



Prüfbericht

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Unterhessbach-Ost
Auftraggeber:	Florian Schmidt
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>Unterhessbach (49,363 N; 10,495 E)</u> , Germany
Betreiber:	Florian Schmidt
Prüfberichtsnummer:	20K1732-PV-BG-Unterhessbach-Ost-R00-JBS_DO-2020
Prüfdatum:	14.02.2020

8.2 Obst & Ziehmann GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Brandstwiete 4

20457 Hamburg

Tel: +49 (0)40 / 18 12 604-22

Fax: +49 (0)40 / 18 12 604-99

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	11
C.4. Reflexionen an Solarmodulen.....	12
D. Analyse	14
D.1. Grundlage und Vorgehensweise.....	14
D.2. Geometrische Betrachtung	17
E. Bewertung.....	23

Bildverzeichnis

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.....	12
Abbildung 3: Google Earth ©2018 Lageplan der Planfläche	14
Abbildung 4: Sicht über die westliche Planfläche von Südwest nach Nordost.....	15
Abbildung 5: Sicht über die westliche Planfläche von Osten auf Unterheßbach.....	15
Abbildung 6: Blick von der Südostseite über Planfläche West Richtung Oberheßbach	16
Abbildung 7: Blick über die östliche Planfläche von Südwest nach Nordost.....	16
Abbildung 8: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul.....	18
Abbildung 9: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	18
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer zu Punkt 3 für Emissionen der östlichen Planfläche.....	19
Abbildung 11: Reflexionszeiten zu Punkt 3 im Sonnenverlaufsdigramm für die westliche Planfläche.....	20
Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt 3 auf der Bahntrasse.....	20
Abbildung 13: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt 3 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Revisionsübersicht.....	4
Tabelle 2:	Winkelbetrachtungen zu Vektor OS und Vektor OM ($N=0^\circ$)	21

Tabelle 1 Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
20K1732-PV-BG-Unterhessbach-Ost-R00-JBS_DO-2020	Ursprungsversion 14.02.2020

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, die zwischen den beiden Teilen der PVA hindurchführt, und der nordwestlich und westlich liegenden Ortsgrenzen von Unter- und Oberheßbach zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	Florian Schmidt Unterheßbach 1a 91611 Lehrberg
Auftragsdatum:	24.01.2020
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Ziehmann GmbH Brandstwierte 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Obst
Nummer des Prüfberichts:	20K1732-PV-BG-Unterhessbach-Ost-R00-JBS_DO-2020

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die zwischen den Anlagenteilen hindurchführende Regionalbahnstrecke Ansbach-Würzburg, der nordwestlich gelegenen Bebauung am Ortsrand von Oberheßbach und der westlich gelegenen Bebauung von Unterheßbach. 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
 - o 8. Änderung des Flächennutzungsplanes
 - o Vorentwurf: Vorhabenbezogener Bebauungsplan für das Sondergebiet "Solarpark Bahn Unterheßbach" mit integriertem Grünordnungsplan und Umweltbericht inklusive Begründung
 - o Kurzbeschreibung des Vorhabens mit Bildansichten der Planfläche
- 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 Earth¹
- Daten der Online-Plattform „BayernAtlas“²

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 Unterhessbach-Ost soll südöstlich der Gemeinde Oberheßbach beidseits der, in diesem Bereich von Süd nach Nord führenden, Regionalbahnstrecke Ansbach-Würzburg installiert werden.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° (N=0°) und einem Neigungswinkel von 10° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen. Es sollen vier kristalline Module hochkant übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,0 m.

¹ ©2019 Google LLC.

² 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 Unterhessbach-Ost wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bahntrasse Ansbach-Würzburg und den Ortsrändern von Unter- und Oberheßbach durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass auf der Bahntrasse Lichtimmissionen von Ende April bis Mitte August in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer beträgt rund 13 Minuten. Die reflektierenden Module liegen nicht im Sichtfeld der Fahrzeugführer. Zudem weichen die Blickrichtung in Richtung reflektierende Module bzw. in Richtung Sonne nur wenig voneinander ab, so dass ein Blick in Richtung reflektierender Module mit gleicher Vorsicht, wie in Richtung Sonne erfolgen würde. Eine Gefährdung des Bahnverkehrs durch Lichtimmissionen ist nicht zu erkennen.

Die Untersuchung der Ortsränder von Unter- und Oberheßbach, die der Photovoltaikanlage zugewandt sind, zeigt, dass an den Ortsrändern keine Lichtimmissionen durch Reflexionen an den Modulen zu erwarten sind.

Hamburg, 14. Februar 2020

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Obst

Dieser Bericht besteht aus 23 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 Regionalbahnstrecke Ansbach-Würzburg und die Ortsränder von Unter- und Oberheßbach zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter. Hinzu kommt bei Fahrzeugführern die Frage des Blickwinkels.

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 unterscheidet man zwischen **direkter Blendung** – direkte Wirkung einer Lichtquelle, und **indirekter Blendung** – durch reflektiertes Licht einer Lichtquelle.

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 eintreffen der Sonnenstrahlung wird der Reflexionsgrad deutlich höher – zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Sonne 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 nennt man gemeinhin Ablenkung.

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 beidseits 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 Sichtfeldes 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.

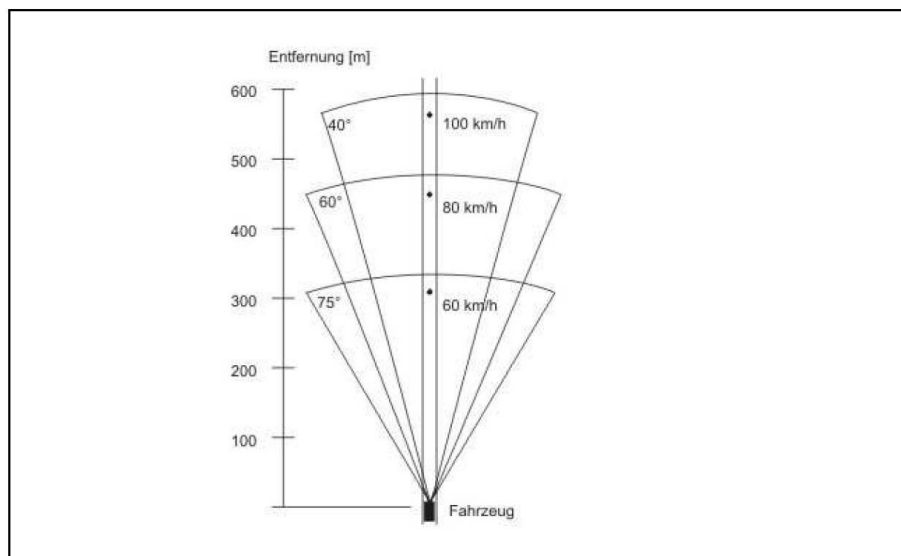


Bild 4-6: Blickpunkte und Blickwinkel in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit („Traffic Engineering Handbook“ (o. J.) in [HAV, 2002])

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit³

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.

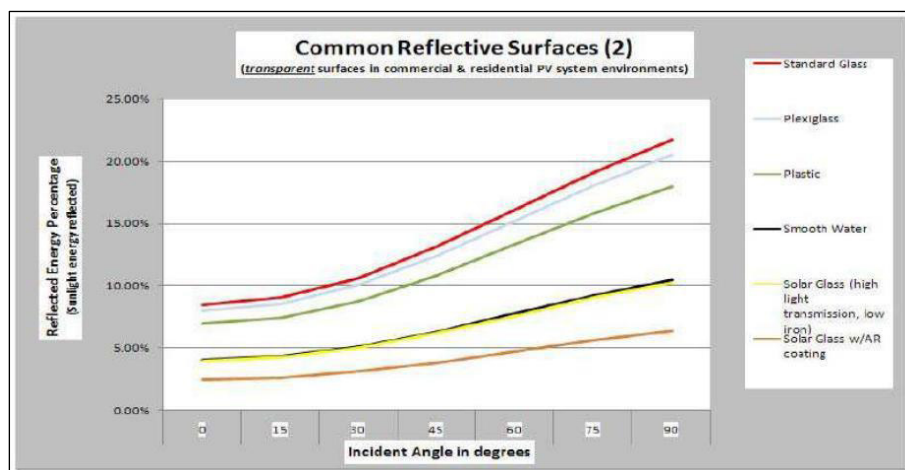


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel⁴

³ „Wahrnehmung von Verkehrszeichen und Straßenumfeld bei Nachtfahrten im übergeordneten Straßennetz“, 27. Oktober 2009, Dipl.-Ing. Romy Reinisch

⁴ Deutsche Flugsicherung (DFS): Aeronautical Information Publication – Luftfahrthandbuch AIP VFR.

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 auf. 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 Sonne⁵ rund $6 \cdot 10^6$ cd/m². Das heißt, die Leuchtdichte der Reflexion der Sonne am Modul beträgt um $0,6 \cdot 10^6$ cd/m².

⁵ - 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 Earth⁶ sowie der Online-Plattform „BayernAtlas“⁷.

Die Planfläche selbst liegt beidseits der Regionalbahnstrecke Ansbach-Würzburg östlich der Gemeinde Oberheßbach. Das Höhengniveau der Bahntrasse über Normalnull beträgt im Untersuchungsbereich 416 m. Das Höhengniveau im Bereich der Ortsränder von Unter- und Oberheßbach beträgt zwischen 412 m und 413 m. Die Bebauung besteht aus einer Mischung aus landwirtschaftlichen Anwesen mit Wohngebäuden und Wirtschaftsgebäuden sowie Einfamilienhäusern, siehe Abbildung 6. Das Höhengniveau der westlichen Planfläche variiert zwischen 413 m im Westen und 418 m nahe der Bahnlinie. Auf der östlichen Planfläche variiert die Höhe zwischen 416 m im Bereich der Bahntrasse und 421 m an der östlichen Grenze, siehe Abbildung 3.

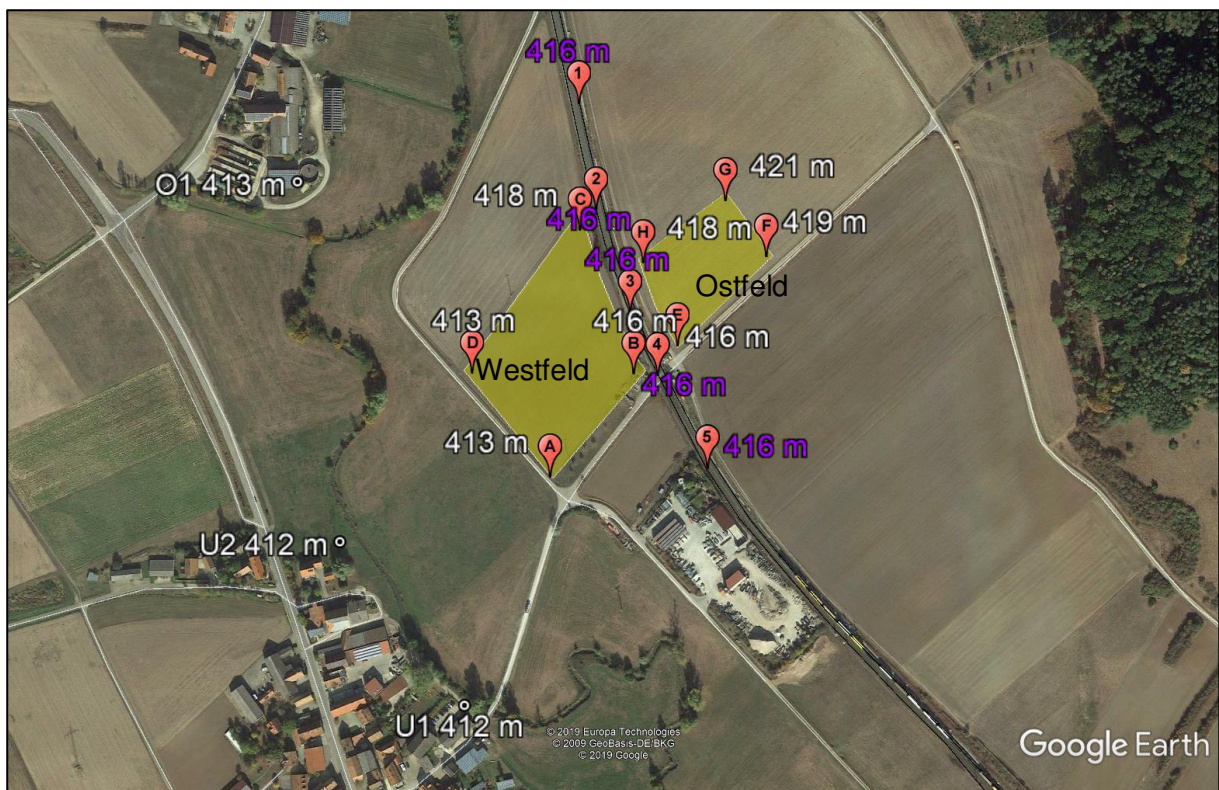


Abbildung 3: Google Earth ©2018 Lageplan der Planfläche

⁶ ©2019 Google LLC.

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

Den westlichen Bereich der westlichen Planfläche überspannt eine Stromtrasse, die von Süd nach Nord führt, siehe Abbildung 4. Der Bereich unter der Stromtrasse wird von Modulen frei gehalten.

Zwischen Oberheßbach und der Planfläche befindet sich ein Bachlauf, der von Büschen und Bäumen mit unterschiedlicher Höhe gesäumt ist.



Abbildung 4: Sicht über die westliche Planfläche von Südwest nach Nordost



Abbildung 5: Sicht über die westliche Planfläche von Osten auf Unterheßbach



Abbildung 6: Blick von der Südostseite über Planfläche West Richtung Oberheßbach



Abbildung 7: Blick über die östliche Planfläche von Südwest nach Nordost.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel von 10° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen. Die maximale Höhe der Gestelle beträgt laut Planung rund 2,0 m.

D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bahntrasse bzw. den Ortsrändern repräsentative Punkte festgelegt. Für die einzelnen Punktepaaire werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Für die Analyse der Reflexionen wird ein Netz mit einer Gitterweite von 2 m über die Planfläche gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte.

Auf der Bahntrasse werden die Punkte 1 bis 5 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 den Ortsrand Oberheßbach erfolgt exemplarisch für den Punkt O1 und für den Ortsrand Unterheßbach für die Punkte U1 und U2.

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 0,8 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 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 Lichtimmissionen auf der Bahntrasse führt. Der Emissionsort wird definiert durch Azimut α und Höhenwinkel h° . Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der berechneten Emissionsorte mit dem Sonnenstand der Sonne im Jahresverlauf verglichen.

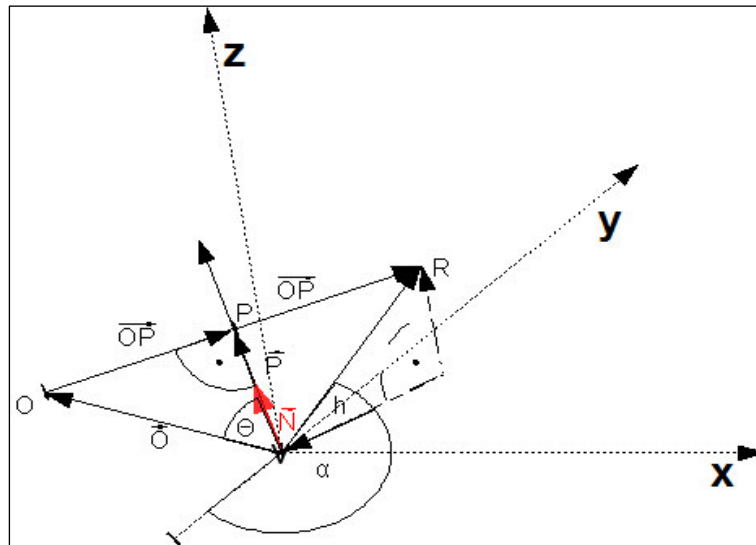


Abbildung 8: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 8. 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 9, 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° bis $+120^\circ$ und für den Höhenwinkel h von 0° bis 64° .

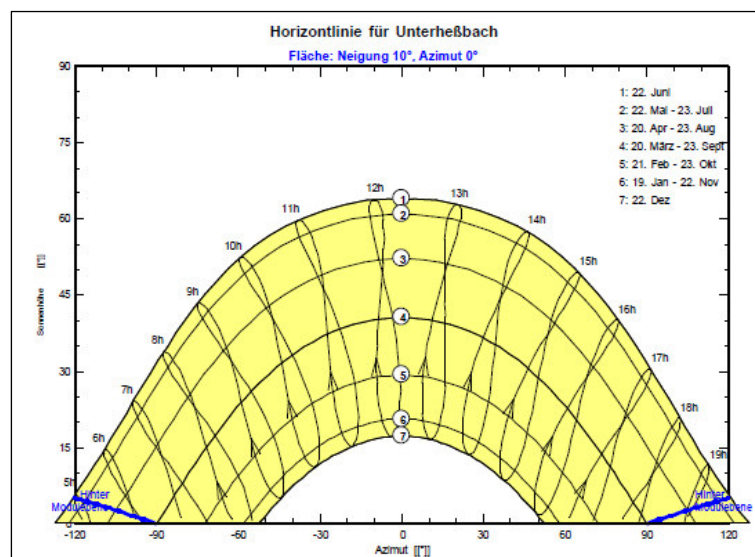


Abbildung 9: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

D.2.2. Ergebnisse der geometrischen Betrachtung

Die nachfolgenden Ergebnisse der geometrischen Betrachtung für die westliche Planfläche gehen von freien Blickbeziehungen aus. Abschattungen durch Bäume, Böschungen etc. sind nicht berücksichtigt.

Bahntrasse

Die Analyse zeigt für die Punkte 1, 2, 4 und 5, dass auf der Bahntrasse keine Lichtimmissionen zu erwarten sind, die von der östlichen Planfläche ausgehen. Hingegen sind Lichtimmissionen im Punkt 3 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen in den frühen Morgenstunden von Ende April bis Mitte August im Zeitraum zwischen 5:24 Uhr bis 6:06 Uhr. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 13 Minuten.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind im nachfolgenden Diagramm Abbildung 10 dargestellt. Laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionschutz (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 Photovoltaikanlage⁸. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

Im Diagramm Abbildung 10 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.

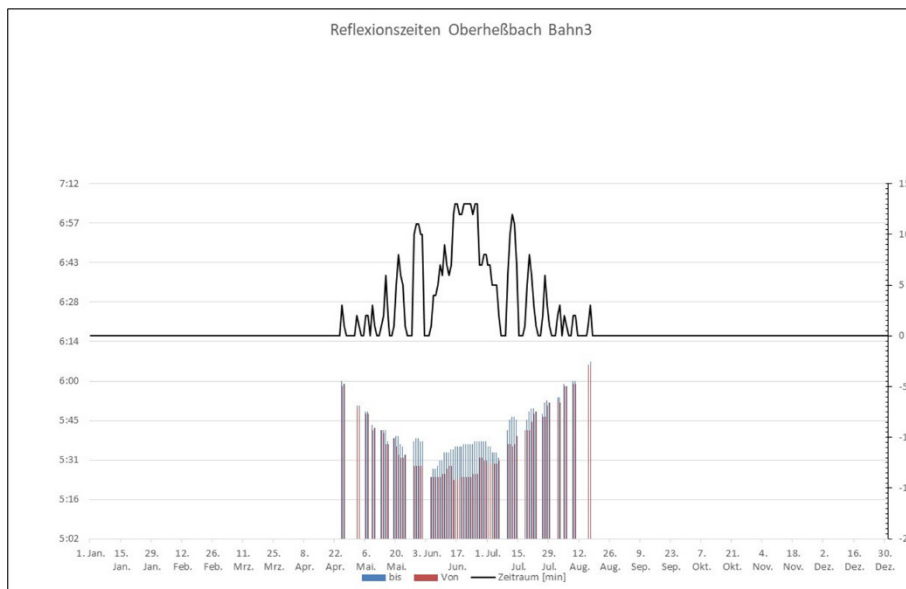


Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer zu Punkt 3 für Emissionen der östlichen Planfläche

Im Sonnenverlaufsdiagramm, in dem der Sonnenverlauf über dem Azimut auf der Abszisse und der Sonnenhöhe auf der Ordinate aufgetragen wird, stellen sich die Zeiten für die Punkte 3 bis 5 mit Lichtimmissionen wie in Abbildung 11 dargestellt dar. Die farbigen Linien geben den Sonnenverlauf an verschiedenen Tagen im Jahr wieder. Die äußere Bahn bezieht sich auf den 22. Juni, während sich die innere Verlaufsbahn auf den 21. Dezember bezieht. Die Zahlen

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

8.2

geben die Uhrzeit wieder, zu dem die Sonne den zugehörigen Punkt erreicht. Die schwarzen Bereiche kennzeichnen die Zeiträume, in denen Lichtmissionen am entsprechenden Immissionspunkt zu erwarten sind.

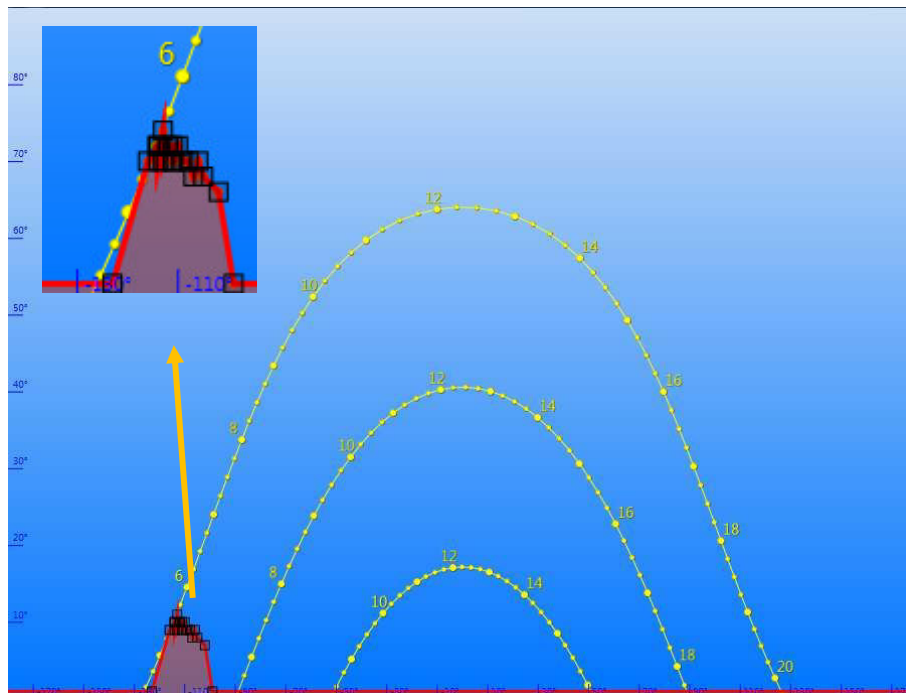


Abbildung 11: Reflexionszeiten zu Punkt 3 im Sonnenverlaufdiagramm für die westliche Planfläche

Die folgende Grafik Abbildung 12 zeigt die spezifischen Bereiche der Photovoltaikanlage, von denen Lichtmissionen für den Punkt 3 ausgehen.

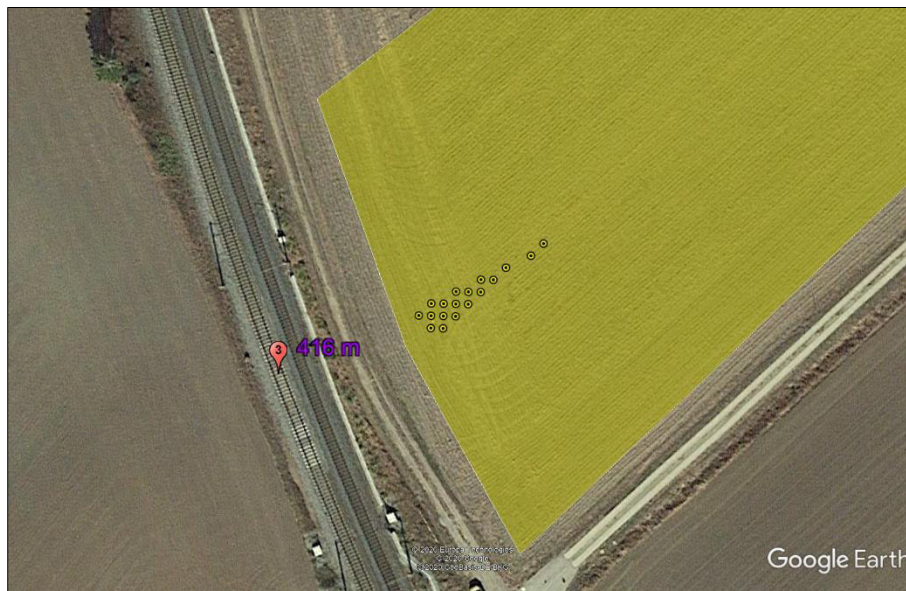


Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt 3 auf der Bahntrasse

Werden Reflexionen, die von verschiedenen Punkten der Planfläche ausgehen, an einem bestimmten Punkt beobachtet, bedeutet dies, dass die Sonne sich örtlich an unterschiedlichen Himmelspositionen, beschrieben durch den Azimut und der Sonnenhöhe, befinden muss. In

Tabelle 2 sind die maximalen und minimalen Azimutwinkel⁹ der Sonne 'Azimut der Sonne' für die Zeiten, zu denen Lichtmissionen in den Untersuchungspunkten auf der Bahntrasse auftreten, dargestellt. Weiterhin dargestellt sind die minimalen und maximalen Azimutwinkel der Vektoren vom Betrachtungspunkt zu den Modulen, 'Azimut Vektor OM' die zu Lichtmissionen im Betrachtungspunkt führen. Ausgangspunkt ist jeweils der Betrachtungspunkt auf der Bahntrasse.

Tabelle 2: Winkelbetrachtungen zu Vektor OS und Vektor OM (N=0°)

Ortspunkt	Azimut Sonne zum Zeitpunkt von Emissionen		Azimut Vektor OM (Orts-punkt zu Modul)		Differenz Azimut Sonne - Azimut Vektor OM		Differenz Vektor OM zum Vektor OS
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Bahn 3	78.3	64.5	76.5	62.9	2.2	1.6	13.5

Die maximale und minimale Winkeldifferenz zwischen dem 'Azimut Vektor OM' und dem 'Azimut der Sonne' in Tabelle 2 ergeben sich aus der Menge der Differenzwerte der Einzelpunkte. Das heißt der Menge, die sich bildet aus den Winkeldifferenzen zwischen 'Azimut Vektor OM' und dem 'Azimut der Sonne' für die einzelnen Zeitpunkte, zu denen Emissionsereignisse festgestellt werden konnten. Zur Ergänzung ist der Winkel zwischen dem Sichtvektor vom Ortspunkt Richtung Modul (Vektor OM) und dem Sichtvektor zur Sonne (Vektor OS) dargestellt.

In Punkt 3 erhält man für den 'Azimut Vektor OM' einen maximalen Bereich der Sichtlinie zu den Photovoltaikmodulen, die zu Lichtmissionen auf dem betroffenen Abschnitt der Bahntrasse führen mit den in Tabelle 2 benannten Grenzvektoren mit einem Azimut, im Folgenden auch Grenzwinkel genannt, von 62,9° und 76,5° (N=0°, O=90°).

Ortsränder

Die Untersuchung der an den Ortsrändern festgelegten Punkte bezogen auf die östlichen Planfläche ergab, dass mit keinen Reflexionen zu rechnen ist, die zu Lichtmissionen an den Ortsränder führen.

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Bahntrasse

Wie in 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° (siehe Kapitel C.3).

Das Sichtfeld der Zugführer ist in Abbildung 13 für Punkt 3 in blau dargestellt. Der obere Kegel gibt das Sichtfeld für Fahrzeuge wieder, die Richtung Norden unterwegs sind, und der untere Kegel das Sichtfeld der Fahrzeugführer mit Fahrtrichtung Süden. Die roten Pfeile geben die Grenzvektoren wieder, die das Vektorfeld der Sichtbeziehung von Punkt 3 in Richtung der

⁹ Der Azimutwinkel gibt die Richtung eines Objektes, hier die Sonne, in der horizontalen Ebene in Bezug einer Ausgangsrichtung, in diesem Fall der Nordrichtung (N=0) wieder.

Module aufspannen, die zu Reflexionen in dem zugehörigen Punkt führen, siehe Tabelle 2 in Kapitel D.2.2.

Es zeigt sich für beide Fahrrichtungen, dass die Module mit Lichtemissionen außerhalb der Sichtbereiche der Fahrzeugführer liegen.

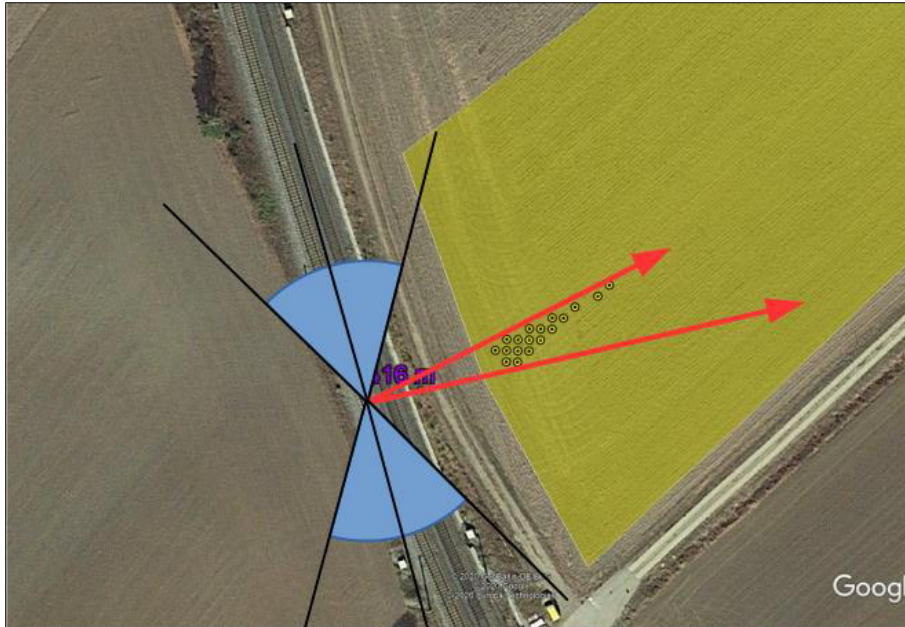


Abbildung 13: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt 3 mit Grenzvektoren in Richtung Module

¹⁰ Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012

E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bahntrasse Ansbach-Würzburg, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Unterhessbach-Ost, Lichtimmissionen von Ende April bis Mitte August in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in etwa zwischen 5:24 Uhr bis 6:06 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 13 Minuten. Bei dieser Betrachtung wurden Ereignisse, bei denen der Differenzwinkel zwischen Reflexionsort und Sonne kleiner 10° beträgt, entsprechend der Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)¹¹ 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 Fahrzeugführer befinden. Eine Wahrnehmung ist nur dann zu erwarten, wenn der Fahrzeugführer den Blick bewusst abwendet, so dass die Blickrichtung sich außerhalb des normalen Sichtkegels befindet. Aus den Ergebnissen der geometrischen Betrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass die Differenz des Azimutwinkels zwischen dem Blickvektor Richtung Sonne und dem Blickvektor Richtung Module mit im Maximum $2,2^\circ$ gering ist. Dies bedeutet, dass ein Hinwenden in Richtung Module einer Hinwendung in Richtung Sonne bedeutet. Entsprechend ist davon auszugehen, dass dies vorsichtig mit entsprechenden Schutzmaßnahmen erfolgt, so dass eine Blendung auszuschließen ist.

Aus diesem Grund ist eine Gefährdung durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Unterhessbach-Ost entstehen, für den Bahnverkehr nicht zu erkennen.

¹¹ Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI); Beschluss der LAI vom 13.09.2012