

# Prüfbericht

---

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Meinheim
Auftraggeber:	MHB Montage 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:	91802 Meinheim (49.034°N; 10.838°E)_Deutschland
Prüfberichtsnummer:	23K4886-PV-BG-Meinheim-R02-JBS_FIS-2023
Prüfdatum:	18.07.2023
Verantwortlicher Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt 8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwierte 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.....	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 Abend zu Punkt B1 .....	18
Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B2.....	19
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B3.....	19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B4.....	20
Abbildung 10: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B1 auf der Bahntrasse .....	21
Abbildung 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B2 auf der Bahntrasse .....	21
Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bahntrasse .....	22
Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B4 auf der Bahntrasse .....	22
Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bahntrasse Modulneigung 20° .....	23
Abbildung 15: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B1 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	24
Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B2 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	24
Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B3 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	25
Abbildung 18: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B4 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	25

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Revisionsübersicht.....	4
Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten .....	17
Tabelle 3: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten bei 20° Modulneigung .....	17

Tabelle 1: Revisionsübersicht

<b>Version</b>	<b>Modifikationen</b>
23K4886-PV-BG-Meinheim-R00-JBS_LBE-2023	Ersterstellung 26.04.2023
23K4886-PV-BG-Meinheim-R01-JBS_FIS-2023	Änderungen sind erfolgt für: Modulneigung, Tischausrichtung, Abstand zwischen GOK und Modulunterkante bzw. Moduloberkante 19.07.2023
23K4886-PV-BG-Meinheim-R02-JBS_FIS-2023	Zusammenfassung der Ergebnisse aus Berichtsrevision R00 und R01. 12.12.2023

## 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 allein 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 im Osten an der Planfläche vorbeiführt und der südwestlich der Planfläche liegenden Bebauung Untere Bloßenmühle zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	MHB Montage GmbH Wilhelmstraße 6 91732 Merkendorf
Auftragsdatum:	21.03.2023
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Finn Schumacher, M.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	23K4886-PV-BG-Meinheim-R02-JBS_FIS-2023

## A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die im Osten der Planfläche vorbeiführende Bahnlinie und die südwestlich der Planfläche liegenden Bebauung Untere Bloßenmühle. 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 „BayernAtlas“<sup>2</sup>

Hinweise:

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

## A.4. Identifikation der Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage Meinheim soll im Osten der Gemeinde Meinheim im mittelfränkischen Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen, westlich der Bahngleise installiert werden.

In dieser Untersuchung werden die Module nach Süden mit 180° (N=0°) ausgerichtet. Die Modulneigung beträgt 15°.

Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden beträgt 1,1 m. Es sollen drei kristalline Module hochkant übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,95 m.

---

<sup>1</sup> ©2019 Google LLC.

<sup>2</sup> Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Alexandrastraße 4, 80538 München  
<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122>



## B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Meinheim wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bahntrasse im Osten der Planfläche sowie an der Bebauung Untere Bloßenmühle durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass bei einer Modulneigung von 15° auf der Bahntrasse Lichtimmissionen von Februar bis Oktober in den Abendstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer beträgt rund 16 Minuten. Die reflektierenden Module liegen nicht im Sichtfeld der Zugführer. Eine Gefährdung des Zugverkehrs durch Lichtimmissionen ist nicht erkennbar.

Die Untersuchung der Bebauung Untere Bloßenmühle zeigt, dass nicht mit Lichtimmissionen zu rechnen ist.

Die Ergebnisse dieser Analyse sind vergleichbar mit einer vorherigen Untersuchung bei einer Modulneigung von 20°. Daher sind diese Ergebnisse auch auf Modulneigungen zwischen 15° und 20° übertragbar.

Die Analyse für die Modulneigung von 20° wurde bei einer Höhe der Modulunterkante von 1,3 m durchgeführt. Im Vergleich zeigt sich, dass die Höhe der Modulunterkante kaum Einfluss auf das Ergebnis nimmt und somit auch auf eine Höhe der Modulunterkante von 1,0 m bei einer maximalen Höhe von 3,9 m übertragbar ist.

Hamburg, 12. Dezember 2023



Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt



Finn Schumacher, M.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 26 Seiten und ist bis Ende 2033 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 Bebauung im Südwesten der Anlage zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter, bei Zugführern und Anwohnern 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.

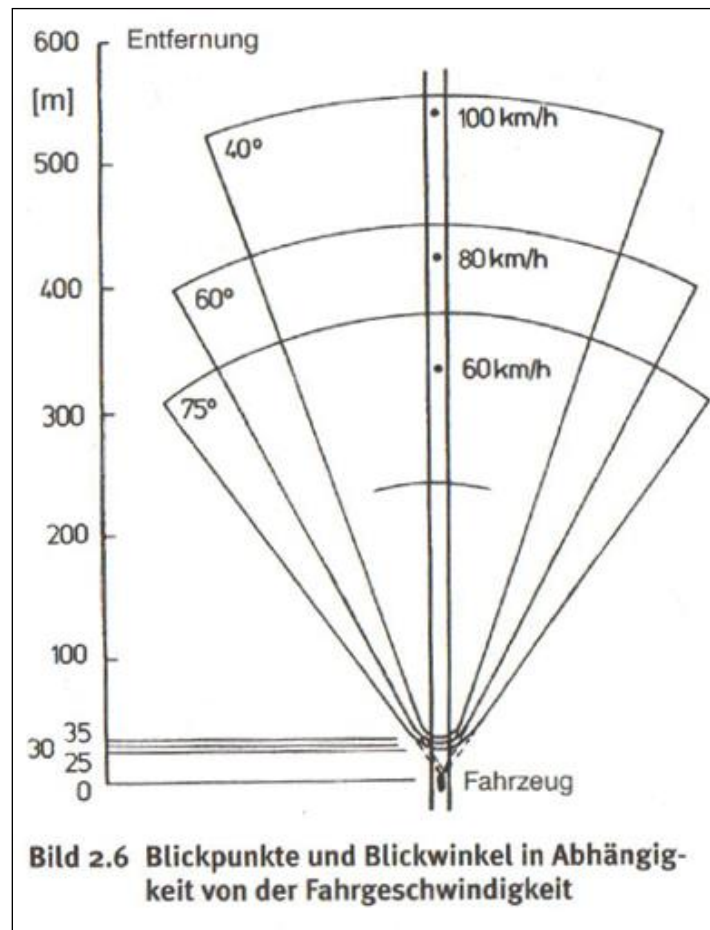


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit<sup>3</sup>

### 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

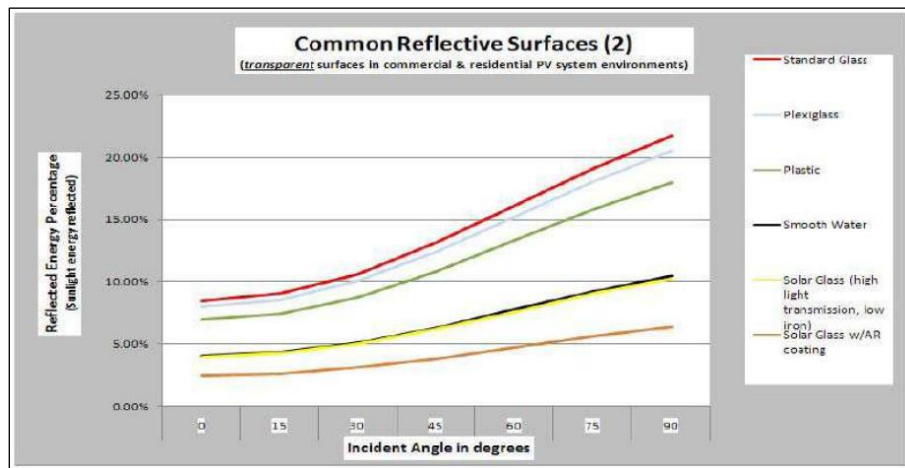


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel<sup>4</sup>

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 „BayernAtlas“<sup>7</sup>.

Die Planfläche selbst liegt westlich der Bahngleise im Osten der Gemeinde Meinheim in Mittelfranken. Das Höhengniveau der Bahntrasse beträgt im Untersuchungsbereich 416 m über Normalhöhennull (NHN). Die Bebauung Untere Bloßenmühle liegt auf einer Höhe von 419 m über NHN. Das Höhengniveau der Planfläche liegt zwischen 412 m im Norden und 415 m über NHN im Süden, siehe Abbildung 3.

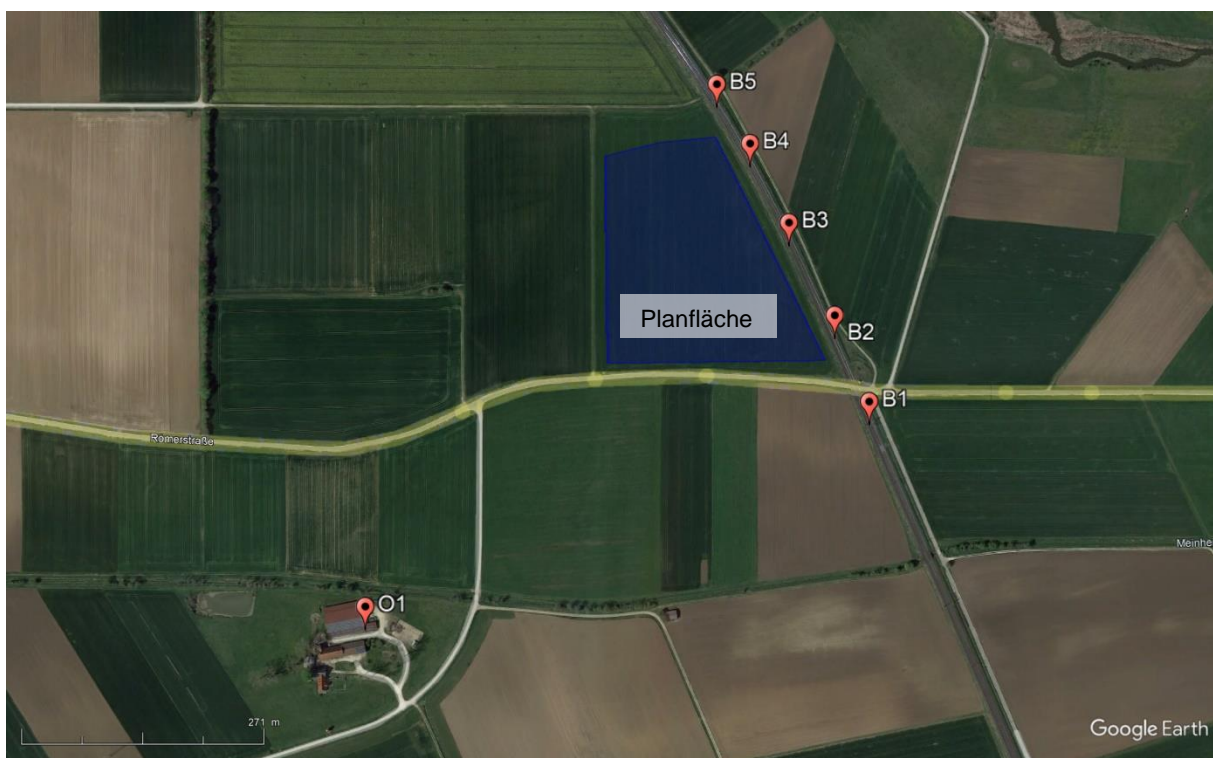


Abbildung 3: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche

In dieser Untersuchung werden die Module nach Süden mit  $180^\circ$  ( $N=0^\circ$ ) ausgerichtet. Die Modulneigung beträgt  $15^\circ$ .

Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden beträgt 1,1 m. Es sollen drei kristalline Module hochkant übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,95 m.

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

<sup>7</sup> Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, Alexandrastraße 4, 80538 München  
<https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/?topic=ba&lang=de&bgLayer=atkis&catalogNodes=11,122>

## D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bahntrasse bzw. der Bebauung repräsentative Punkte festgelegt. Über die Planfläche wird ein Netz mit einer Gitterweite von 1 m gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bahntrasse 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, siehe Abbildung 3.

Die Betrachtung für die Bebauung Untere Bloßenmühle erfolgt exemplarisch für den Punkt O1.

Nach Abschluss der Bestimmung möglicher sichtbarer Reflexionen erfolgt eine Bewertung, inwieweit die Reflexionen von Zugführern 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 1,1 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. In diesen Bereichen umfasst die Untersuchung das Untergeschoss (Fensterunterkantenhöhe = 1,2 m) und das Obergeschoss (Fensterunterkantenhöhe = 3,8 m).

Die Bewertung der Lichtemissionen des Solarparks erfolgt in zwei Schritten. In Schritt 1 wird für die Punkte auf der Bahntrasse bzw. an der Bebauung 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.

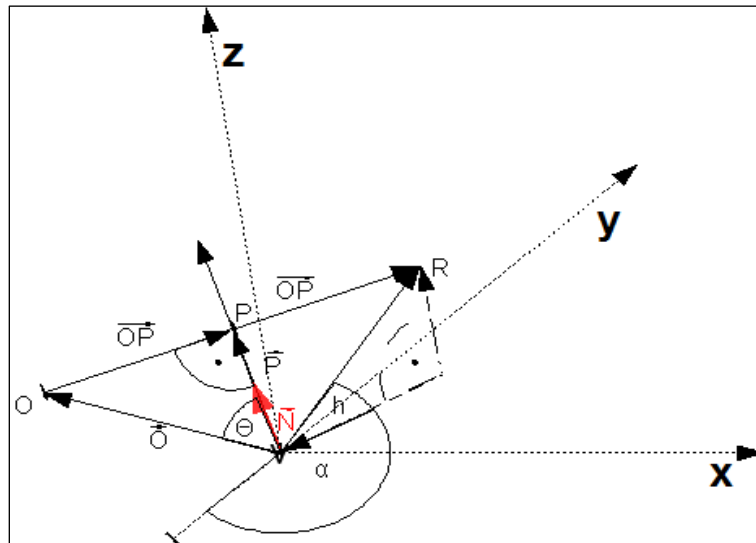


Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

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 Lichtimmissionen 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. Der relevante Sonnenverlauf reicht somit im Azimut von  $-130^\circ$  bis  $+130^\circ$  und für den Höhenwinkel  $h$  von  $0^\circ$  bis  $64^\circ$ .

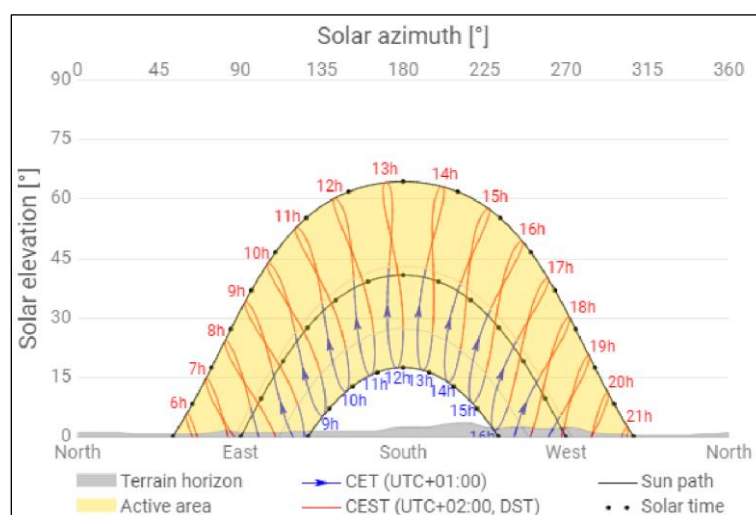


Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

## 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 180° (N=0°) Unterkante 1,3 m</b>				
B1	von 05. Mai bis 07. Aug	18:33 - 18:53	6.0	6.8
B2	von 28. Mrz bis 12. Okt	17:14 - 18:52	16.0	19.0
B3	von 25. Feb bis 17. Okt	17:07 - 18:51	14.0	18.8
B4	von 09. Mrz bis 03. Okt	17:14 - 18:36	8.0	5.8
B5	Keine Reflexionen			
O1	Keine Reflexionen			

Die nachfolgende Tabelle gibt die Ergebnisse einer vorhergehenden Untersuchung mit einer Modulneigung von 20° bei einer Höhe der Modulunterkante von 1,3 m wieder.

Tabelle 3: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten bei 20° Modulneigung

	Datumsbereich	Zeitbereich	Max Minuten pro Tag [min]	Max Stunden pro Jahr [h]
<b>Neigungswinkel 20° Azimut 180° (N=0°) Unterkante 1,3 m</b>				
B1	von 26. Apr bis 16. Aug	18:20 - 18:36	5.0	6.9
B2	von 26. Mrz bis 16. Sep	17:45 - 18:35	15.0	19.6
B3	von 23. Mrz bis 19. Sep	17:34 - 18:33	12.0	19.3
B4	von 03. Mrz bis 09. Okt	17:19 - 18:22	9.0	6.6
B5	Keine Reflexionen			
O1	Keine Reflexionen			

Es zeigt sich, dass die Dauer der Ereignisse bei 15° nahezu gleich denen bei 20° geblieben ist. Der Zeitraum des Auftretens hat sich je nach Betrachtungspunkt zwischen einer viertel und halben Stunde in den Abend geschoben und der Zeitraum, in dem die Lichtimmissionen auftreten hat sich leicht verlängert.

### Bahntrasse

Die Analyse zeigt für den Punkt B5, dass auf der Bahntrasse keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Hingegen sind Lichtimmissionen in den Punkten B1 bis B4 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen abends von Ende Februar bis Mitte Oktober im Zeitraum zwischen 17:07 Uhr und 18:53 Uhr. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 16 Minuten am Tag und 19 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

# 8.2

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 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.

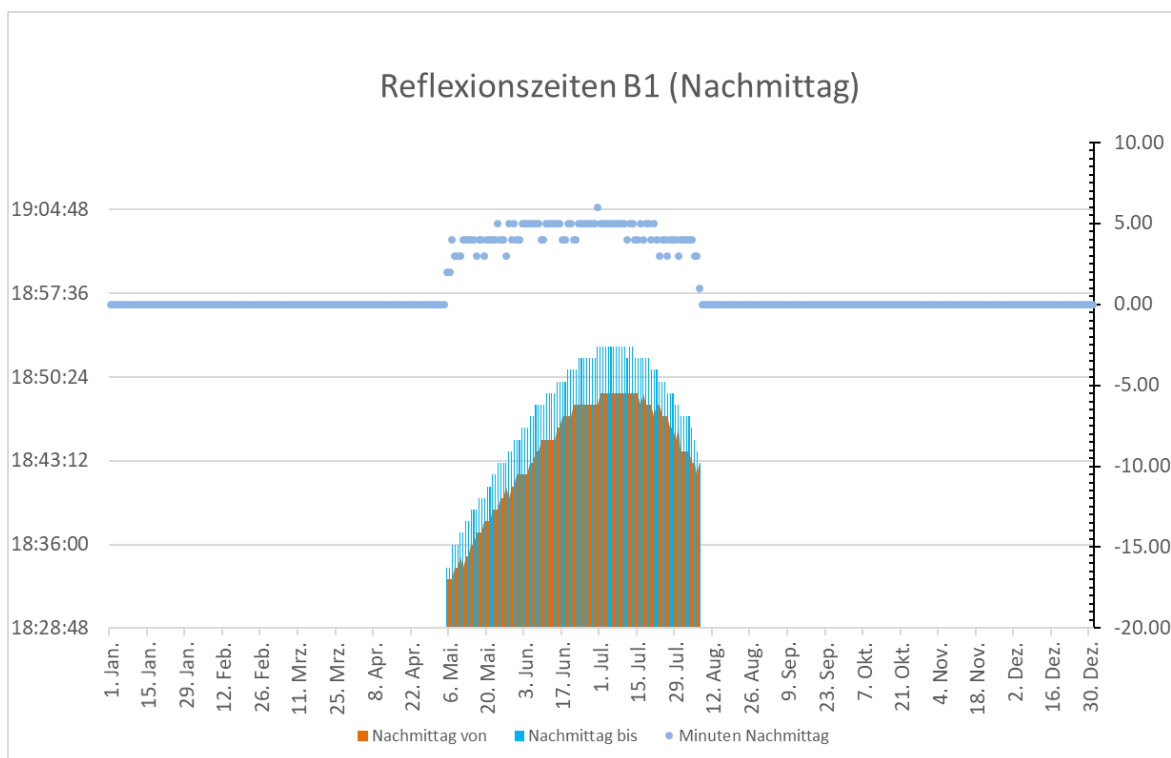
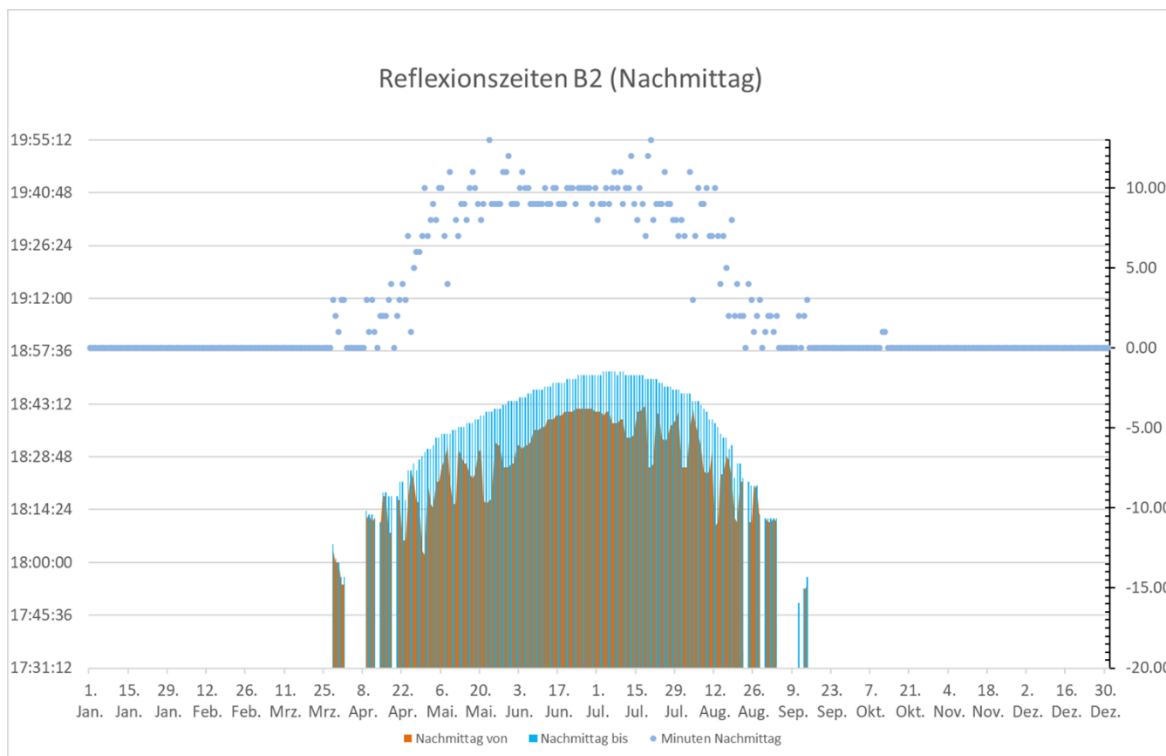
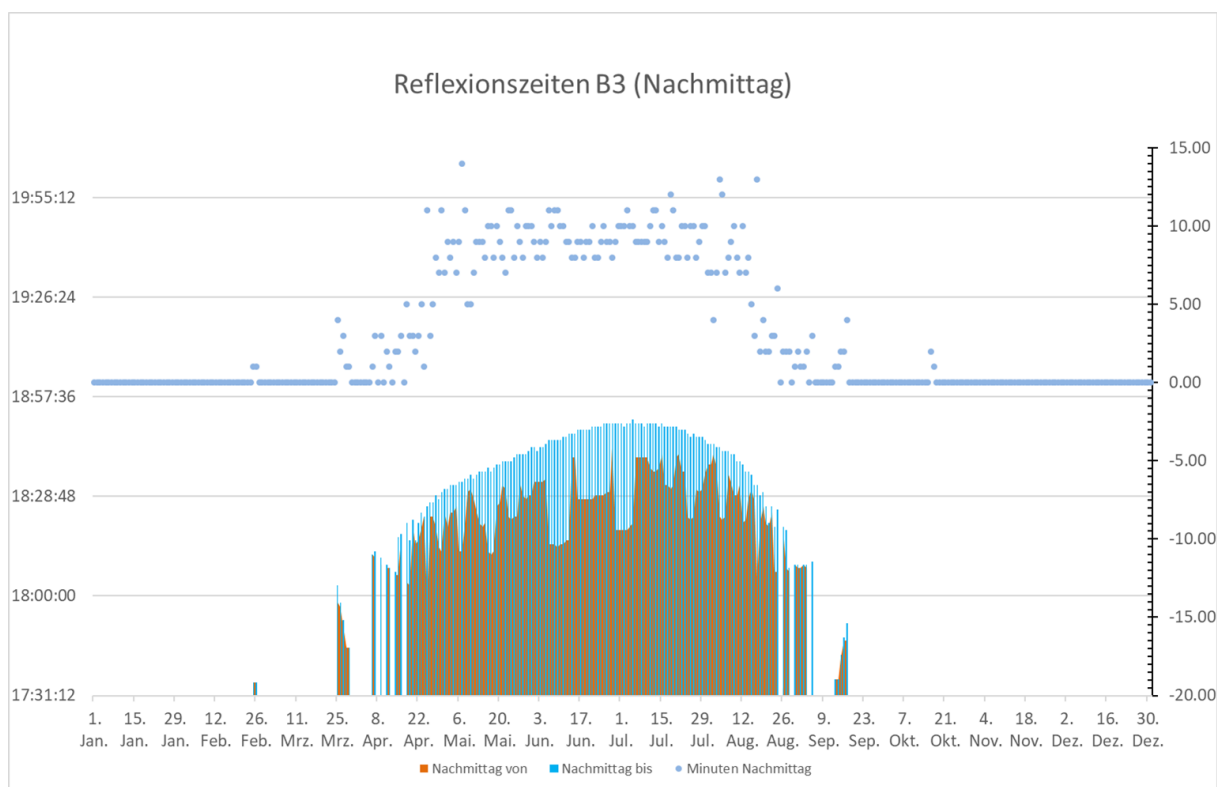


Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B1

<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



**Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B2**



**Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B3**

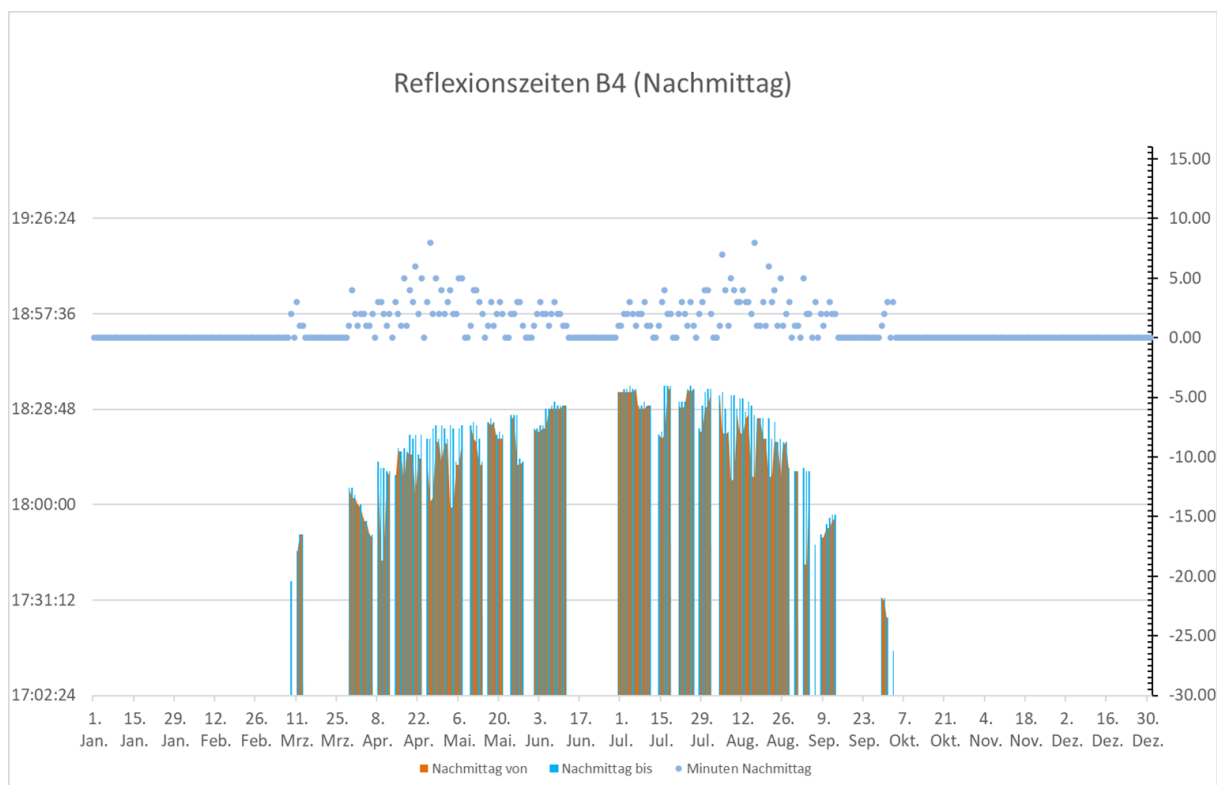


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Abend zu Punkt B4

Die folgenden Grafiken Abbildung 10 bis Abbildung 13 zeigen die spezifischen Bereiche der Photovoltaikanlage, von denen Lichtemissionen für die Punkte B1 bis B4 ausgehen. Die blauen Flächen stellt die Planfläche entsprechend Abbildung 3 dar. Die weißen Ringe stellen den Reflexionsbereich der Module auf der Planfläche dar, die für den entsprechenden Betrachtungspunkt unter den gesetzten Annahmen gilt.

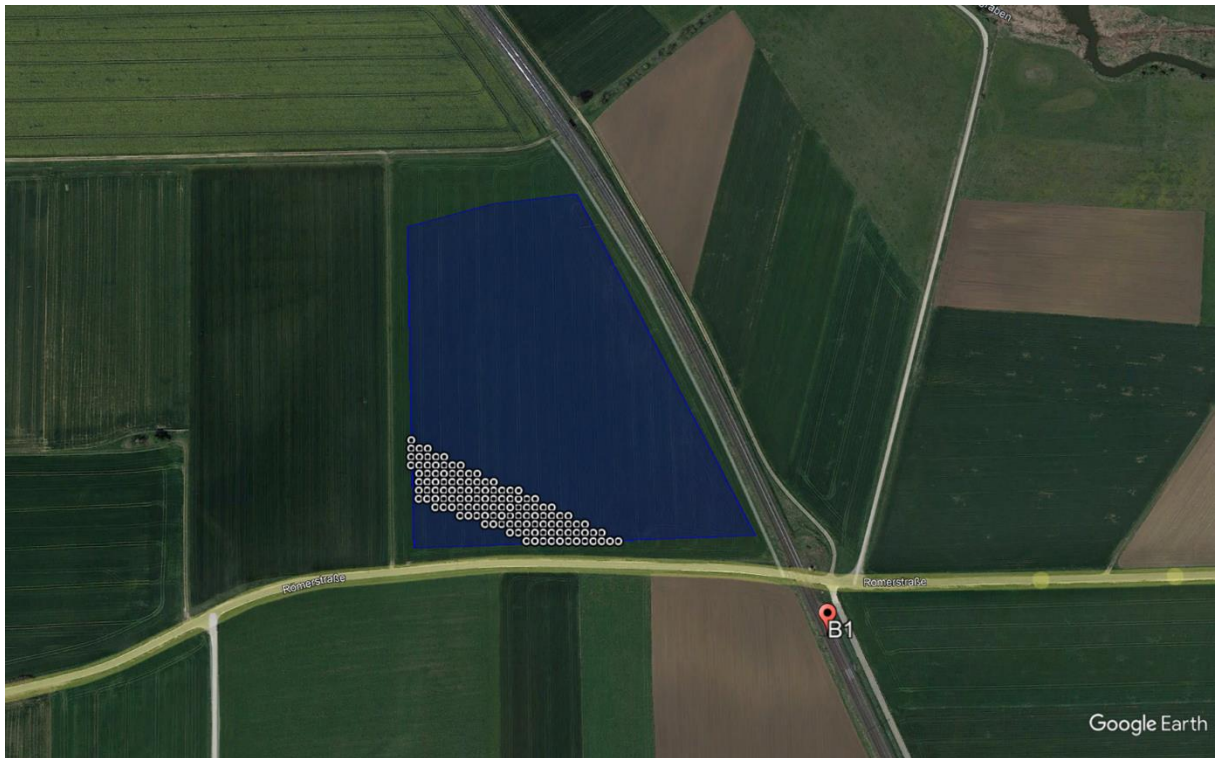


Abbildung 10: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B1 auf der Bahntrasse

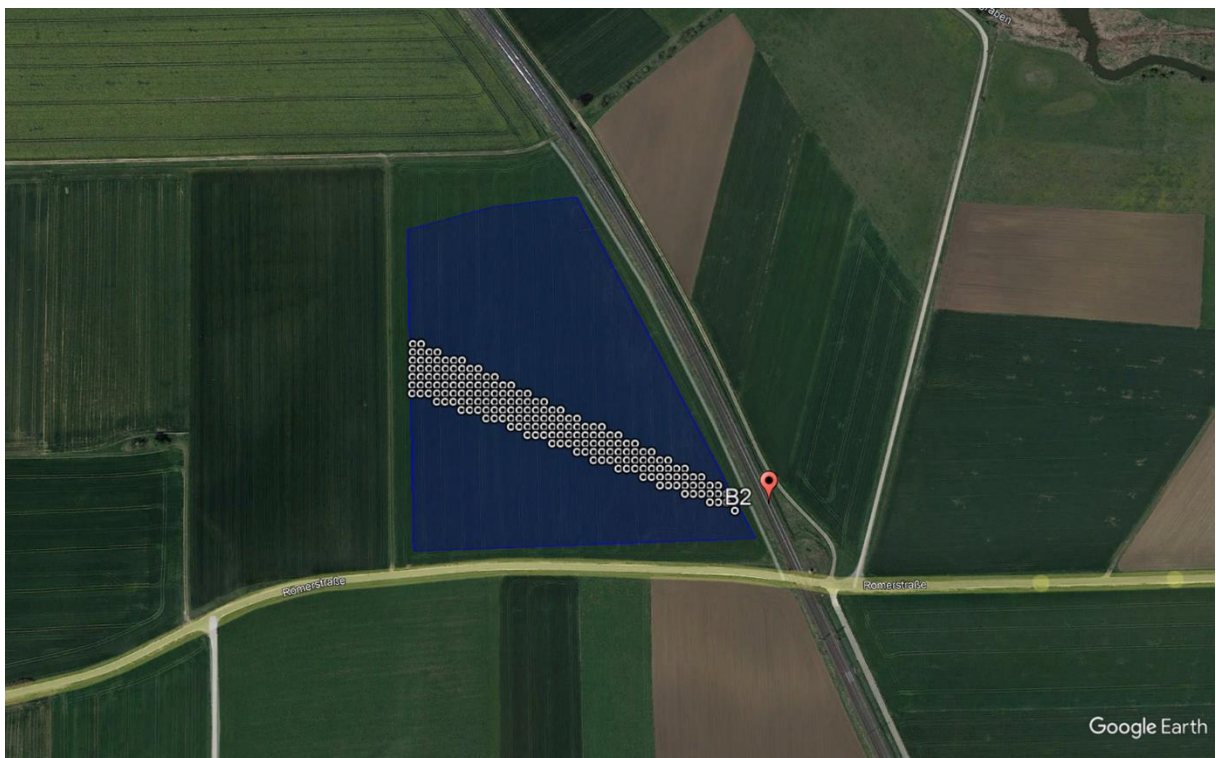


Abbildung 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B2 auf der Bahntrasse



Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bahntrasse

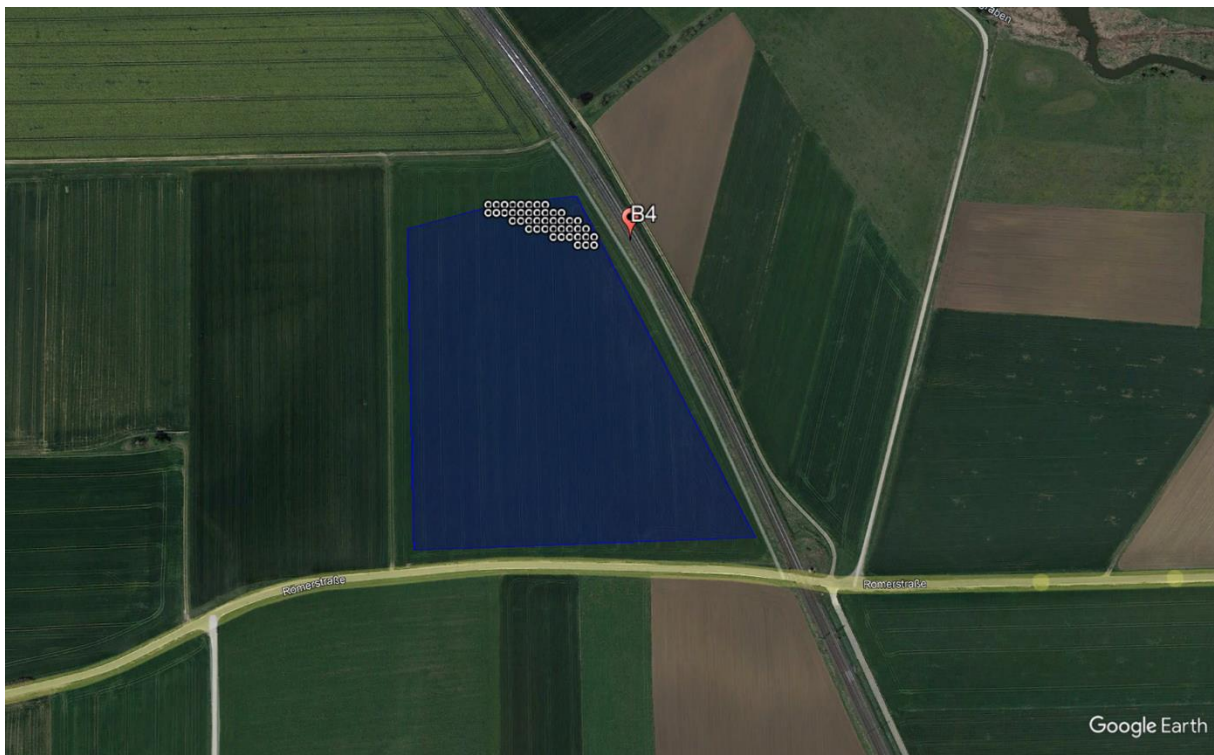


Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B4 auf der Bahntrasse

In der folgenden Grafik, Abbildung 14, ist zum Vergleich der Emissionsbereich für den Punkt B3 bei einer Modulneigung von 20° dargestellt. Die Bereiche zeigen nur leichte Abweichungen bei den beiden unterschiedlichen Modulneigungen.



Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bahntrasse Modulneigung  $20^\circ$

### Bebauung Untere Bloßenmühle

Die Untersuchung der Unteren Bloßenmühle im definierten Punkt O1 ergab, dass an diesem Ort nicht mit Reflexionen zu rechnen ist.

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

#### Bahntrasse (Südausrichtung)

Wie in Kapitel C.3 ausgeführt ist das Sichtfeld von Fahrzeugführern je nach Geschwindigkeit eingeschränkt. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h, die als zu erwartende Mindestgeschwindigkeit an dieser Stelle zugrunde gelegt wird, beträgt der Öffnungswinkel des Sichtfeldes  $60^\circ$ .

Das Sichtfeld der Zugführer ist in Abbildung 15 bis Abbildung 18 für die Punkte B1 bis B4 dargestellt. Das Sichtfeld der Zugführer ist in Blau dargestellt. Der obere Kegel gibt das Sichtfeld für Züge wieder, die Richtung Norden unterwegs sind, und der untere Kegel das Sichtfeld der Zugführer mit Fahrtrichtung Süden. 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 beide Fahrrichtungen, dass die Module mit Lichtemissionen außerhalb der Sichtbereiche der Zugführer liegen.



Abbildung 15: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B1 mit Grenzvektoren in Richtung Module

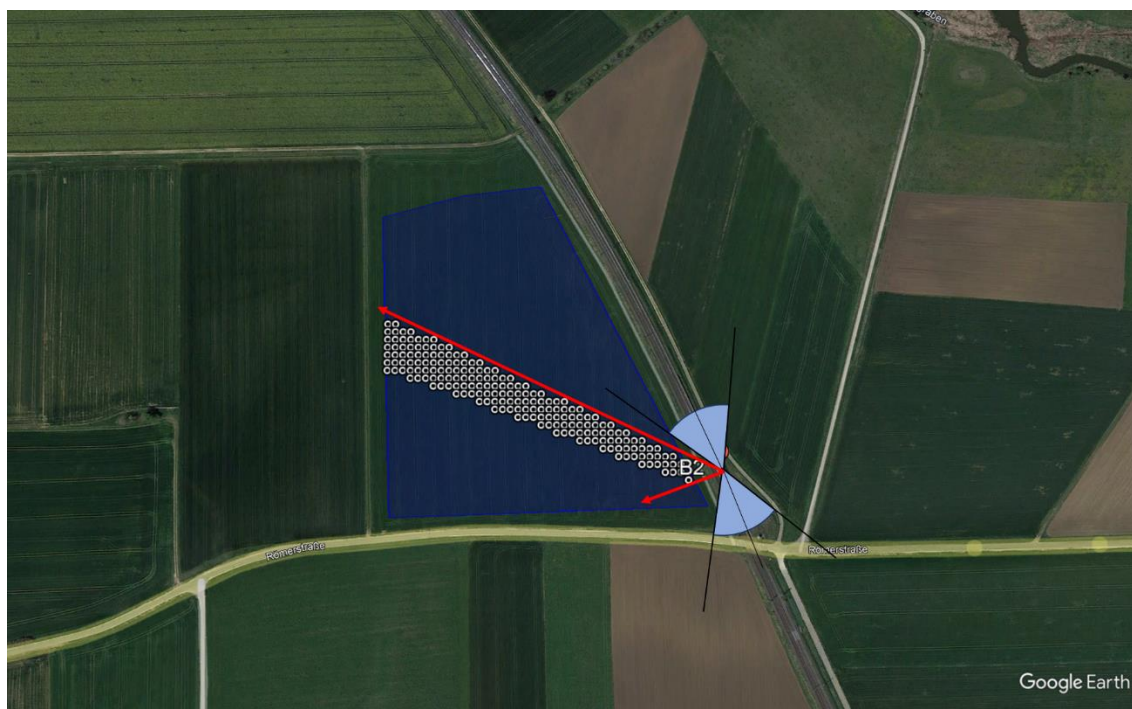


Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B2 mit Grenzvektoren in Richtung Module



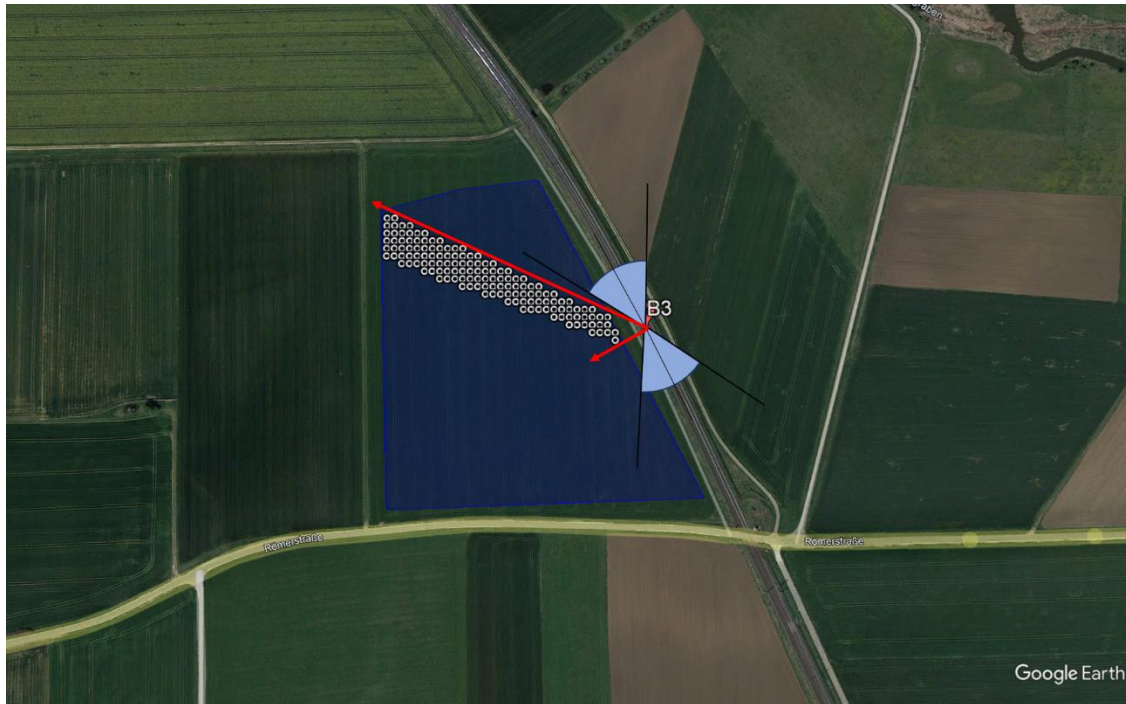


Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B3 mit Grenzvektoren in Richtung Module



Abbildung 18: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt B4 mit Grenzvektoren in Richtung Module

## E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bahntrasse, welche sich östlich der Planfläche befindet, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Meinheim, bei einer Modulneigung von  $15^\circ$  und einer Modulausrichtung von  $180^\circ$  ( $N=0^\circ$ ) Lichtimmissionen von Ende Februar bis Mitte Oktober in den Abendstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in etwa zwischen 17:07 Uhr bis 18:53 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 16 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 außerhalb des normalen Blickfeldes der Zugführer befinden. Eine Wahrnehmung ist nur dann zu erwarten, wenn der Zugführer den Blick bewusst abwendet, so dass die Blickrichtung sich außerhalb des normalen Sichtkegels befindet.

Aus diesem Grund ist eine Gefährdung des Zugverkehrs durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Meinheim entstehen, nicht zu erkennen.

Die Analyse der Lichtemissionen für die Bebauung der Unteren Bloßenmühle zeigt, dass dort keine Lichtimmissionen zu erwarten sind.

Dieses Ergebnis zeigte sich bereits bei einer Betrachtung für eine Modulneigung von  $20^\circ$ , die bei einer Höhe der Modulunterkante von 1,3 m durchgeführt wurde. Daher ist davon auszugehen, dass bei einer Modulneigung zwischen  $15^\circ$  und  $20^\circ$  bei einem Azimut von  $180^\circ$  keine Gefährdung des Zugverkehrs durch Lichtemissionen zu erwarten ist.

Gleiches gilt auch für die Betrachtung der Lichtemissionen für die Bebauung Unteren Bloßenmühle.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass der Einfluss der Höhe der Modulunterkante sehr gering ist, so dass die Ergebnisse auch auf eine Höhe der Modulunterkante von einem Meter und der zulässigen Höhe der Moduloberkante von 3,9 m übertragen werden kann.

---

<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