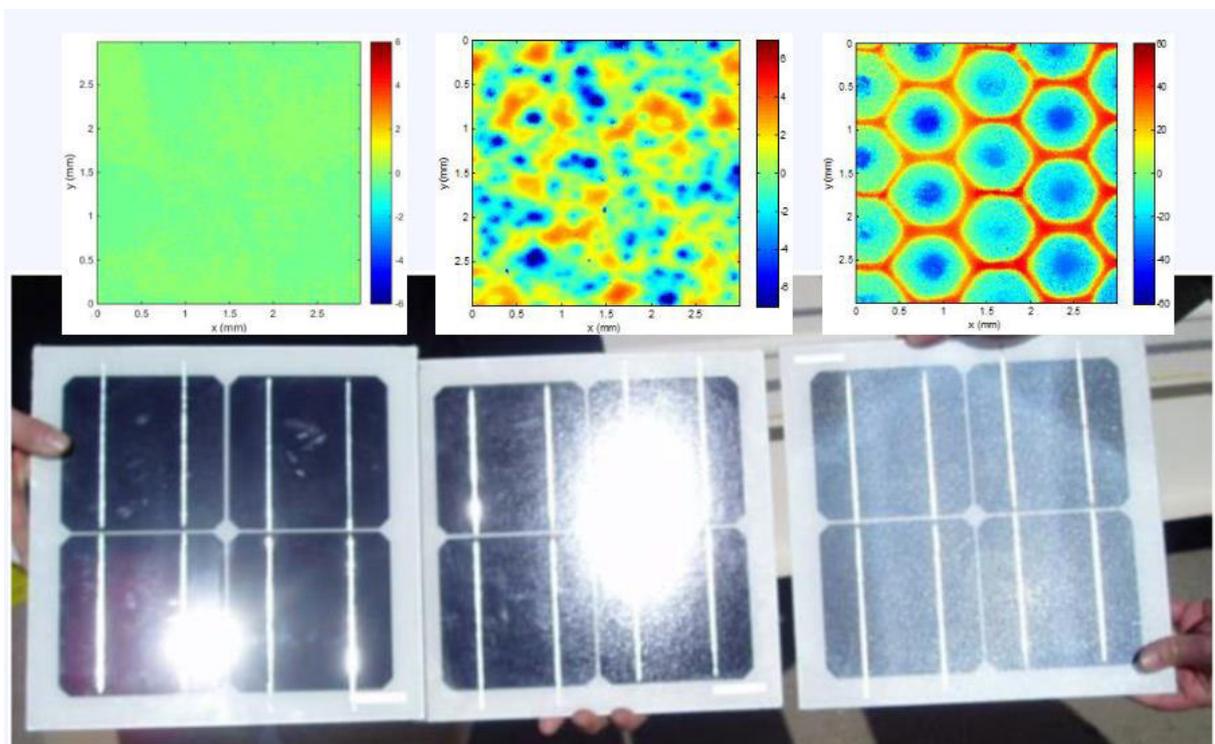


Abbildung 12: Messung der Oberflächenstruktur und Aufnahmen der Reflexion an Solarmodulen mit verschiedener Frontglas-Strukturierung, links: glattes Floatglas, mitte: leicht strukturiert mit Anti-Reflexionsschicht, rechts: tief strukturiert [2]

In der Messdatenanalyse wurde für Floatglas ein Strahlweitung von 20 mrad (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 13.

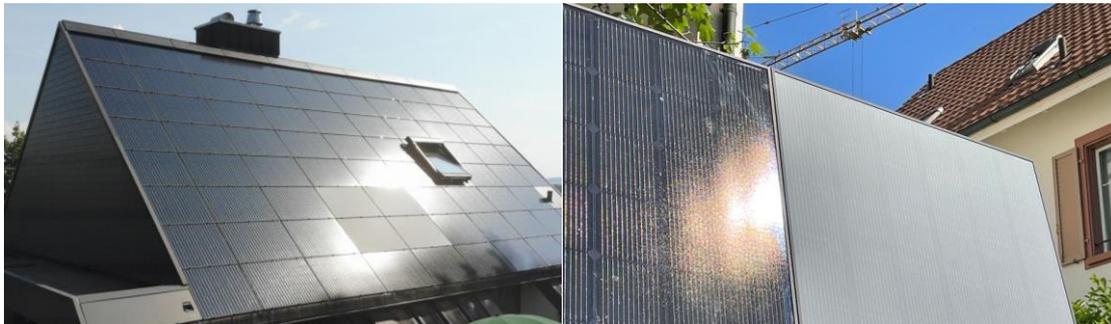


Abbildung 13: links: Module mit satinierter Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4]

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 14 zu sehen. Ausnahmen sind hier nur tief texturierte Module.

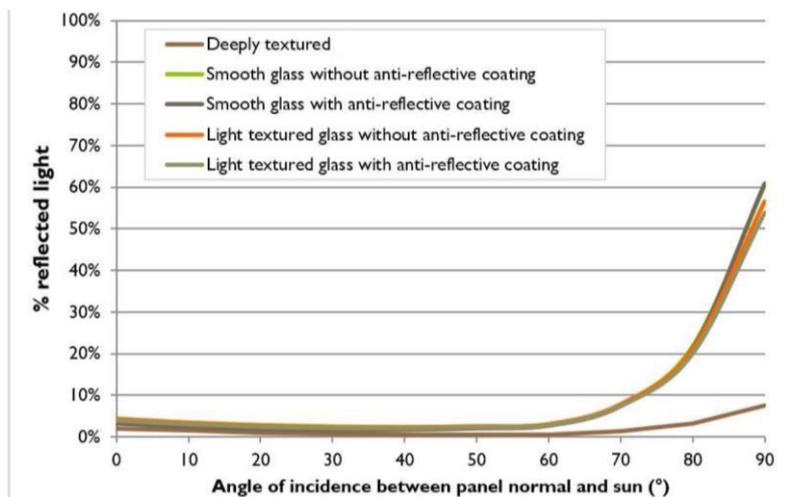


Abbildung 14 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2]

### 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 15 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.

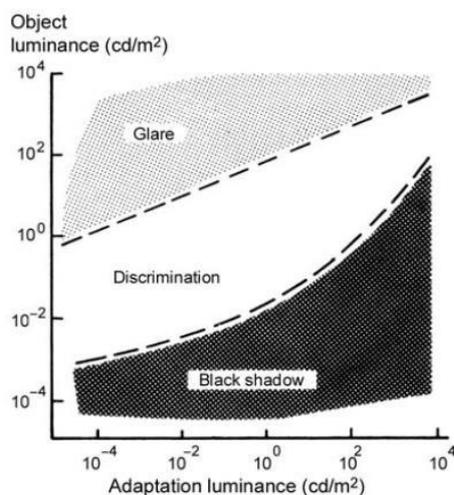


Abbildung 15: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5]

## 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 wird eine Leuchtdichte über  $20.000 \text{ cd/m}^2$  definiert.

## 6 Auswertung

### 6.1 Eisenbahnverkehr

Die Untersuchungshöhe für den Zugverkehr wird auf 3 m über der Bahnstrecke festgelegt.

Laut CAD Plänen des Auftraggebers liegen die Höhenunterschiede zw. Bahnstrecke und dem südlichsten Teil der belegten Fläche bei ca. -1 Meter (Bahnstrecke tiefer als das Gelände) im westlichen Teil des Parks bis ca. +2 Meter (Bahnstrecke über dem Gelände) in der Mitte des Parks. Mit dem minimalen Abstand zw. Zaun und Gleiskante (ca. 17 Meter) ergeben sich maximale Höhenwinkel zw. der Modulfläche und den Zugfahrern zwischen ca.  $-1,7^\circ$  bis ca.  $11,1^\circ$ .

Auf Basis der Geokoordinaten und der Modulausrichtung wird das Reflexionsdiagramm für die Modulflächen erstellt, zu sehen in Abbildung 16. 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.

Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis  $11,1^\circ$  in Richtung Osten zwischen  $75 - 117^\circ$  von Februar bis Oktober auf und in Richtung Westen zwischen  $246 - 283^\circ$  von März bis Oktober.

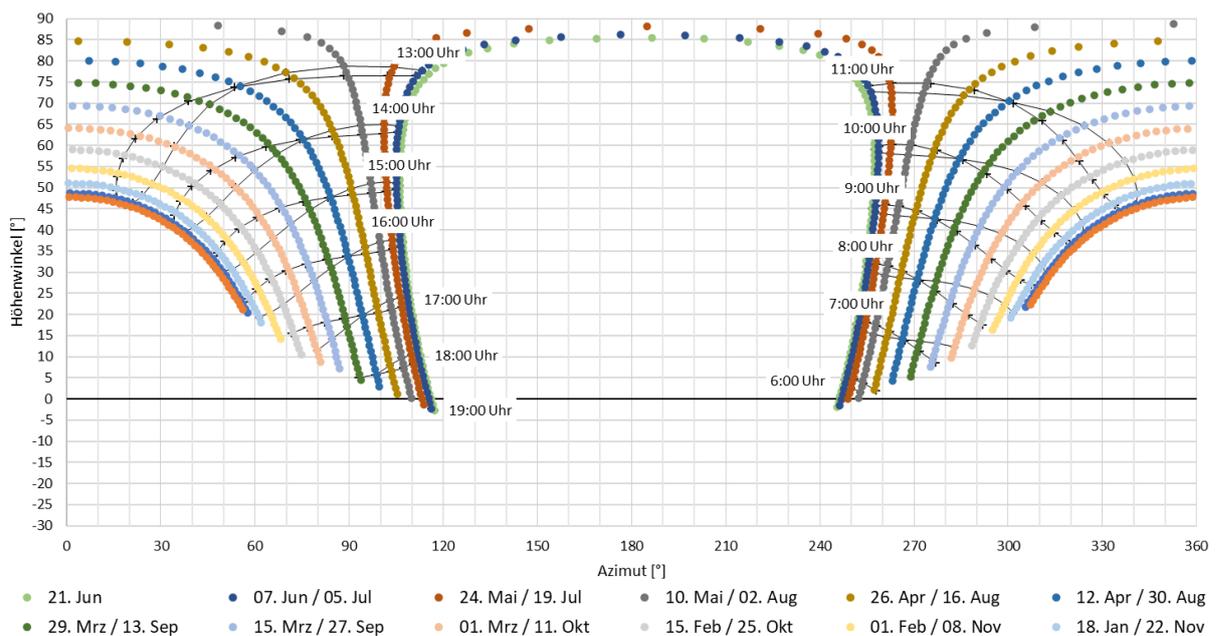


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm der Modulfläche:  $180^\circ$  Süd-Ausrichtung,  $17^\circ$  Neigung, (UTC +1)

### 6.1.1 Bahnstrecke in Fahrtrichtung Westen

In Richtung der auftretenden Reflexionen liegt die Fahrbahn wenigstens 52 m von der Modulfläche entfernt. Damit ergibt sich hieraus, dass Reflexionen mit maximalen Höhenwinkeln von  $-0,8^\circ$  bis  $2,6^\circ$  relevant sind. Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis  $2,6^\circ$  in Richtung Osten zwischen  $105 - 116^\circ$  von April bis August auf.

Es wird ein relevanter Sichtwinkel von  $\pm 20^\circ$  zur Fahrtrichtung untersucht. Die Bahnstrecke verläuft in Westrichtung mit  $272^\circ$ . In Fahrtrichtung Westen liegen die relevanten Immissionswinkel für den Zugführer zwischen  $252 - 292^\circ$ . Damit ergeben sich Reflexionen im relevanten Sichtfeld des Zugführers, wie in Abbildung 17 zu sehen. Die Reflexionen treten erst ab mindestens  $13^\circ$  zur Blickrichtung/Fahrtrichtung auf. Es kann daher bei Einsicht des vorliegenden Streckenabschnitts nur zu einer geringfügigen Blendwirkung kommen, der Bahnübergang bleibt dabei für den Zugführer einzusehen. Entlang des betroffenen Streckenabschnitts befinden sich keine Lichtsignale für den Bahnverkehr. Der Gutachter geht daher von keiner relevanten Beeinträchtigung der Sehaufgabe und damit auch von keiner Gefährdung der Bahnsicherheit aus. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

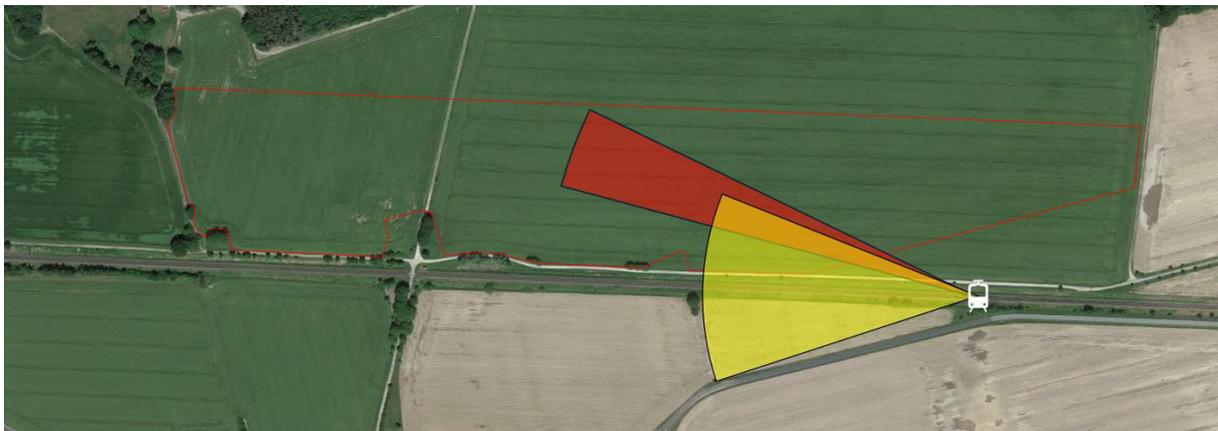


Abbildung 17: Relevanter Sichtwinkel des Zugführers auf der Bahnstrecke in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)

### 6.1.2 Bahnstrecke in Fahrtrichtung Osten

In Richtung der auftretenden Reflexionen aus Richtung Osten liegt die Fahrbahn wenigstens 48 m von der Modulfläche entfernt. Damit ergibt sich, dass Reflexionen mit maximalen Höhenwinkeln von  $-0,9^\circ$  bis  $2,9^\circ$  relevant sind. Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit einem Höhenwinkel bis  $2,9^\circ$  in Richtung Westen zwischen  $246 - 258^\circ$  von April bis August auf.

Es wird ein relevanter Sichtwinkel von  $\pm 20^\circ$  zur Fahrtrichtung untersucht. Die Bahnstrecke verläuft in Ostrichtung mit  $92^\circ$ . In Fahrtrichtung Osten liegen die relevanten Immissionswinkel für den Zugführer

zwischen  $72^\circ$  -  $112^\circ$ . Damit ergeben sich Reflexionen im relevanten Sichtfeld des Zugführers, wie in Abbildung 18 zu sehen. Die Reflexionen treten ab mindestens  $14^\circ$  zur Blickrichtung/Fahrtrichtung auf.

Es kann daher bei Einsicht des vorliegenden Streckenabschnitts nur zu einer geringfügigen Blendwirkung kommen, der Bahnübergang bleibt dabei für den Zugführer einzusehen. Entlang des betroffenen Streckenabschnitts befinden sich keine Lichtsignale für den Bahnverkehr. Der Gutachter geht daher von keiner relevanten Beeinträchtigung der Sehaufgabe und damit auch von keiner Gefährdung der Bahnsicherheit aus. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

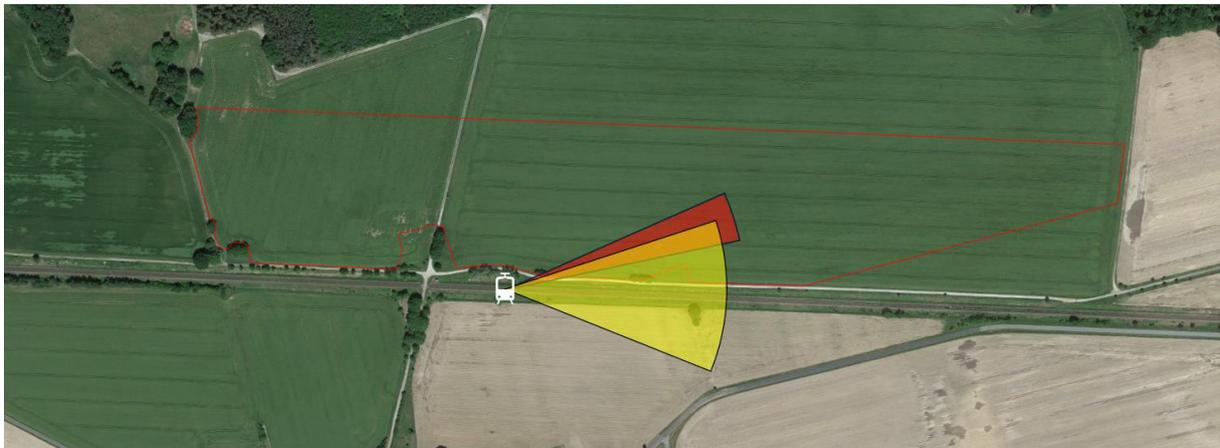


Abbildung 18: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsbeteiligten auf der Bahnstrecke in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth)

Für die auf den Satellitenbildern erkannten Lichtsignale westlich des Parks treten wegen der Entfernung und der Topologie der Umgebung keine Reflexionen auf den für diese Sehaufgabe relevanten Streckenabschnitt auf. Wie in Abbildung 19 dargestellt treffen nur Emissionswinkel von ca.  $246^\circ$  –  $247^\circ$  auf die hier tiefer liegende Bahnstrecke. Das Einsehen der Lichtsignale wird nicht durch Reflexionen verhindert oder erschwert.

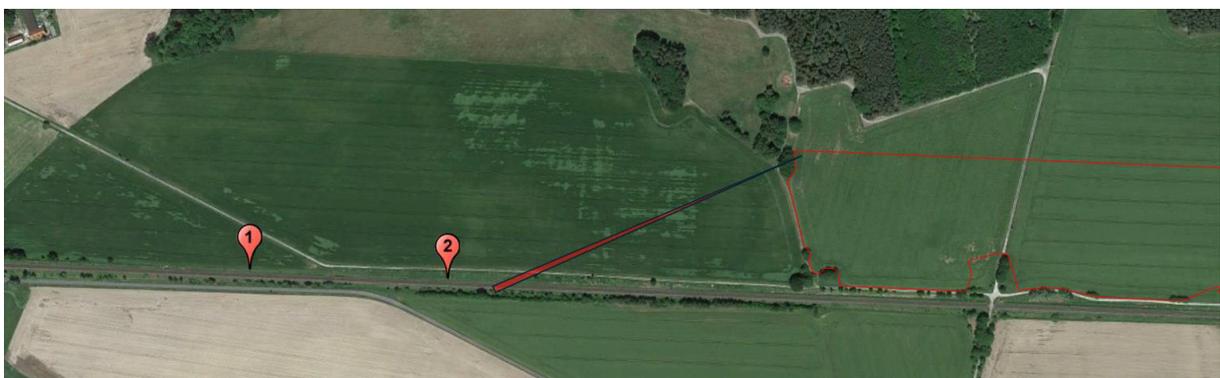


Abbildung 19: Potenziell auftretende Reflexionen (Emissionswinkel) in Richtung der Lichtsignale in Rot

## 6.2 Kreisstraße 1378 (K 1378)

### 6.2.1 K 1378 in Fahrtrichtung Osten

Alle Abschnitte der Kreisstraße wurden untersucht. Dargestellt wird nachfolgend der Abschnitt nach dem Ortsteil Rockenthin, für welchen am ehesten relevante Reflexionen zu erwarten sind.

Dieser Abschnitt verläuft in Ostrichtung mit ca.  $47^\circ$ . Die minimale Entfernung zur PV-Fläche ist ca. 150 Meter und mit der Topologie der Umgebung ergeben sich für den Verkehr relevante Höhenwinkel im Bereich  $-0,2^\circ$  bis  $1,2^\circ$ . Dies entspricht Emissionswinkeln im Bereich zwischen  $246 - 253^\circ$ . Wie in Abbildung 20 dargestellt können diese Reflexionen nicht auf den untersuchten Abschnitt (Orange markiert) treffen.

**Es treten keine Reflexionen auf die K 1378 aus Richtung Osten auf.**



Abbildung 20: Auswertung des Orange markierten Abschnittes und potenzielle Emissionswinkel in Rot

### 6.2.2 K 1378 Fahrtrichtung Westen

Alle Abschnitte der Kreisstraße wurden untersucht. Dargestellt sind hier die Auswertungen für zwei Abschnitte vor dem Ortsteil Rockenthin, für welche am ehesten relevante Reflexionen zu erwarten sind.

Der in Abbildung 21 Orange markierte Abschnitt verläuft in Westrichtung mit ca.  $256^\circ$ . Zur Bewertung des Straßenverkehrs werden nur Reflexionen im Bereich des Blickwinkels von  $\pm 30^\circ$  als relevant erachtet, ausgehend von der jeweiligen Fahrtrichtung. Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit maximalen Höhenwinkeln  $-0,5^\circ$  bis  $0,6^\circ$  in Richtung Osten mit Immissionswinkeln für den Verkehr zwischen  $290 - 296^\circ$  von Mai bis August auf. Wie in Abbildung 21 dargestellt sind diese Reflexionen außerhalb des relevanten Sichtfeldes.



Abbildung 21: Untersucher Abschnitt in Orange, relevanter Sichtfeld in Gelb und Immissionswinkel in Rot

Der in Abbildung 22 Orange markierte Abschnitt verläuft in Westrichtung mit ca.  $272^\circ$ . Gemäß des Reflexionsdiagramms treten an der Modulfläche horizontnahe Reflexionen mit maximalen Höhenwinkeln  $-2,0^\circ$  bis  $0,1^\circ$  in Richtung Osten mit Immissionswinkel zwischen  $290 - 297^\circ$  von Mai bis Juli auf. Wie in Abbildung 22 dargestellt sind diese Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten, wobei mindestens  $18^\circ$  in Fahrtrichtung frei von Reflexionen sind. Aus Sicht des Gutachters ist damit von keiner relevanten Beeinträchtigung der Sehaufgaben auszugehen. Weiter handelt es sich um einen gut einzusehenden Streckenverlauf, in welchem Gegenverkehr bereits weit im Voraus erkannt werden kann. Es ist durch die Reflexionen daher von keiner Gefährdung der Verkehrssicherheit auszugehen. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

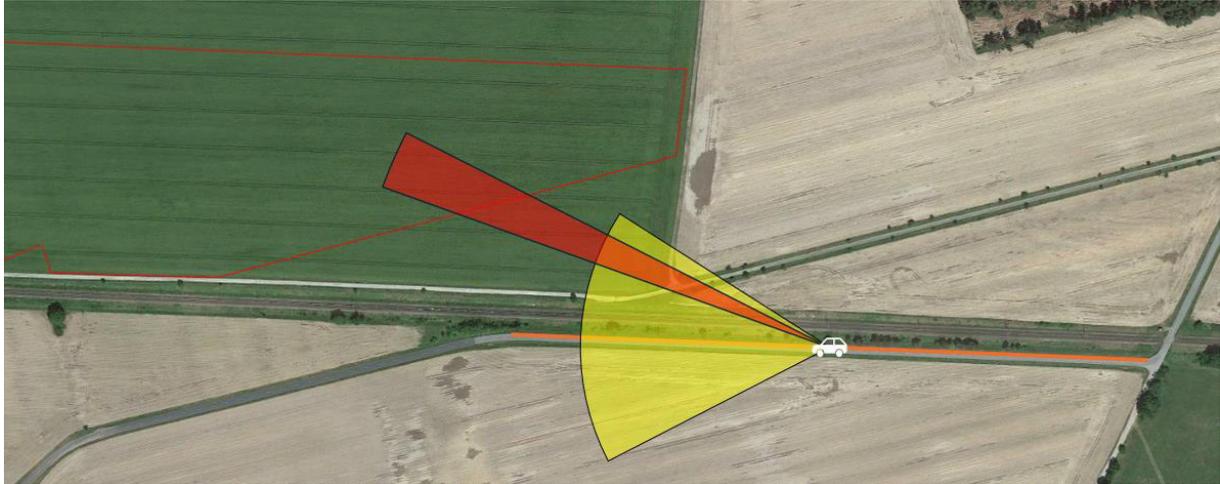


Abbildung 22: Untersucher Abschnitt in Orange, relevanter Sichtfeld in Gelb und Immissionswinkel in Rot

### 6.3 Wohngebäude

Laut den in Google Earth verfügbaren Satellitenbildern (Datum: Februar 2017) liegen die schutzwürdigen Räume (Gebäude, Gärten) vom Ortsteil Rockenthin mind. ca. 200 Meter von der PV-Fläche entfernt an. Potenzielle Reflexionen in Richtung Osten können nur auf ein Haus auftreten, wie in Abbildung 23 dargestellt. Potenzielle Reflexionen in Richtung Westen sind in Abbildung 24 dargestellt. In Richtung der potenziell auftretenden Reflexionen liegen die schutzwürdigen Räume sogar über 500 m vom Park entfernt, so dass beeinträchtigende Blenddauer für den Ortsteil Rockenthin ausgeschlossen werden können. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen notwendig.



Abbildung 23: Potenzielle Reflexionen in Richtung Osten auf den Ortsteil Rockenthin



Abbildung 24: Potenzielle Reflexionen in Richtung Westen auf den Ortsteil Rockenthin für zwei Punkte des Parks

## 7 Zusammenfassung

Es wurde die potenzielle Blendung durch Reflexion der Sonne an PV-Modulen des geplanten Solarparks Rockenthin für folgende Immissionsorte untersucht:

- die anliegende Bahnstrecke (die sog. Amerikalinie)
- die Kreisstraße 1378 (K 1378)
- und die schutzwürdigen Räume (Gebäude, Gärten) vom Ortsteil Rockenthin.

Die Wirtschaftswege wurden nicht untersucht.

**Das Gutachten kommt bzgl. der Bahnstrecke zu folgendem Schluss:** Die zwei auf den Satellitenbildern bzw. vor Ort erkannten Lichtsignale (s. Abbildung 3) bzw. die vorliegenden Streckenabschnitte sind nicht von Reflexionen betroffen. Gemäß dem Auftraggeber gibt es an dem Park entlang keine weiteren Lichtsignale. Auf dem Streckenabschnitt südlich der PV-Flächen kommt es in beiden Fahrtrichtungen zu Reflexionen ab mindestens 13° bzw. 14° zur Fahrtrichtung. Es kann daher bei Einsicht des vorliegenden Streckenabschnitts nur zu einer geringfügigen Blendwirkung kommen, der nachfolgende Streckenverlauf und der Bahnübergang bleiben dabei für den Zugführer einzusehen. Der Gutachter geht daher von keiner relevanten Beeinträchtigung der Sehaufgabe und damit auch von keiner Gefährdung der Bahnsicherheit aus. Es sind keine Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

**Das Gutachten kommt bzgl. der Kreisstraße 1378 zu folgendem Schluss:** Reflexionen im relevanten Sichtfeld der Verkehrsbeteiligten treten nur auf den in Abbildung 22 Orange markierten Abschnitt auf. Die Reflexionen treten erst ab mindestens 18° zur Fahrtrichtung auf und es ist entsprechend von keiner relevanten Blendwirkung auszugehen. Es werden keine Blendschutzmaßnahmen für nötig erachtet.

**Das Gutachten kommt bzgl. der schutzwürdigen Räume (Gebäude, Gärten) vom Ortsteil Rockenthin zu folgendem Schluss:** Mit der Entfernung und der Lage des Ortsteils (südlich vom Park) können beeinträchtigende Blendwirkungen für den Ortsteil Rockenthin ausgeschlossen werden. 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 Windenergieanlagen (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.
- [10] Federal Aviation Administration, *Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports*, Federal Register, 2013.
- [11] C. Schierz, „Über die Blendbewertung von reflektierenden Sonnenlicht bei Solaranlagen,“ TU Ilmenau, FG Lichttechnik, Ilmenau, 2012.
- [12] ForgeSolar, „ForgeSolar,“ 29 07 2022. [Online]. Available: <https://www.forgesolar.com/help/#ref-yel-2015>.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gelände der geplanten PVA (rote Linie) und Umgebung (Quellen: Auftraggeber und Google Earth) .....	3
Abbildung 2: Foto des Geländes (Blick nach Ost) (Quelle: Auftraggeber).....	4
Abbildung 3: Positionen der Lichtsignale (Quellen: Google Earth und Auftraggeber) .....	4
Abbildung 4: Aufnahme des in Abbildung 3 mit „2“ markierten Lichtsignals (Quelle: Auftraggeber) .....	5
Abbildung 5: Positionen der Überquerungen der Bahnstrecke (Quelle: Google Earth).....	5
Abbildung 6: Bahnübergang mit Schranke und Ampel (Quelle: Auftraggeber).....	6
Abbildung 7: Modulbelegungsplan des Parks (Quelle: Auftraggeber) .....	6
Abbildung 8: Zeichnung der Unterkonstruktion (Quelle: Auftraggeber) .....	7
Abbildung 9: Reflexion eines Lichtstrahls.....	8
Abbildung 10: (a) gerichtete Reflexion, (b) reale Reflexion, (c) ideale diffuse Reflexion [1] .....	8
Abbildung 11: Standardabweichung um Maximum einer Normalverteilung .....	9
Abbildung 12: 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] .....	9
Abbildung 13: links: Module mit satinierte Folie [3], rechts: nachträglich sandgestrahltes Modul [4].....	10
Abbildung 14 Reflexionsgrad über Einfallswinkel für verschiedene Modultypen [2] .....	10
Abbildung 15: Wahrnehmungsbereiche von Objekthelligkeiten in Abhängigkeit der Helligkeitsadaption des Auges [5] .....	11
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm der Modulfläche: 180° Süd-Ausrichtung, 17° Neigung, (UTC +1).....	13
Abbildung 17: Relevanter Sichtwinkel des Zugführers auf der Bahnstrecke in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth) .....	14
Abbildung 18: Relevanter Sichtwinkel der Verkehrsbeteiligten auf der Bahnstrecke in Gelb, Immissionswinkel möglicher Reflexionen von der Modulfläche in Rot (Quelle: Google Earth) .....	15
Abbildung 19: Potenziell auftretende Reflexionen (Emissionswinkel) in Richtung der Lichtsignale in Rot .....	15
Abbildung 20: Auswertung des Orange markierten Abschnittes und potenzielle Emissionswinkel in Rot .....	16
Abbildung 21: Untersucher Abschnitt in Orange, relevanter Sichtfeld in Gelb und Immissionswinkel in Rot .....	17
Abbildung 22: Untersucher Abschnitt in Orange, relevanter Sichtfeld in Gelb und Immissionswinkel in Rot .....	18
Abbildung 23: Potenzielle Reflexionen in Richtung Osten auf den Ortsteil Rockenthin .....	19

Abbildung 24: Potenzielle Reflexionen in Richtung Westen auf den Ortsteil Rockenthin für zwei  
Punkte des Parks ..... 19

## **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.