

## Prüfbericht

---

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Wasbek
Auftraggeber:	Plan 8 GmbH
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:	24647 Wasbek (54.074 N; 9.885 E), Germany
Betreiber:	Plan 8 GmbH
Prüfberichtsnummer:	20J2110-PV-BG-Wasbek-R00-JBS_FBU-2020
Prüfdatum:	10.07.2020
	8.2 Obst & Ziehmann GmbH Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Brandstwiete 4 20457 Hamburg Tel: +49 (0)40 / 18 12 604-22 E-Mail: joerg.behrschmidt@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 .....	16
E. Bewertung.....	19

**Bildverzeichnis**

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.....	13
Abbildung 3: Google Earth ©2018 Lageplan der Planfläche .....	14
Abbildung 4: Sicht über die Planfläche von Süd nach Nord auf die Bahntrasse .....	15
Abbildung 5: Panoramaaufnahme der Pflanzfläche mit der Westgrenze am linken Bildrand	15
Abbildung 6: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul.....	16
Abbildung 7: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	17
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer zu Punkt 3 für Emissionen der westlichen Planfläche.....	18
Abbildung 9: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt 3 auf der Bahntrasse.....	18

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1	Revisionsübersicht.....	4
-----------	-------------------------	---

Tabelle 1 Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
20J2110-PV-BG-Wasbek-R00-JBS_FBU-2020	Ursprungsversion 13.07.2020

## I. Inhalt und Nutzung des Berichts

8.2 Obst & Ziehmann GmbH (im Folgenden: 8.2 Obst & Ziehmann) 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 ausschließlich zur Nutzung durch den Auftraggeber erstellt und dessen Inhalt ist vertraulich und urheberrechtlich geschützt. Der Bericht darf ausschließlich vom Auftraggeber und dessen Beratern, die zur Vertraulichkeit verpflichtet sind, für den vorgesehenen Zweck verwendet werden. Der Bericht dient weder zur Information, noch zum Schutz anderer Personen als dem Auftraggeber und darf weder von anderen Personen noch zu anderen Zwecken genutzt werden. Der Auftraggeber ist 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 & Ziehmann.

## 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 & Ziehmann 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 & Ziehmann 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 & Ziehmann 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 & Ziehmann zur Verfügung gestellt wurden, ist 8.2 Obst & Ziehmann 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 ausschließlich auf den Informationen und Dokumenten, die 8.2 Obst & Ziehmann 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 & Ziehmann weitergegeben wurden.
- 4.) Der Bericht sollte nicht als Äquivalent zu einem voll umfassenden formellen spezialisierten Sachverständigen-gutachten betrachtet werden. Der Bericht wurde als Zusammenfassung der wichtigsten Fragen und Bedenken, die sich aus den bereitgestellten Informationen ergeben, erstellt. Grundsätzlich sollte der Bericht nicht als Ersatz für eine spezifische Beratung zu spezifischen Sachlagen in Bezug auf das Projekt behandelt werden. In solchen Fällen kann eine zusätzliche eingehende Beratung notwendig werden.
- 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 & Ziehmann 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 & Ziehmann geht daher davon aus, dass alle Informationen vom Auftraggeber rechtmäßig zur Verfügung gestellt wurden, dass 8.2 Obst & Ziehmann zur Nutzung der Informationen für den Bericht berechtigt ist und dass 8.2 Obst & Ziehmann 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 & Ziehmann 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 Neumünster-Heide-Büsum zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	Plan 8 GmbH Gerichtstr. 3 24332 Eckernförde
Auftragsdatum:	09.06.2020
Auftragnehmer:	8.2 Ingenieurbüro Jörn-Jakob Bauditz Berlin Pappelallee 59 10437 Berlin
Unterauftragnehmer:	8.2 Obst & Ziehmann GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Fabian Bussenius, M.Eng.
Nummer des Prüfberichts:	20J2110-PV-BG-Wasbek-R00-JBS_FBU-2020

## A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die Bahnlinie Neumünster-Heide-Büsum. 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 Lageplan des Solarparks
  - o Modulbelegungsplan
  - o Schriftliche Angaben zur Modulausrichtung und dem Tischaufbau
  - o Fotos zur Fläche und den umliegenden Baum- und Strauchbewuchs
- 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>

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

Die geplante Photovoltaikanlage Wasbek soll westlich der Gemeinde Wasbek südlich der Bahnlinie Neumünster-Heide-Büsum errichtet werden.

Die Module werden nach Südost mit einem Azimut von  $168^\circ$  ( $N=0^\circ$ ) und einem Neigungswinkel von  $25^\circ$  ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,75 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen. Es sollen zwei kristalline Module hochkant übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,22 m.

---

<sup>1</sup> ©2019 Google LLC.

## B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Wasbek wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bahntrasse Neumünster-Heide-Büsum, den Gebäuden im Süden der Anlage und dem Ortsrand von Wasbek durchgeführt.

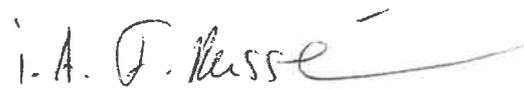
Die Untersuchung zeigt, dass auf der Bahntrasse Neumünster-Heide-Büsum keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Eine Gefährdung des Bahnverkehrs durch Lichtimmissionen ist nicht gegeben.

Die Untersuchung von Lichtimmissionen auf die Gebäude unter Vernachlässigung der abschattenden Bäume zeigt, dass im Süden der Anlage keine Lichtimmissionen in Form von Reflexionen, die von der Photovoltaikanlage ausgehen, zu erwarten sind. Am Ortsrand von Wasbek können Lichtimmissionen im April und von Ende August bis Mitte September wahrgenommen werden. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im maximum 4 Minuten am Tag bzw. 1,6 h pro Jahr. Die Werte liegen damit unter den Grenzwerten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) von 30 Minuten am Tag bzw. 30 h im Jahr. Nach den Kriterien der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) stellen die Lichtimmissionen damit keine erhebliche Belästigung dar und sind zu tolerieren.

Hamburg, 13. Juli 2020



Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt



Fabian Bussenius, M.Eng.

Dieser Bericht besteht aus 19 Seiten und ist bis Ende 2030 in der 8.2 Obst & Ziehmann 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 vorbeiführende Bahntrasse 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 in der Arbeit von Dipl.-Ing. Romy Reinisch „Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz“, 27. Oktober 2009. Aus Bild 4-6 der Arbeit, erstellt in Anlehnung an das „Traffic Engineering Handbook“, leiten sich die Öffnungswinkel des Sehfeldes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ab.

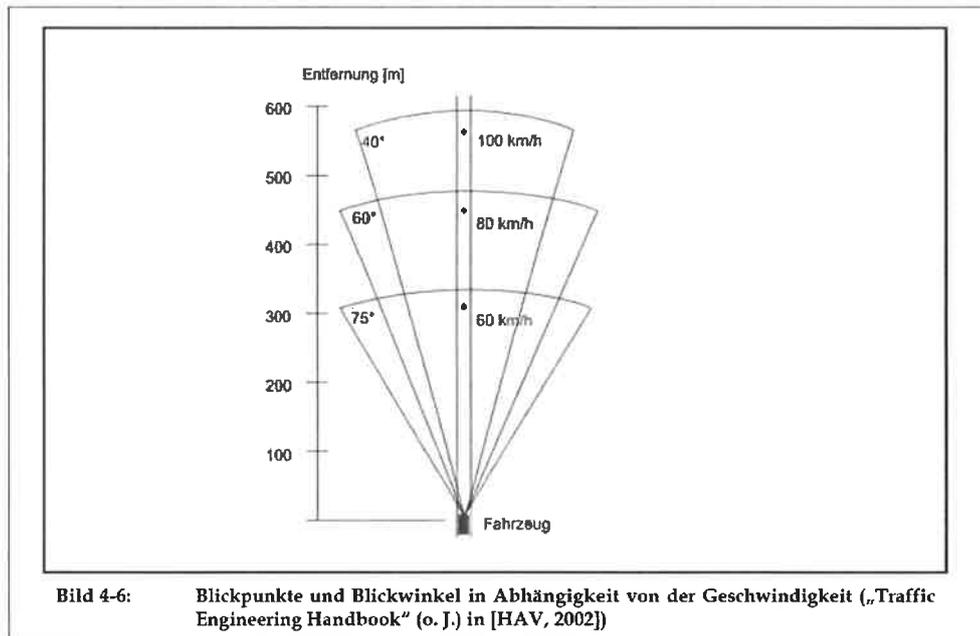


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit<sup>2</sup>

### 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>2</sup> „Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz“, 27. Oktober 2009, Dipl.-Ing. Romy Reinisch

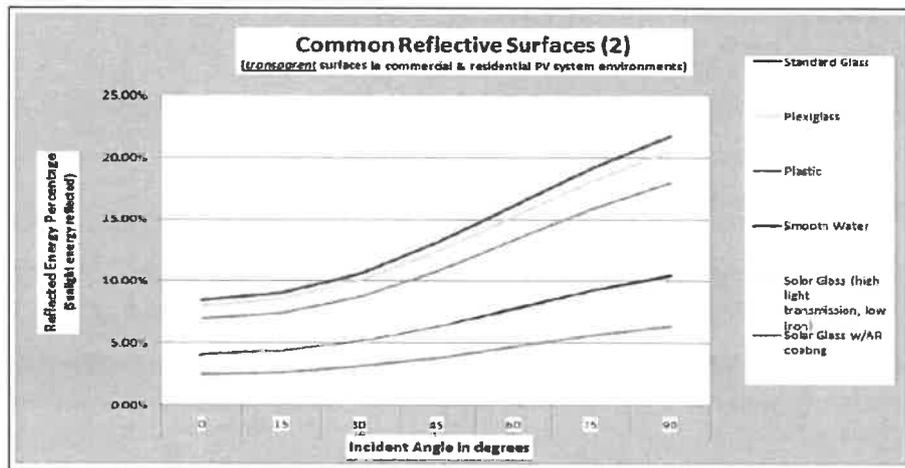


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel<sup>3</sup>

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>4</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>3</sup> Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication – Luftfahrthandbuch AIP VFR.

<sup>4</sup> - Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)





Abbildung 4: Sicht über die Planfläche von Süd nach Nord auf die Bahntrasse



Abbildung 5: Panoramaaufnahme der Planfläche mit der Westgrenze am linken Bildrand

### D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bahntrasse repräsentative Punkte festgelegt. Weiterhin wird für die Analyse der Reflexionen ein Netz mit einer Gitterweite von 2 m über die Planfläche gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bahntrasse werden die Punkte 1 bis 4 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 3. Ergänzend wird eine Analyse möglicher Lichtimmissionen an den Gebäuden im Süden (G1 und G2) sowie einem ausgewählten Gebäude am Ortsrand (G3) durchgeführt.

Nach Abschluss der Bestimmung möglicher sichtbarer Reflexionen erfolgt eine Bewertung, inwieweit die Reflexionen von Fahrzeugführern wahrgenommen werden können bzw. inwieweit die Reflexionen eine Belastung für die Anwohner darstellen.

## D.2. Geometrische Betrachtung

### D.2.1. Grundlage

Die geometrische Betrachtung wird für die Unterkante der Module mit 0,75 m durchgeführt. Erfahrungsgemäß stellt dies den ungünstigsten Fall dar.

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

Für die exemplarische Untersuchung der Ortsränder werden die Höhe der Fenster mit 1,2 m und die Breite mit 2,0 m angenommen. Die Fensterunterkante wird mit 3 m für ein Obergeschoss angesetzt.

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

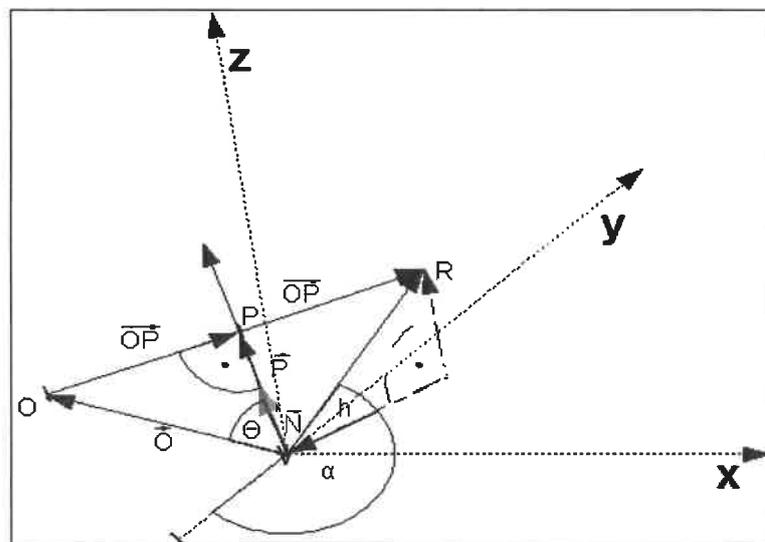
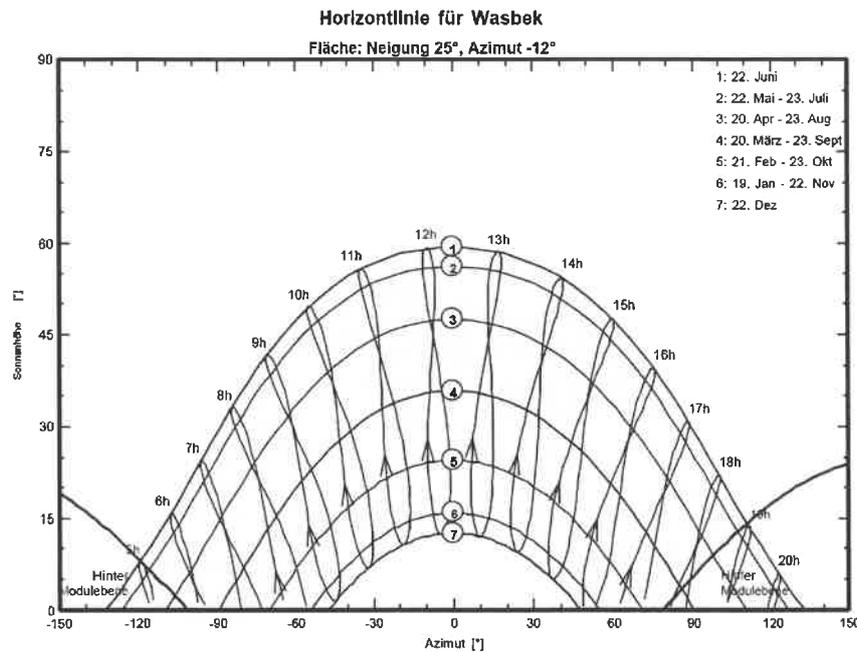


Abbildung 6: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 6. 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 7, 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  $-120^\circ$  bis  $+120^\circ$  und für den Höhenwinkel  $h$  von  $0^\circ$  bis  $59^\circ$ .



### 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.

Die Analyse zeigt für alle Punkte auf der Bahntrasse, dass es keine Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage gibt, die zu Lichtimmissionen auf der Bahntrasse führen. Gleiches gilt für die Gebäude G1 und G2 im Süden der Anlage.

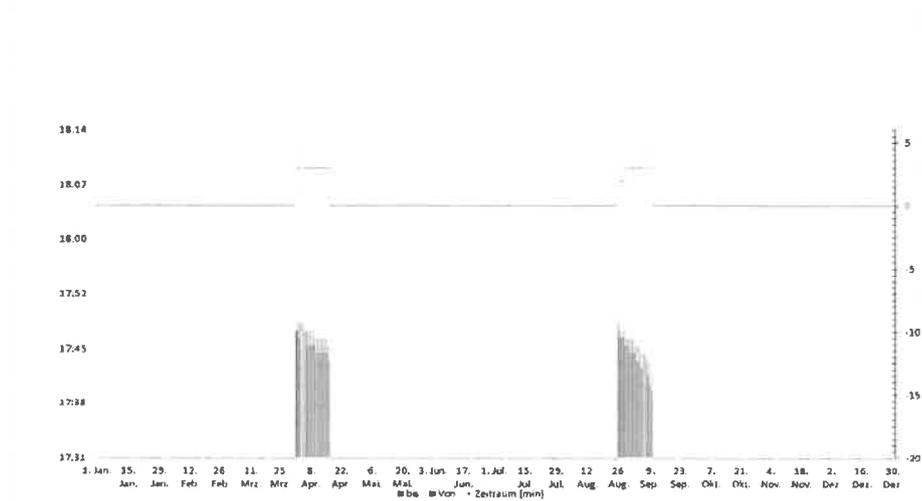
Am Ortsrand von Wasbek, der durch das Gebäude G3 repräsentiert wird, sind Lichtimmissionen durch Reflexionen an den Modulen zu beobachten. Die Lichtimmissionen treten im April zwischen 17:44 und 17:49 Uhr bzw. Ende August bis Mitte September von 17:40 bis 17:49 Uhr auf. Die maximale Dauer der Lichtimmissionen beträgt 4 Minuten am Tag bzw. rund 1,6 h über das ganze Jahr.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind im nachfolgenden Diagramm, siehe Abbildung 8, 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>6</sup>. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

Im Diagramm Abbildung 8 stellen die Werte der linken Ordinate die 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.

<sup>6</sup> Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012

Reflexionszeiten WasbekGebäude 3



**Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer zu Punkt 3 für Emissionen der westlichen Planfläche**

Die folgende Grafik Abbildung 9 zeigt den spezifischen Bereich der Photovoltaikanlage, von dem Lichtemissionen für Gebäude G3 ausgehen.



**Abbildung 9: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt 3 auf der Bahntrasse**

## E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bahntrasse Neumünster-Heide-Büsum keine Reflexionen, die von der Photovoltaikanlage Wasbek ausgehen, beobachtet werden können. Ein Risiko für den Bahnverkehr, ausgehend von der Photovoltaikanlage, ist nicht gegeben.

Die Analyse der Lichtemissionen zeigt, dass an den Gebäuden im Süden der Photovoltaikanlage keine Lichtmissionen zu erwarten sind. Am Ortsrand von Wasbek, sind im April und Ende August bis Mitte September Lichtmissionen zu erwarten, die von der Photovoltaikanlage in den Abendstunden reflektiert werden. Nach den Richtlinien der LAI liegen keine erheblichen Belästigungen vor, da die zu tolerierenden Zeiträume mit maximal 4 Minuten am Tag (nach LAI maximal 30 min/d) und maximal 1,6 Stunden im Jahr (nach LAI maximal 30 h/a) eingehalten werden.

