

# Prüfbericht

---

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Reinbek
Auftraggeber:	Treurat und Partner Unternehmensberatungsgesellschaft mbH
Zweck:	Erstellung eines Gutachtens über den Einfluss der Solaranlage auf die Umgebung durch Reflexionen im Rahmen des allgemeinen Genehmigungsprozesses und für die öffentliche Auslegung und Beteiligung der Träger öffentlicher Belange nach § 3 und §4 BauGB
Standort, Land:	<u>21465 Reinbek (53.528°N; 10.292°E), Deutschland</u>
Prüfberichtsnummer:	23K5307-PV-BG-Reinbek-R00-LBE_AST-2023
Prüfdatum:	08.01.2023
Verantwortlicher Prüfer:	Lennart Behn, B.Sc. 8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg Tel: +49 (0)40 / 18 12 604-25 E-Mail: lennart.behn@8p2.de

**Inhaltsverzeichnis**

Bildverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis.....	3
Abkürzungen und Begriffe.....	6
A.    Allgemeine Daten.....	7
A.1.  Auftrag .....	7
A.2.  Prüfungsumfang.....	8
A.3.  Prüfungsgrundlagen .....	8
A.4.  Identifikation der Anlage .....	8
B.    Prüfergebnis.....	9
C.    Grundlage .....	10
C.1.  Blend- und Störwirkung von reflektiertem Sonnenlicht.....	10
C.2.  Wirkung auf den Menschen .....	11
C.3.  Blickwinkel von Fahrzeugführern.....	12
C.4.  Reflexionen an Solarmodulen.....	12
D.    Analyse .....	14
D.1.  Grundlage und Vorgehensweise .....	14
D.2.  Geometrische Betrachtung.....	15
E.    Bewertung.....	26

**Bildverzeichnis**

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel .....	13
Abbildung 3: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche .....	14
Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul.....	16
Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	16
Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A2 .....	18
Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A3 .....	18
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A4 .....	19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A5 .....	19
Abbildung 10: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 auf der Bahntrasse .....	20
Abbildung 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 auf der Bahntrasse .....	21
Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 auf der Bahntrasse .....	21
Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 auf der Bahntrasse .....	22
Abbildung 14: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A2 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	23
Abbildung 15: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A3 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	23
Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	24
Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	24

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Revisionsübersicht.....	4
Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten .....	17

Tabelle 1: Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
23K5307-PV-BG-Reinbek-R00-LBE_AST-2023	Ursprungsversion 08.01.2024

### **I. Inhalt und Nutzung des Berichts**

8.2 Obst & Hamm GmbH (im Folgenden: 8.2 Obst & Hamm) wurde vom Auftraggeber beauftragt, diesen Bericht zu erstellen. Der Bericht fasst die Erkenntnisse aus Vor-Ort-Termin(en) und/oder der Prüfung projektspezifischer Unterlagen, welche durch den Auftraggeber bereitgestellt wurden, zusammen.

Der Bericht wurde zur Nutzung durch den Auftraggeber zum oben genannten Zweck erstellt. Solange der Bericht nicht zum Zweck eines öffentlichen Antrag- bzw. Bauverfahrens mit oder ohne öffentliche Auslegung bestimmt ist,

- darf dieser ausschließlich vom Auftraggeber und dessen Beratern, die zur Vertraulichkeit verpflichtet sind, für den vorgesehenen Zweck verwendet werden;
- dient der Bericht weder zur Information, noch zum Schutz anderer Personen als dem Auftraggeber und darf weder von anderen Personen noch zu anderen Zwecken genutzt werden;
- ist der Auftraggeber nicht berechtigt, die im Bericht enthaltenen vertraulichen Informationen offen zu legen, zu veröffentlichen, zu vervielfältigen oder anderweitig an Dritte weiter zu geben, ohne das vorherige schriftliche Einverständnis von 8.2 Obst & Hamm.

### **II. Ergänzende Informationen zu Haftungsausschlüssen**

Der vorliegende Bericht basiert ausschließlich auf eigenen Erkenntnissen aus Vor-Ort-Termin(en), sowie den gewonnenen Informationen aus Dokumenten, die bis zum Abgabedatum des Berichts vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Es wird ferner auf die folgenden Umstände hingewiesen:

1.) Die Genauigkeit der bereitgestellten Informationen kann die Genauigkeit des Berichts beeinflussen. 8.2 Obst & Hamm geht davon aus, dass die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen wahr, vollständig, akkurat, nicht irreführend und aktuell sind. In der Regel werden Informationen lediglich in Kopie zur Verfügung gestellt. 8.2 Obst & Hamm betrachtet diese bereitgestellten Kopien als wahre und vollständige Reproduktionen der jeweiligen Originale. Weder die Echtheit der enthaltenen Informationen noch die Befugnis der Unterzeichner wurde geprüft. 8.2 Obst & Hamm geht davon aus, dass der Informationsgehalt gültig und bindend für die beteiligten Parteien ist.

2.) Im Hinblick auf Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge aus Dokumenten, die 8.2 Obst & Hamm zur Verfügung gestellt wurden, ist 8.2 Obst & Hamm nicht in der Lage zu beurteilen, ob diese Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge vollständig fehlerfrei sind und alle Informationen enthalten, die für eine endgültige Einschätzung der Tatsachen, auf die sie sich beziehen, wichtig sind.

3.) Der Bericht basiert im Wesentlichen auf den Informationen und Dokumenten, die 8.2 Obst & Hamm vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass neben den zur Verfügung gestellten Informationen und Dokumenten weitere Informationen und/oder Dokumente für die Erstellung dieses Berichts wichtig gewesen wären, die nicht an 8.2 Obst & Hamm weitergegeben wurden.

4.) Der Bericht wurde als Zusammenfassung der wichtigsten Fragen und Bedenken, die sich aus den bereitgestellten Informationen ergeben, erstellt.

5.) Jegliche rechtliche, kommerzielle, finanzielle, versicherungstechnische, steuerliche oder buchhalterische Stellungnahmen werden in diesem Bericht explizit ausgeschlossen.

6.) Unter der Voraussetzung, dass der Bericht sich auf Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge vom Auftraggeber und/oder von Dritten (die im Bericht angegeben werden) bezieht oder darauf beruht, bleiben diese Personen alleinig für die Inhalte verantwortlich. 8.2 Obst & Hamm macht sich die vom Auftraggeber und von den vorgenannten Dritten getätigten Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge ausdrücklich nicht zu Eigen.

7.) Bestimmte Informationen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden, können vertraulich sein. 8.2 Obst & Hamm geht daher davon aus, dass alle Informationen vom Auftraggeber rechtmäßig zur Verfügung gestellt wurden, dass 8.2 Obst & Hamm zur Nutzung der Informationen für den Bericht berechtigt ist und dass 8.2 Obst & Hamm berechtigt ist, den Bericht und/oder dessen Inhalte anderen Projektteilnehmern in Übereinstimmung mit projektbezogenen Geheimhaltungsvereinbarungen weitergeben zu dürfen. Jegliche Haftung für nicht-projektbezogene Geheimhaltungsvereinbarungen wird ausgeschlossen.

8.) Soweit Informationen und Dokumente vom Auftraggeber in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch zur Verfügung gestellt wurden, beschränkte sich die Prüfung von 8.2 Obst & Hamm auf eine Plausibilitätskontrolle ohne Detailanalyse und Detailbewertung dieser Informationen und Dokumente.

**Abkürzungen und Begriffe**

Absolutblendung	Keine Anpassung des Auges möglich
Adaptionsblendung	Anpassung des Auges möglich.
Azimutwinkel	Winkel auf der horizontalen Ebene, der die Lage eines Objektes im Raum bezüglich einer Ausgangsrichtung, z.B. Nordrichtung, beschreibt.
Blendung	Im üblichen Sinne beschreibt dies, eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges
Differenzwinkel	Winkel zwischen der Sichtlinie vom Immissionsort zum Reflexionsort (Solarmodul) und der Sichtlinie vom Immissionsort zur Sonne
Direkte Blendung	Direkte Einwirkung einer Lichtquelle
Emissionspunkt	Punkt von dem aus Licht ausgestrahlt wird
Feldverteiler /Verteiler	Sammelt Modulstränge und leitet den Strom weiter zum Hauptverteiler (HV)
Höhenwinkel	Beschreibt die Höhe der Sonne über dem Horizont
Immissionspunkt	Punkt an dem Licht von einer externen Quelle auftrifft
Indirekte Blendung	Ausgelöst durch Reflexionen einer Lichtquelle
Physiologische Blendung	Beeinträchtigung der Sehleistung
Psychologische Blendung	Subjektiv empfundene Blendung ohne messbare Beeinträchtigung der Sehleistung
PV-Modul / Modul	Einzelnes Solarmodul, kleinste elektrische Leistungseinheit innerhalb der Solaranlage
Solargenerator	Gesamtes Modulfeld
Sonnenbahn	Der Verlauf der Sonne im Jahresverlauf definiert durch Azimut und Höhenwinkel
Strang / Modulstrang	Besteht aus einer bestimmten Anzahl in Reihe geschalteter PV-Module.
Vektor OM	Vektor von Betrachtungspunkt (Ortspunkt) O zum Modul in der Photovoltaikfläche
Vektor OS	Vektor von Ortspunkt O zur Sonne

## A. Allgemeine Daten

### A.1. Auftrag

Aufgabenstellung:	Untersuchung über den Einfluss der Modulreflexionen auf die Umgebung der Solaranlage. Es wird untersucht, wann Reflexionen an verschiedenen Punkten der Bahnlinie, die südlich entlang der PVA verläuft, und der nördlich vorbeiführenden Sachsenwaldstraße zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	Treurat und Partner Unternehmensberatungsgesellschaft mbH Niemannsweg 109 24105 Kiel
Auftragsdatum:	10.11.2023
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwierte 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Lennart Behn, B.Sc. Ariane Stabel, B.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	23K5307-PV-BG-Reinbek-R00-LBE_AST-2023

## A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die südlich der Anlage vorbeiführende Bahnstrecke Hamburg-Berlin bzw. der Linie S2 der S-Bahn Hamburg und die nördlich verlaufende Sachsenwaldstraße. Weiterhin erfolgt eine Bewertung der Auswirkungen der Modulreflexionen unter Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten, die einen Einfluss auf die Strahlungsleistung der Emissionen nehmen.

## A.3. Prüfungsgrundlagen

- Zur Verfügung gestellte Unterlagen
  - o Modulbelegungsplan
  - o Schriftliche Angaben zur Modulausrichtung und dem Tischaufbau
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)
- Reflexionsverhalten von Modulen (soweit bekannt)
- Daten aus Google Earth<sup>1</sup>
- Daten der Online-Plattform des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein „OpenGBD“<sup>2</sup>

Hinweise:

- Alle Winkelangaben mit Bezugspunkt  $N=0^\circ$  beziehen sich auf die Anordnung im Uhrzeigersinn
- Zeitangaben erfolgen mit mitteleuropäischer Zeit (UTC+1)

## A.4. Identifikation der Anlage

Hamburg, 8. Januar 2024

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von  $156.55^\circ$  bzw.  $185^\circ$  ( $N=0^\circ$ ) und einem Neigungswinkel von  $15^\circ$  ausgerichtet. Der südliche Teil der Anlage wird mit  $156.55^\circ$  (parallel zur Bahntrasse) ausgerichtet, während der nördliche Teil nach Süden, mit  $185^\circ$  ausgerichtet wird, vergleiche Abbildung 3. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden beträgt 0,8 m. Es sollen vier kristalline Module übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,31 m.

---

<sup>1</sup> ©2019 Google LLC.

<sup>2</sup> Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein. Mercatorstraße 1, 24106 Kiel  
<https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LVERMGEOGH/Themen/themaOpenGbd.html>

## B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Reinbek wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bahntrasse Hamburg – Berlin und der nördlich vorbeiführenden Sachsenwaldstraße durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass auf der Bahntrasse Lichtimmissionen von Ende März bis Mitte September in den Nachmittag- und Abendstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer beträgt rund 8 Minuten. Die reflektierenden Module liegen innerhalb des Sichtfeldes der Zugführer. Eine Störung des Bahnverkehrs, ist nur dann auszuschließen, wenn ein Sichtschutz mit einer Höhe von min. 3 m entlang der südlichen und der östlichen Planflächengrenze errichtet wird.

Die Untersuchung der Sachsenwaldstraße zeigt, dass keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Eine Störung des Straßenverkehrs ist nicht erkennbar.

Hamburg, 11. April 2022



Lennart Behn, B.Sc.



Ariane Stabel, B.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 26 Seiten und ist bis Ende 2034 in der 8.2 Obst & Hamm GmbH hinterlegt (Dokumentationsfrist).

## C. Grundlage

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sind die Lichtemissionen in Form von Reflexionen an den Modulen zu untersuchen und deren Auswirkungen auf die Bahntrasse und die Sachsenwaldstraße zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter, bei Fahrzeugführern unter Beachtung derer Blickwinkel.

### C.1. Blend- und Störwirkung von reflektiertem Sonnenlicht

Blendung beschreibt im üblichen Sinne eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges durch ein Überangebot von Licht. Es wird unterschieden zwischen der **physiologischen Blendung** – einer messbaren Beeinträchtigung der Sehleistung, und der **psychologischen Blendung** – einer subjektiv empfunden und ablenkenden Wirkung, ohne dass eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vorliegt. Ist die eintreffende Lichtmenge so groß, dass das Auge sich an diese nicht mehr adaptieren kann, spricht man von **Absolutblendung**, sonst von **Adaptionsblendung**. Außerdem wird zwischen **direkter Blendung** – direkte Wirkung einer Lichtquelle, und **indirekter Blendung** – durch reflektiertes Licht einer Lichtquelle unterschieden.

Bei Tageslicht geht die häufigste Blendung direkt von der Sonne aus. Befindet sie sich im Sichtfeld, tritt Absolutblendung auf. In dieser Situation werden keine oder kaum noch Kontraste wahrgenommen und der einzige Schutz ist die Verschattung der Sonne im Sichtfeld (Vorhalten der Hand, Wegdrehen des Kopfes, o.ä.). Des Weiteren droht bei Absolutblendung durch die Sonne eine dauerhafte Schädigung des Auges.

Häufig wird das Sonnenlicht auch von glänzenden Oberflächen zum Betrachter reflektiert. Natürliche reflektierende Objekte können z. B. Gewässer sein. Künstliche Objekte sind Fensterfronten von Gebäuden, Gewächshäuser, Lärmschutzwände aus Glas, Scheiben und Lackoberflächen von Fahrzeugen und auch Solarmodule. Die Intensität der reflektierten Sonnenstrahlung ist in der Regel deutlich geringer als die direkte Sonnenstrahlung: Normale Glasflächen reflektieren ca. 5% des Sonnenlichts, Solarglasflächen ca. 2%. Bei sehr flach eintreffender Sonnenstrahlung wird der Reflexionsgrad deutlich höher – zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Sonne allerdings bereits in Blickrichtung des Betrachters.

Neben anhaltender Blendung sind **Flimmereffekte** von besonderer Bedeutung. Sie treten insbesondere dann auf, wenn sich der Beobachter selbst schnell bewegt. Periodisch oder unregelmäßig schwankende Lichtintensitäten werden als besonders störend empfunden. Solche Effekte treten typischerweise beim Autofahren in beleuchteten Tunneln oder beim Durchfahren von Baumalleen bei Sonnenschein auf.

Medizinisch gesehen vollzieht sich die störende Wirkung einer Blendung in drei zu unterscheidenden Schritten. Das eigentliche Sehen besteht in der physikalisch-physiologischen Anregung des Auges durch die Lichteinwirkung auf der Netzhaut. Die Wahrnehmung erfolgt durch die Weiterleitung eines Nervensignals an das Gehirn, wodurch ein bewusstes Erlebnis hervorgerufen wird. Im Fall der Blendung ist dies ein deutlicher Leuchtdichteunterschied eines Sichtfeldausschnittes zur Umgebung. Der dritte Schritt ist das Erkennen. Das wahrgenommene Objekt wird vom Gehirn durch Vergleich mit vorher abgespeicherten Vorlagen (Erfahrungen) bewertet und mit einer Bedeutung belegt.

Liegt das Objekt, von dem die Blendwirkung ausgeht, nicht im direkten Fokus des Gesichtsfeldes, so steigt die Attraktivität und die Tendenz den Blick dorthin zu wenden mit der:

- Größe des Objektes
- Helligkeitskontrast zur Umgebung
- Farbkontrast zur Umgebung
- Bewegung des Objektes (Fahrzeuge usw.)
- Grad der Änderung des Objektes
- Qualitative Andersartigkeit gegenüber der Umgebung
- Neuigkeitswert

Ab einem gewissen Maß an Attraktivität kommt es – durchaus auch unbewusst – zu einer Blickzuwendung auf das Objekt. Dies wird gemeinhin als Ablenkung bezeichnet.

## **C.2. Wirkung auf den Menschen**

Die oben beschriebenen Attraktivitätsmerkmale wirken abhängig vom persönlichen Charakter und der Erfahrung eines Menschen immer unterschiedlich. Sie sind nur von jedem Einzelnen subjektiv zu bewerten. Es ist daher nicht möglich, allgemein gültige Kriterien zu benennen, die den Zustand der „Störung“ charakterisieren.

Im vorliegenden Fall soll die Solaranlage auf einer Freifläche errichtet werden, die sich entlang einer Bahntrasse erstreckt. Es ist davon auszugehen, dass bei der Ausdehnung des Solarfeldes in der entsprechenden Blickrichtung eines Betrachters auch andere – im Sinne der obigen Auflistung – „attraktive“ Objekte im Blickfeld auftauchen können.

Da das Solarfeld unbeweglich ist, wird die ablenkende Attraktivität dieses Objektes erfahrungsgemäß sehr schnell nachlassen. Lediglich bei dem Charakteristikum Helligkeitskontrast könnte die reflektierte Sonnenstrahlung Ablenkung oder subjektive Störung verursachen.

Da sich die reflektierte Sonnenstrahlung in gleicher Winkelgeschwindigkeit wie die Sonne selbst bewegt – also sehr langsam – kann hinter Fenstern in Gebäuden eine plötzliche auftretende Störwirkung ausgeschlossen werden. Wie oben angeführt ruft das Gehirn bei jedem neuen optischen Sinneseindruck vorhandene Erfahrungsvorlagen zur Bewertung des neuen Eindrucks auf. Da jeder Mensch in unserem Kulturraum schon Erfahrung mit reflektiertem Sonnenlicht z. B. an Glasfassaden gemacht hat, wird dieser Störcharakter in der Hinsicht „Neuigkeitswert“ kaum eintreten.

Solarmodule reflektieren mit ca. 2 % äußerst wenig von dem eingestrahlteten Sonnenlicht. Des Weiteren handelt es sich bei dem reflektierten Licht immer um Sonnenlicht – also um ein dem Organismus angenehmes und gewohntes Spektrum, mit lediglich natürlicher Intensitätsschwankung – z. B. bei Wolkendurchzug.

### C.3. Blickwinkel von Fahrzeugführern

Neben der Intensität der Lichtquelle ist für eine Blendung maßgeblich, dass die Lichtquelle innerhalb des Sichtfelds des Betrachters liegt. Das Sichtfeld wird maßgeblich bestimmt durch den Blickwinkel. Ausführungen hierzu finden sich im Buch „HAV Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen“<sup>3</sup>. Aus Bild 2-6 der Ausführungen leiten sich die Öffnungswinkel des Sehfeldes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ab, siehe nachfolgende Grafik in Abbildung 1.

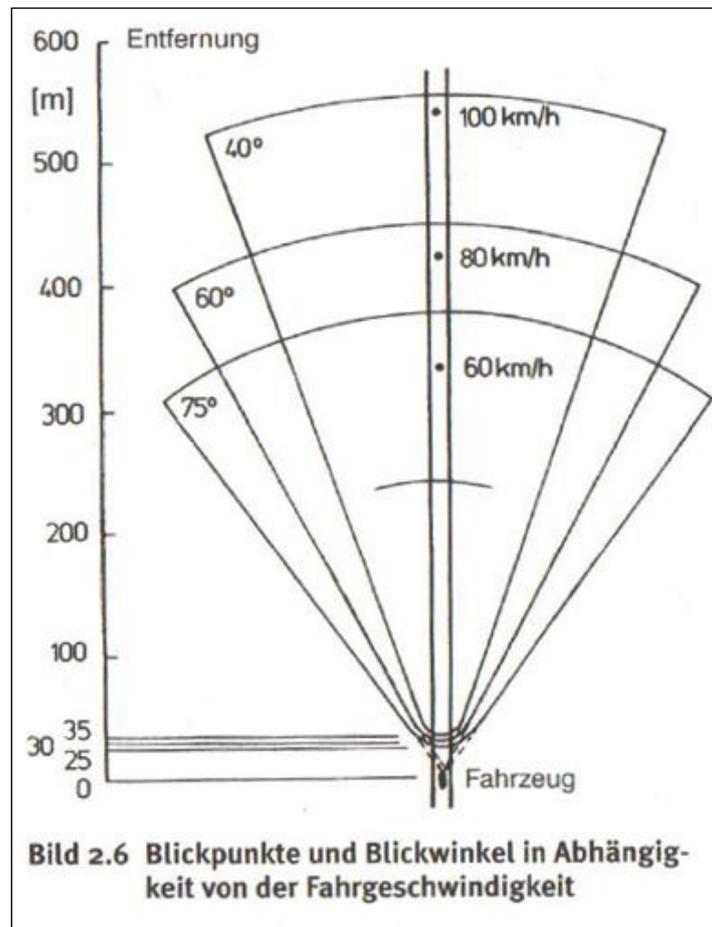


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit<sup>3</sup>

### C.4. Reflexionen an Solarmodulen

Kristalline Solarmodule bestehen im Regelfall aus einer Rückseitenfolie mit darauf liegenden Solarzellen, die in einer EVA-Folie eingebettet und mit Solarglas geschützt werden. Viele der heutigen Module verfügen über eine Antireflexschicht zur Steigerung des Wirkungsgrades und weisen damit eine hohe Absorption auf.

<sup>3</sup> „HAV-Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen“, 01. September 2013, Prof. Dr.-Ing. S. Giesa, Prof. Dr.-Ing J. Bald, Dipl.-Ing K. Stumpf

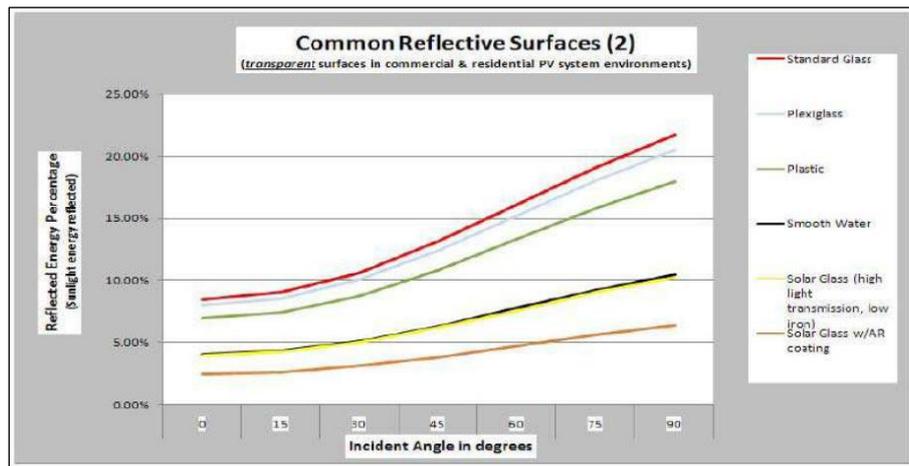


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel<sup>4</sup>

Generell gilt, dass die an den Modulen auftretenden Reflexionen stark vom Einfallswinkel abhängen. Die Darstellung in Abbildung 2 zeigt das Reflexionsverhalten unterschiedlicher Oberflächen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Bei zur Moduloberfläche nahezu parallelem Lichteinfall werden je nach Modultyp zwischen 7 % und 11 % der Solarstrahlung reflektiert. Das heißt in den Morgen- und Abendstunden kann mit einer maximalen Reflektionsrate von ca. 10 % gerechnet werden. Zu diesen Zeiten beträgt die Leuchtdichte der Sonne<sup>5</sup> rund  $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ . Die Leuchtdichte der Reflexion der Sonne am Modul beträgt damit um  $0,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ .

<sup>4</sup> Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication – Luftfahrthandbuch AIP VFR.

<sup>5</sup> - Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)

## D. Analyse

### D.1. Grundlage und Vorgehensweise

#### D.1.1. Beschreibung Örtlichkeiten und PV-Feld

Die folgenden Angaben zur Anlage beruhen auf den vom Auftraggeber bereitgestellten Informationen. Hinzu kommen Informationen und Ansichten aus Google Earth<sup>6</sup> sowie der Online-Plattform des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein „OpenGBD“<sup>7</sup>.

Die Planfläche selbst liegt nördlich der Bahnstrecke Hamburg-Berlin bzw. der Linie S2 der S-Bahn Hamburg, nordöstlich der Gemeinde Wohltorf. Das Höhenniveau der Bahntrasse über Normalhöhennull (NHN) beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 16 m und 21 m. Das Höhenniveau der Sachsenwaldstraße über NHN beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 22 m und 38 m. Auf der Planfläche variiert die Höhe zwischen 38 m und 40 m, siehe Abbildung 3. Die Planfläche fällt von der Mitte her nach Südwest etwas ab und steigt nach Nordost an.

Der weiß umrandete nördliche Teil der Planfläche unterscheidet sich durch die Ausrichtung der Module (dem Azimut) von dem südlichen Teil.



Abbildung 3: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche

Zwischen Bahntrasse und Planfläche ist dichter Bewuchs vorzufinden.

<sup>6</sup> ©2020 Google, ©2020 GeoBasis-DE/BKG

<sup>7</sup> Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein, Mercatorstraße 1, 24106 Kiel  
<https://www.schleswig-holstein.de/DE/landesregierung/ministerien-behoerden/LVERMGEOGH/Themen/themaOpenGbd.html>

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von  $156.55^\circ$  bzw.  $185^\circ$  ( $N=0^\circ$ ) und einem Neigungswinkel von  $15^\circ$  ausgerichtet, wobei der südliche Teil parallel zur Bahntrasse mit  $156.55^\circ$  ausgerichtet wird und der nördliche Teil mit  $185^\circ$  ( $N=0^\circ$ ). Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden beträgt 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert. Die maximale Höhe der Gestelle beträgt laut Planung rund 2,31 m.

## D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bahntrasse bzw. der Sachsenwaldstraße repräsentative Punkte festgelegt. Über die Planfläche wird ein Netz mit einer Gitterweite von 10 m auf der Südfläche, bzw. 6 m auf der Nordfläche gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bahntrasse werden die Punkte A1 bis A5 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 3.

Auf der Sachsenwaldstraße werden die Punkte B1 bis B5 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken.

Nach Abschluss der Bestimmung möglicher sichtbarer Reflexionen erfolgt eine Bewertung, inwieweit die Reflexionen von Fahrzeugführern wahrgenommen werden können.

## D.2. Geometrische Betrachtung

### D.2.1. Grundlage

Die geometrische Betrachtung wird für die Unterkante der Module mit 0,8 m durchgeführt. Erfahrungsgemäß stellt dies den ungünstigsten Fall dar.

Die Augenposition der Zugführer wird mit 3,0 m über Trasse angesetzt.

Die Augenposition der LKW und PKW wird mit 2,5 m bzw. 1,2 m über der Straße angesetzt.

Die Bewertung der Lichtemissionen des Solarparks erfolgt in zwei Schritten. In Schritt 1 wird für die Punkte auf der Bahntrasse bzw. der Sachsenwaldstraße zu den Punkten auf der Photovoltaikfläche der Ort einer Lichtquelle (Emissionsort) ermittelt, der zu Lichtimmissionen führt. Der Emissionsort wird definiert durch Azimut  $\alpha$  und Höhenwinkel  $h^\circ$ . Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der berechneten Emissionsorte mit dem Sonnenstand im Jahresverlauf verglichen.

# 8.2

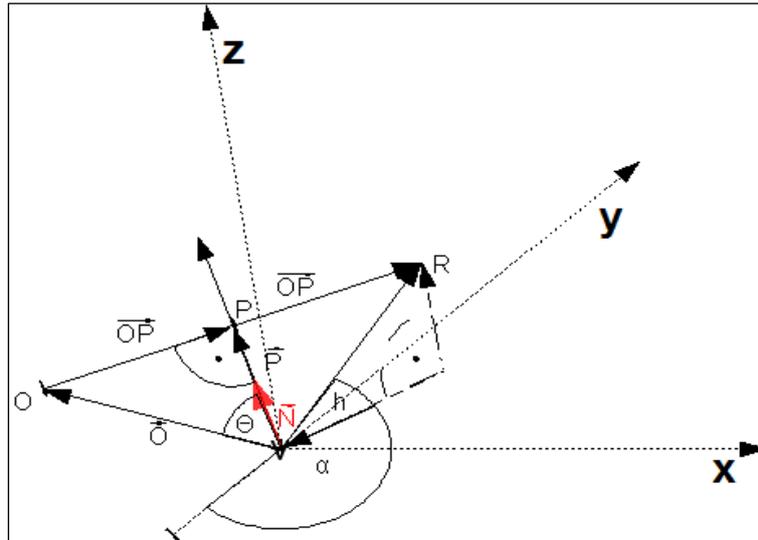


Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 4. Der Nullpunkt des Koordinatensystems befindet sich in der Modulebene. Punkt O steht für den Ort außerhalb der Photovoltaikanlage, der auf Lichtemissionen untersucht wird. Punkt R bezeichnet den Ort der zugehörigen Lichtemission. Punkt P ist der Schnittpunkt des Verbindungsvektors zwischen O und R mit dem Lot auf die Modulfläche („Flächennormale“). Für die unterschiedlichen Ortsbeziehungen („Ort außerhalb der Photovoltaikfläche“ zu „Ort in der Fläche“) ergeben sich unterschiedliche Emissionsorte, die in der Sonnenbahn, siehe Abbildung 5, oder außerhalb dieser liegen können. Außerhalb der im Diagramm dargestellten blauen Linien befindet sich die Sonne „hinter“ den Modulen, so dass keine Reflexion erfolgen kann. Der relevante Sonnenverlauf reicht somit im Azimut von  $-110^\circ$  bis  $+110^\circ$  und für den Höhenwinkel  $h$  von  $0^\circ$  bis  $63^\circ$ .

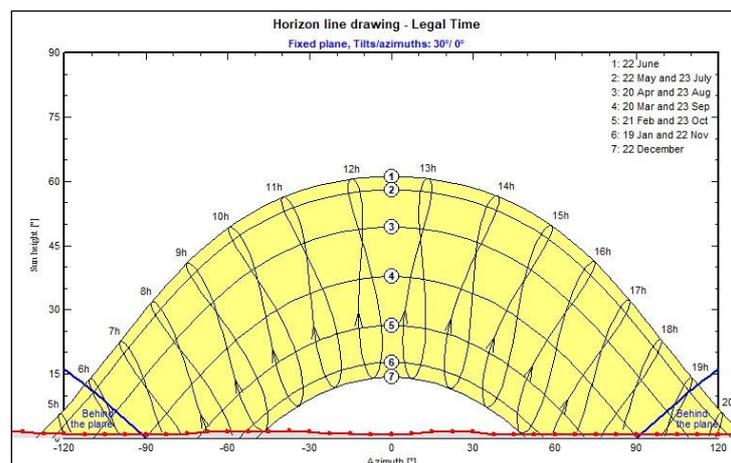


Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

### D.2.2. Ergebnisse der geometrischen Betrachtung

Die nachfolgenden Ergebnisse der geometrischen Betrachtung für die Planfläche gehen von freien Blickbeziehungen aus („worst case“). Abschattungen durch Bäume, Böschungen etc. sind nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten

	Datumsbereich	Zeitbereich	Max Minuten pro Tag [min]	Max Stunden pro Jahr [h]
<b>Neigungswinkel 15° Azimut 156.55° (N=0°)</b>				
<b>Bahntrasse</b>				
A1	Keine Reflexionen			
A2	von 30. Apr bis 12. Aug	17:44 - 18:07	3	0.8
A3	von 24. Mrz bis 18. Sep	17:20 - 18:17	6	10.9
A4	von 28. Mrz bis 14. Sep	17:27 - 18:20	5	11.2
A5	von 29. Mrz bis 13. Sep	17:30 - 18:25	8	14.1
<b>Neigungswinkel 15° Azimut 185° (N=0°)</b>				
<b>Sachsenwaldstraße</b>				
B1	Keine Reflexionen			
B2	Keine Reflexionen			
B3	Keine Reflexionen			
B4	Keine Reflexionen			
B5	Keine Reflexionen			

#### Bahntrasse

Die Analyse zeigt für den Punkt A1, dass auf der Bahntrasse keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Hingegen sind Lichtimmissionen in den Punkten A2 bis A5 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen nachmittags und abends von Ende März bis Mitte September im Zeitraum zwischen 17:20 Uhr bis 18:25 Uhr. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum 8 Minuten am Tag und 14,1 Stunden im Jahr.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 6 bis Abbildung 9 dargestellt. Laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) kommt es erst ab einem Differenzwinkel (Winkel zwischen Sichtlinie zur Sonne und der Sichtlinie zum Modul) größer 10° zu einer zusätzlichen Blendung durch die Photovoltaikanlage<sup>8</sup>. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

In den Diagrammen Abbildung 6 bis Abbildung 9 stellen die Werte der linken Ordinate die

<sup>8</sup> Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012

Uhrzeiten dar, in denen die Blendung am Immissionsort auftritt. Die Werte der rechten Ordinate stellen die Anzahl der Minuten pro Tag dar, in denen eine Blendung am Immissionsort auftritt.

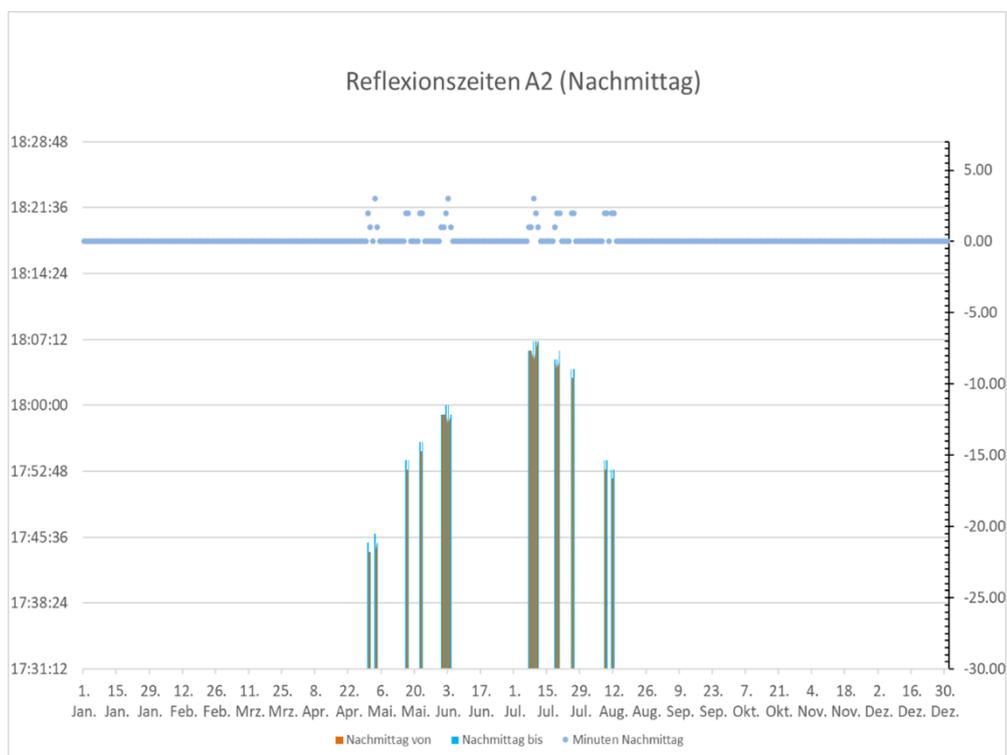


Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A2

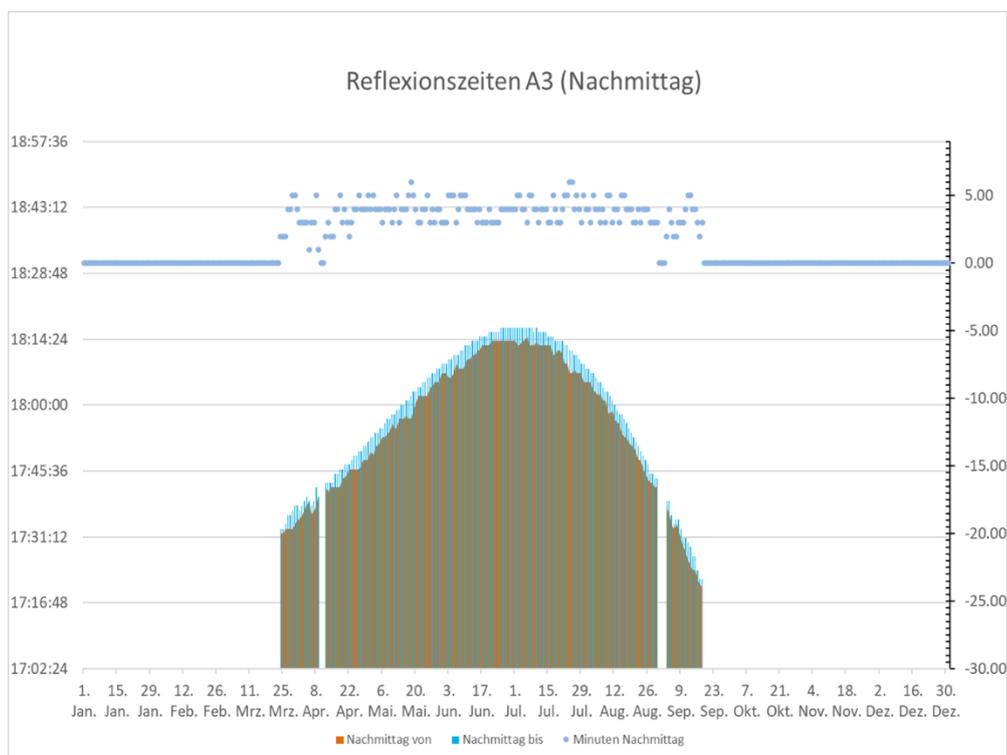


Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A3

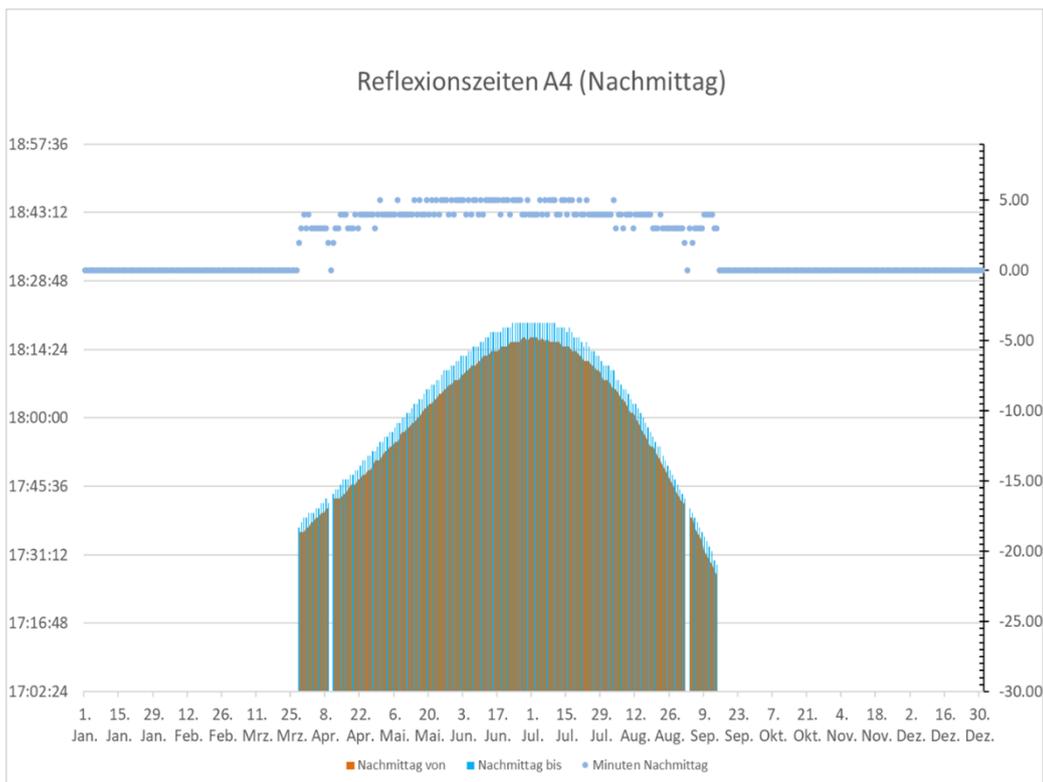


Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A4

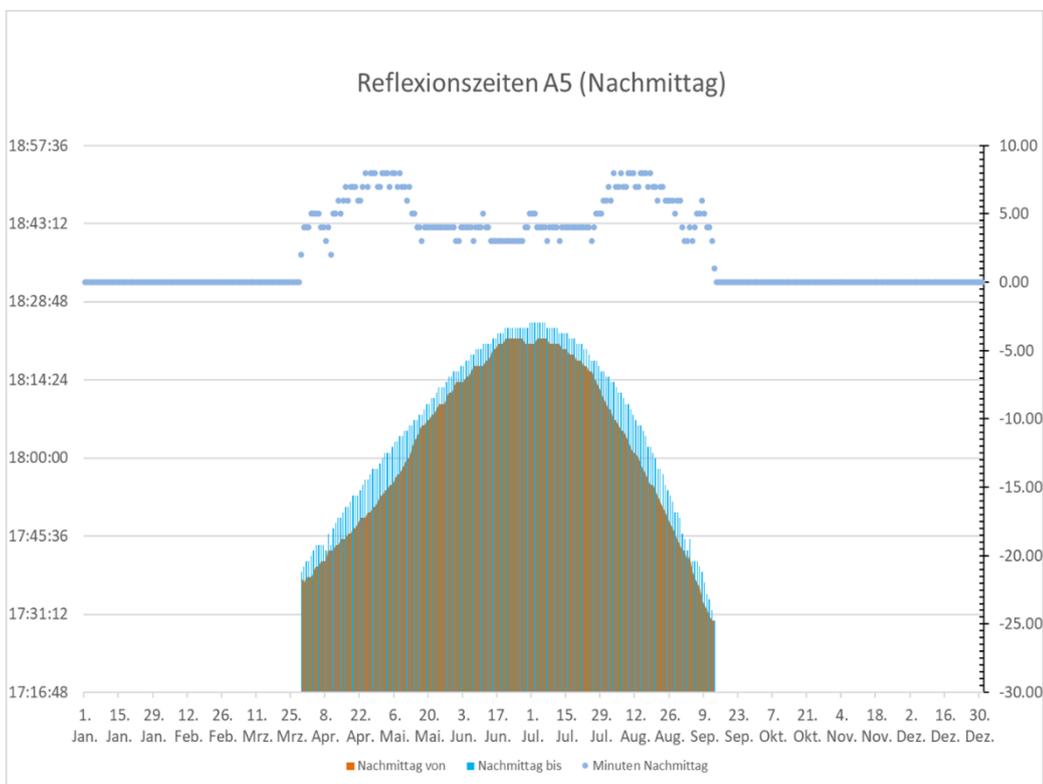


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt A5

## 8.2

Die folgenden Grafiken Abbildung 10 bis Abbildung 13 zeigen die spezifischen Bereiche der Photovoltaikanlage, von denen Lichtemissionen für die Punkte A2 bis A5 ausgehen. Die blaue Fläche stellt die Planfläche entsprechend Abbildung 3 dar. Die weißen Ringe stellen den Reflexionsbereich der Module auf der Planfläche dar, der für den entsprechenden Betrachtungspunkt unter den gesetzten Annahmen gilt.



Abbildung 10: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 auf der Bahntrasse



Abbildung 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 auf der Bahntrasse

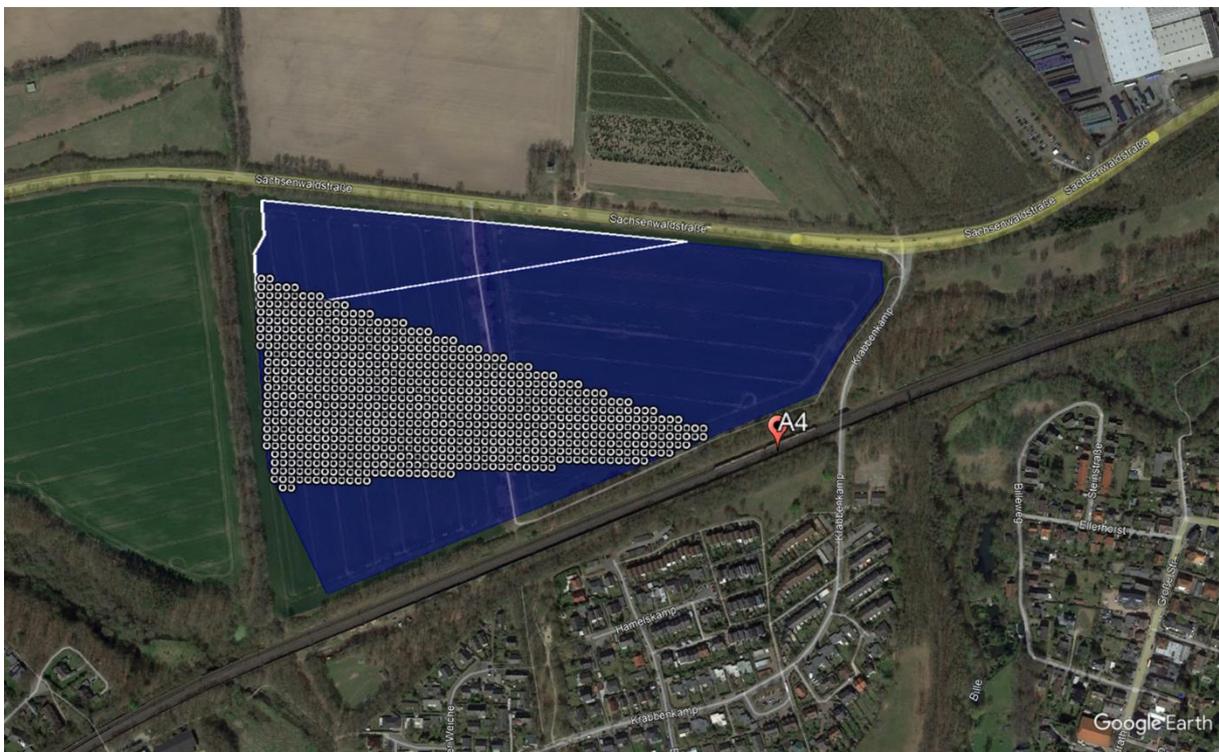


Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 auf der Bahntrasse



Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 auf der Bahntrasse

### Sachsenwaldstraße

Die Untersuchung der Sachsenwaldstraße in den definierten Punkten ergab, dass nicht mit Reflexionen zu rechnen ist.

### D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

#### Bahntrasse

Wie in Kapitel C.3 ausgeführt, ist das Sichtfeld von Zugführern je nach Geschwindigkeit eingeschränkt. Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, die als zu erwartende Mindestgeschwindigkeit an dieser Stelle zugrunde gelegt wird, beträgt der Öffnungswinkel des Sichtfeldes  $75^\circ$ .

Das Sichtfeld der Zugführer ist in Abbildung 14 bis Abbildung 17 für die Punkte A2 bis A5 dargestellt. Das Sichtfeld der Zugführer ist in Blau dargestellt. Der rechte Kegel gibt das Sichtfeld für Züge wieder, die Richtung Nordosten unterwegs sind, und der linke Kegel das Sichtfeld der Zugführer mit Fahrtrichtung Südwesten. Die roten Pfeile geben die Grenzvektoren wieder, die das Vektorfeld der Sichtbeziehung von den einzelnen Punkten in Richtung der Module aufspannen, die zu Reflexionen in dem zugehörigen Punkt führen, siehe Tabelle 2 in Kapitel D.2.2.

Es zeigt sich für die vier Punkte und Fahrtrichtung Südwesten, dass die Module mit Lichtemissionen innerhalb der Sichtbereiche der Zugführer liegen.





Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module

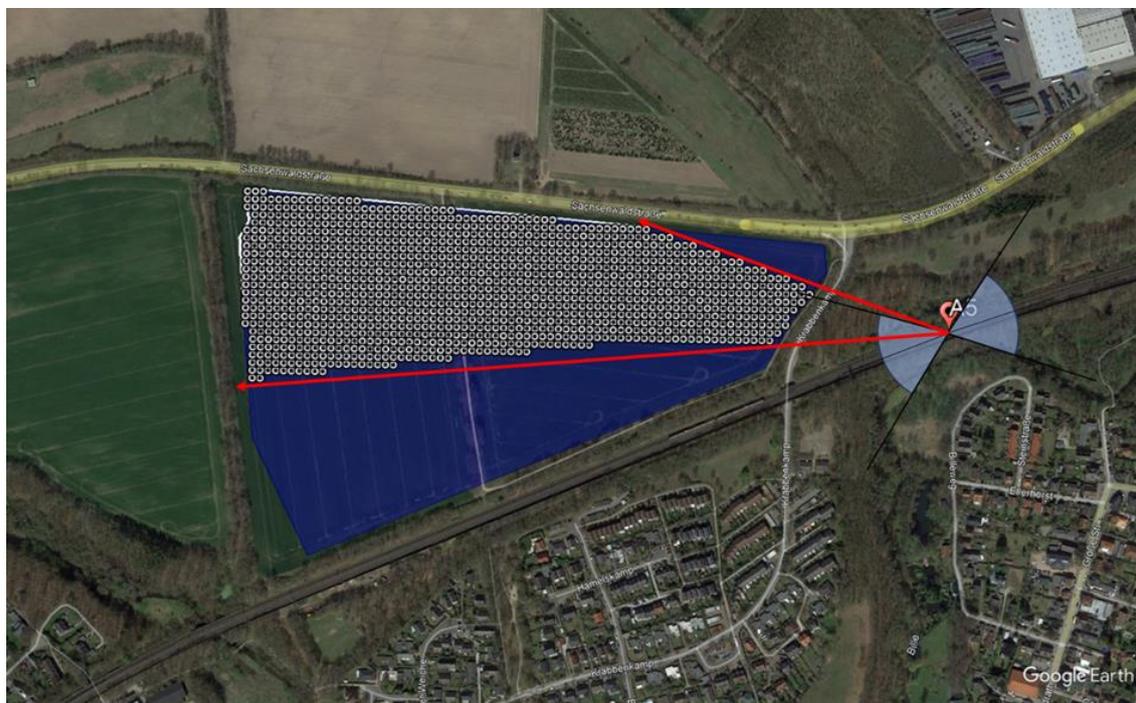


Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module

## **Sachsenwaldstraße**

In der Sachsenwaldstraße ist nicht mit Lichtimmissionen aufgrund von Reflexionen an den Modulen der PVA zu rechnen.

## E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bahntrasse Hamburg-Berlin, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Reinbek, Lichtimmissionen von März bis September in den Nachmittag- und Abendstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten etwa zwischen 17:20 Uhr bis 18:25 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 8 Minuten. Bei dieser Betrachtung wurden Ereignisse, bei denen der Differenzwinkel zwischen Reflexionsort und Sonne kleiner  $10^\circ$  beträgt, entsprechend der Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)<sup>9</sup> nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse in Kapitel D.2.3 zeigen, dass die Reflexionen in einem Winkel auf die Bahntrasse treffen, der erkennen lässt, dass reflektierende Module sich innerhalb des normalen Blickfeldes der Zugführer befinden. Eine Störung durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Reinbek entstehen, ist nur dann auszuschließen, wenn ein Sichtschutz mit einer Höhe von min. 3 m entlang der südlichen und der östlichen Planflächengrenze errichtet wird.

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Sachsenwaldstraße, nicht mit Lichtimmissionen durch Reflexionen an den Modulen der PVA zu rechnen ist, sofern der nördliche Teil der Anlage mit einem Azimut von  $185^\circ$  (N=0) ausgerichtet wird.

Aus diesem Grund ist eine Störung des Straßenverkehrs nicht zu erkennen.

---

<sup>9</sup> Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012