

Prüfbericht

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Benningen
Auftraggeber:	VenSol
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>87734 Benningen (47.954°N; 10.199°E), Deutschland</u>
Prüfberichtsnummer:	22K3980-PV-BG-Benningen-R00-JBS_LBE-2022
Prüfdatum:	13.06.2022
Verantwortlicher Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt 8.2 Obst & Ziehmann GmbH 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.....	30

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: Kundenseitig bereitgestellter Modulbelegungsplan vom 02.06.2022	15
Abbildung 5: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geeigneten Modul.....	16
Abbildung 6: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	17
Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2	18
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3	19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4	19
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5	20
Abbildung 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 auf der Bahntrasse	21
Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 auf der Bahntrasse	21
Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 auf der Bahntrasse	22
Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 auf der Bahntrasse	22
Abbildung 15: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt O1 im EG	24
Abbildung 16: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt O1 im OG.....	24
Abbildung 17: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O2 im EG	25
Abbildung 18: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O2 im OG	25
Abbildung 19: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O3 im EG	26
Abbildung 20: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O3 im OG	26
Abbildung 21: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A2 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	27
Abbildung 22: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A3 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	28
Abbildung 23: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	28
Abbildung 24: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	29

Tabellenverzeichnis

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

Tabelle 1: Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
22K3980-PV-BG-Benningen- R00-JBS_LBE-2022	Ursprungsversion 13.06.2022

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 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 & 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 im Wesentlichen 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 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 & 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 Memmingen-Kempten, die westlich der Planfläche entlangführt, dem südöstlich liegendem landwirtschaftlichen Anwesen „Riedbauer“ und an der Wohnbebauung Flur-Nr. 469/3 zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	VenSol Marktplatz 2 87727 Babenhausen
Auftragsdatum:	21.04.2022
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Ziehmann GmbH Brandswiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Lennart Behn, B.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	22K3980-PV-BG-Benningen-R00-JBS_LBE-2022

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die westlich vorbeiführende Bahnstrecke Memmingen-Kempten, das südöstlich gelegene landwirtschaftliche Anwesen „Riedbauer“ und die nordwestlich gelegene Wohnbebauung Flur-Nr. 469/3. 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 der beiden Teilflächen
 - o Rückmeldung der Öffentlichkeitsbeteiligung
- Träger der öffentlichen Belange:
 - Landesratsamt Unterallgäu
 - Eisenbahn-Bundesamt
- 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 $N=0^\circ$ beziehen sich auf die Anordnung im Uhrzeigersinn
- Zeitangaben erfolgen mit mitteleuropäischer Zeit (UTC+1)

A.4. Identifikation der Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage Benningen soll im Südwesten der Gemeinde Benningen, östlich der, in diesem Bereich von Südost nach Nordwest führenden, Bahnstrecke Memmingen - Kempten installiert werden.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 170° und 180° ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel von 20° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen. Es sollen drei kristalline Module hochkant übereinander montiert werden. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 3 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 Benningen wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bahntrasse Memmingen - Kempten, dem landwirtschaftlichen Anwesen „Riedbauer“ und der Wohnbebauung Flur-Nr. 469/3 durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass auf der Bahntrasse Lichtimmissionen von März bis September in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer beträgt rund 13 Minuten. Die reflektierenden Module liegen nicht im Sichtfeld der Zugführer. Eine Gefährdung des Bahnverkehrs durch Lichtimmissionen ist nicht erkennbar.

Die Untersuchung des landwirtschaftlichen Anwesens „Riedbauer“ zeigt, dass mit Lichtimmissionen zu rechnen ist. Die maximale Dauer der Lichtimmissionen beträgt 25 Minuten am Tag bzw. in Summe für das gesamte Jahr 25,7 Stunden. Nach den Kriterien der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) stellen die Lichtimmissionen damit keine erhebliche Belästigung dar und sind zu tolerieren.

Die Untersuchung der Wohnbebauung auf Flur-Nr. 469/3 zeigt, dass mit Lichtimmissionen zu rechnen ist. Die maximale Dauer der Lichtimmissionen beträgt 27 Minuten am Tag bzw. in Summe für das gesamte Jahr 29,6 Stunden. Nach den Kriterien der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) stellen die Lichtimmissionen damit keine erhebliche Belästigung dar und sind zu tolerieren.

Hamburg, 13. Juni 2022



Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt



Lennart Behn, B.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 30 Seiten und ist bis Ende 2032 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 Bahntrasse, das landwirtschaftliche Anwesen „Riedbauer“ und die Wohnbebauung auf Flur-Nr. 469/3 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 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.

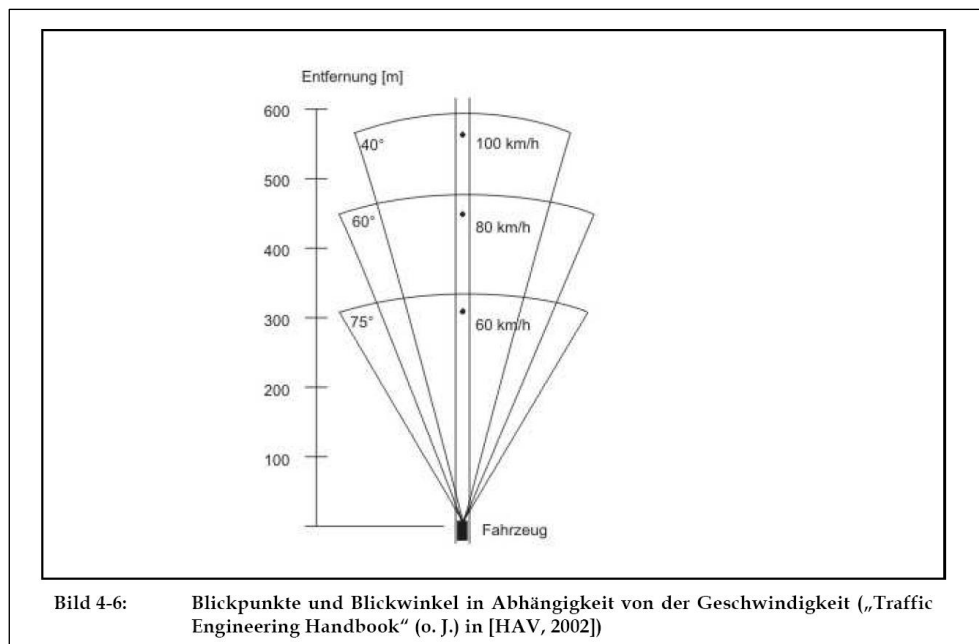


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit³

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.

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

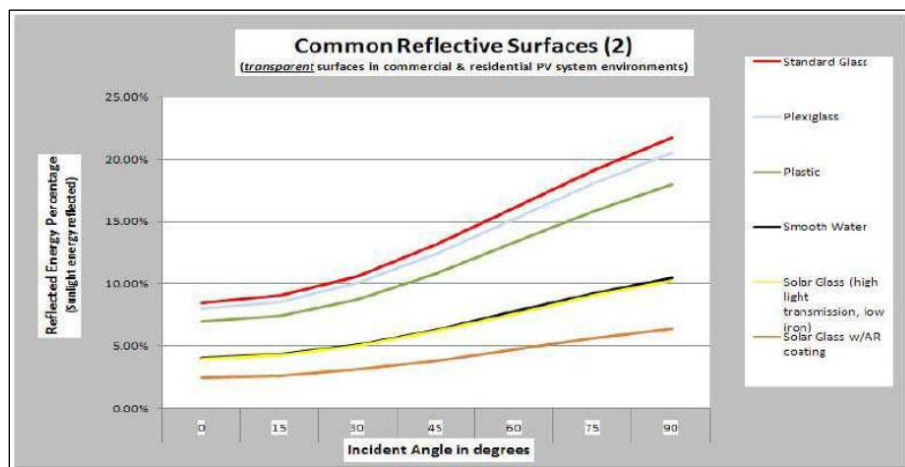


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel⁴

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 Sonne⁵ rund $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$. Die Leuchtdichte der Reflexion der Sonne am Modul beträgt damit um $0,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$.

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

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 östlich der Regionalbahnstrecke Memmingen-Kempten, südwestlich der Gemeinde Benningen. Das Höhengniveau der Bahntrasse über Normalhöhengnull (NHN) beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 611 m und 615 m. Das Höhengniveau im Bereich des landwirtschaftlichen Anwesens „Riedbauer“ beträgt 613 m. Die Bebauung besteht aus einer Mischung aus landwirtschaftlichen Anwesen mit Wohngebäuden und Wirtschaftsgebäuden. Das Höhengniveau der Wohnbebauung auf Flur-Nr. 469/3 über NHN beträgt im Untersuchungsbereich 612 m. Das Höhengniveau der Planfläche variiert zwischen 610 m im Norden und 613 m im Süden, siehe Abbildung 3.



Abbildung 3: Google Earth ©2022 Lageplan der Planfläche

⁶ ©2020 Google, ©2020 GeoBasis-DE/BKG

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>

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 170° im gelb markierten Feld und 180° im blau markierten Feld ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel von 20° ausgerichtet, siehe Abbildung 3 und Abbildung 4. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden beträgt 0,8 m. Die maximale Höhe der Gestelle beträgt laut Planung rund 3 m.



Abbildung 4: Kundenseitig bereitgestellter Modulbelegungsplan vom 02.06.2022

D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bahntrasse bzw. an den Ortsrändern repräsentative Punkte festgelegt. Über die Planfläche wird ein Netz mit einer Gitterweite von 5 m gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bahntrasse werden die Punkte A1 bis A6 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 3.

Für die exemplarische Betrachtung der Wohnbebauung werden Punkte gewählt, bei denen ersichtlich ist, dass es sich um Wohnbebauung handeln könnte.

Die Betrachtung für die Wohnbebauung erfolgt exemplarisch für die Punkte O1 bis O3.

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 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. 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 den Gebäuden zu den Punkten auf der Photovoltaikfläche der Ort einer Lichtquelle (Emissionsort) ermittelt, der zu Lichtimmissionen führt. Der Emissionsort wird definiert durch Azimut α und Höhenwinkel h° . Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der berechneten Emissionsorte mit dem Sonnenstand im Jahresverlauf verglichen.

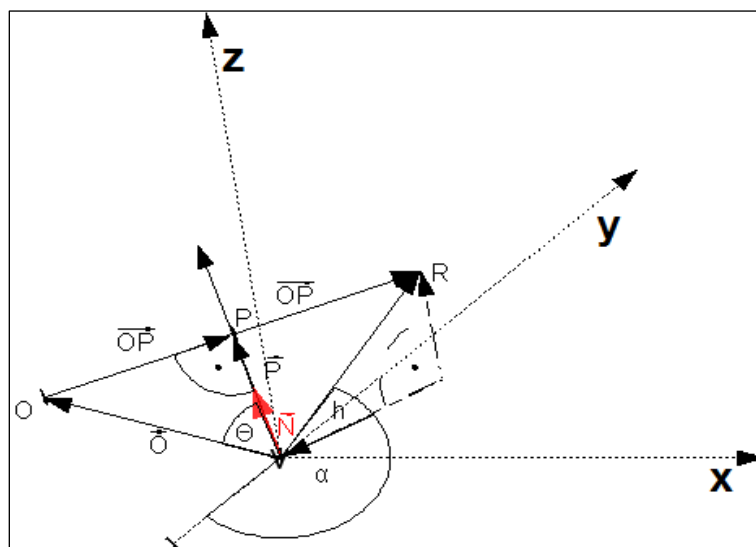


Abbildung 5: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 5. 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 6, 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° .

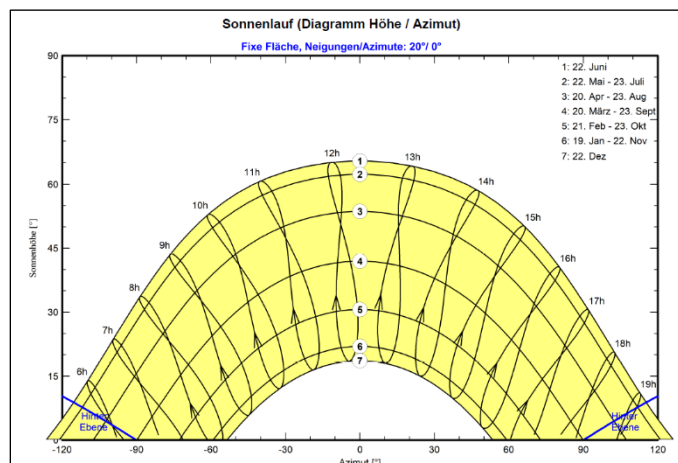


Abbildung 6: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

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]
Neigungswinkel 15° Azimut 180° (N=0°)				
A1	Keine Reflexionen			
A2	von 15. Apr bis 27. Aug	06:08 - 06:26	7	11.4
A3	von 26. Mrz bis 16. Sep	05:42 - 07:19	13	19.4
A4	von 26. Mrz bis 16. Sep	06:10 - 07:19	10	14.9
A5	von 26. Mrz bis 16. Sep	06:11 - 08:19	13	13.0
A6	Keine Reflexionen			
O1 EG	von 19. Apr bis 23. Aug	18:10 - 18:39	10	13.6
O1 OG	von 28. Mrz bis 14. Sep	17:51 - 18:35	25	25.7
O2 EG	von 25. Mrz bis 17. Sep	05:40 - 06:49	16	12.8
O2 OG	von 11. Mrz bis 01. Okt	05:44 - 07:33	27	27.2
O3 EG	von 17. Apr bis 25. Aug	05:38 - 06:26	15	14.7
O3 OG	von 09. Mrz bis 02. Okt	05:42 - 07:10	23	29.6

Bahntrasse

Die Analyse zeigt für die Punkte A1 und A6, dass auf der Bahntrasse keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Hingegen sind Lichtimmissionen in den Punkten A2 bis A5 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen morgens in den Punkten A2 bis A5 von März bis September zwischen 05:42 bis 08:19 Uhr. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 13 Minuten am Tag und 19,4 Stunden im Jahr.

8.2

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 7 bis Abbildung 10 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 Photovoltaikanlage⁸. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

In den Diagrammen Abbildung 7 bis 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.

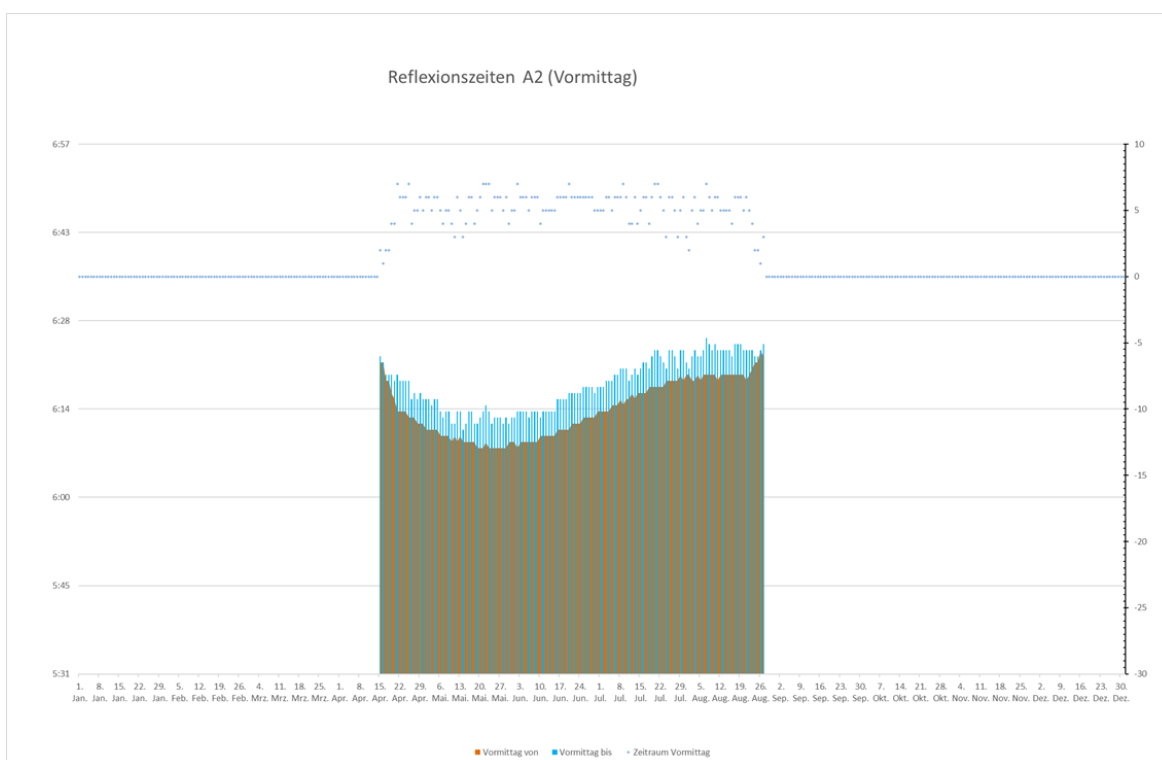


Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2

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

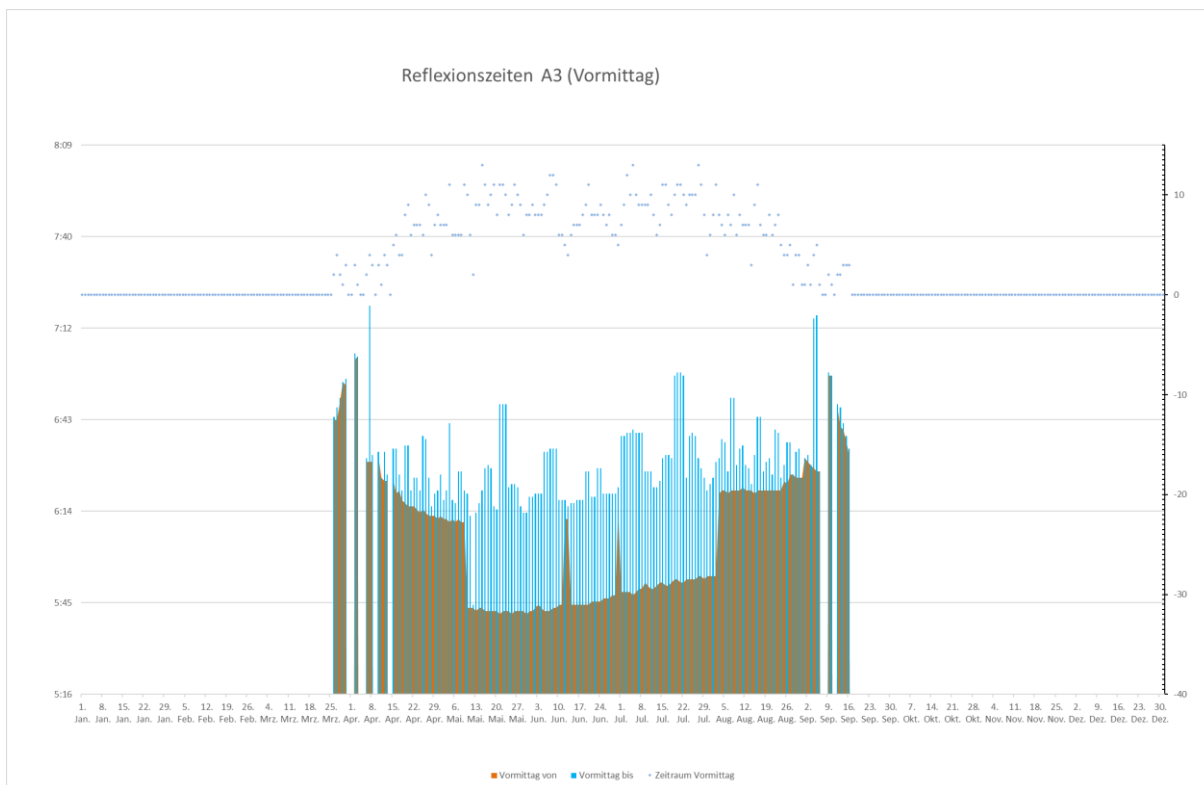


Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3

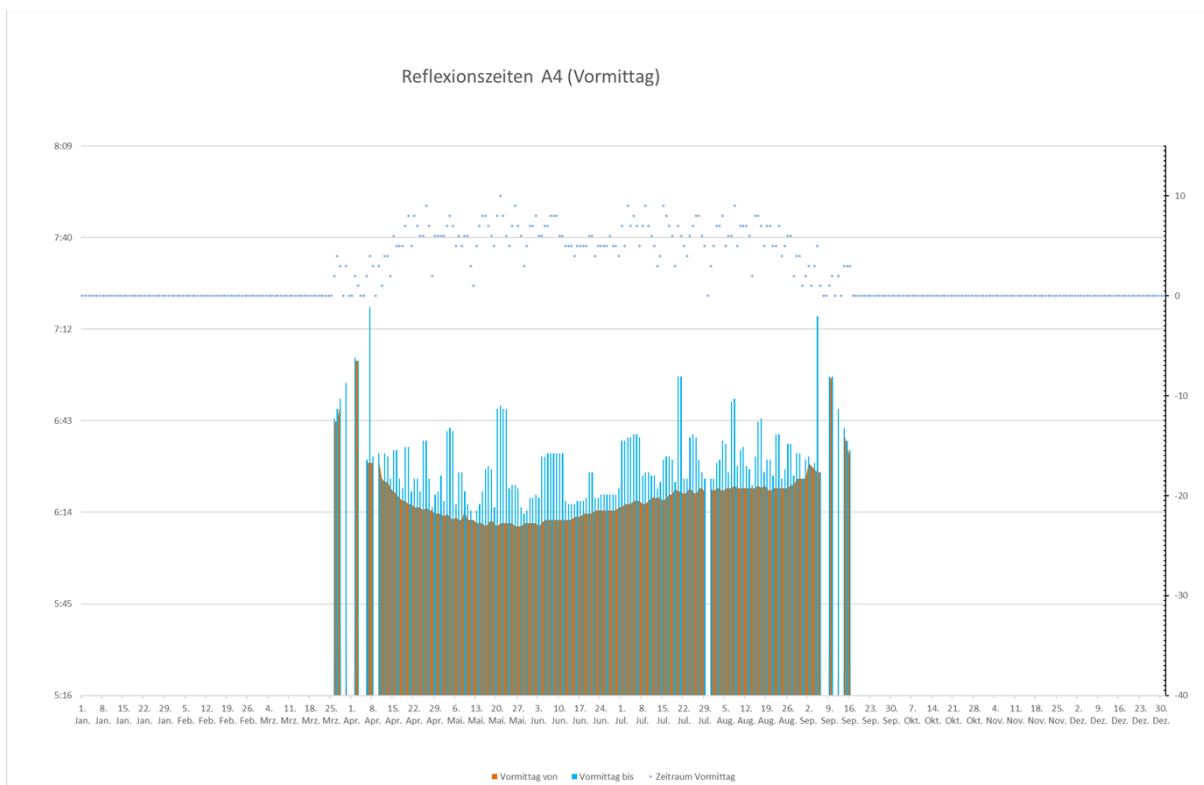


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4

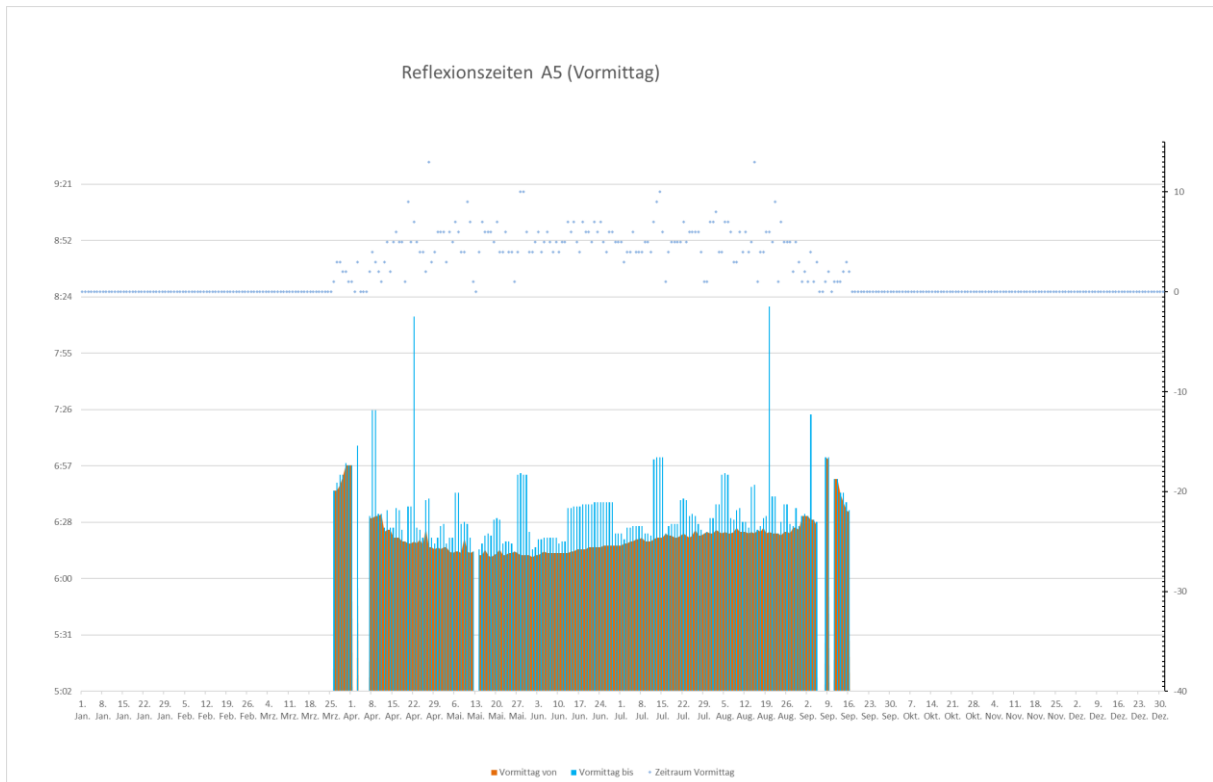


Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5

Die folgenden Grafiken Abbildung 11 bis Abbildung 13 zeigen die spezifischen Bereiche der Photovoltaikanlage, von denen Lichtemissionen für die Punkte A2 bis A5 ausgehen. Die blauen und gelben Flächen stellen 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 11: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 auf der Bahntrasse

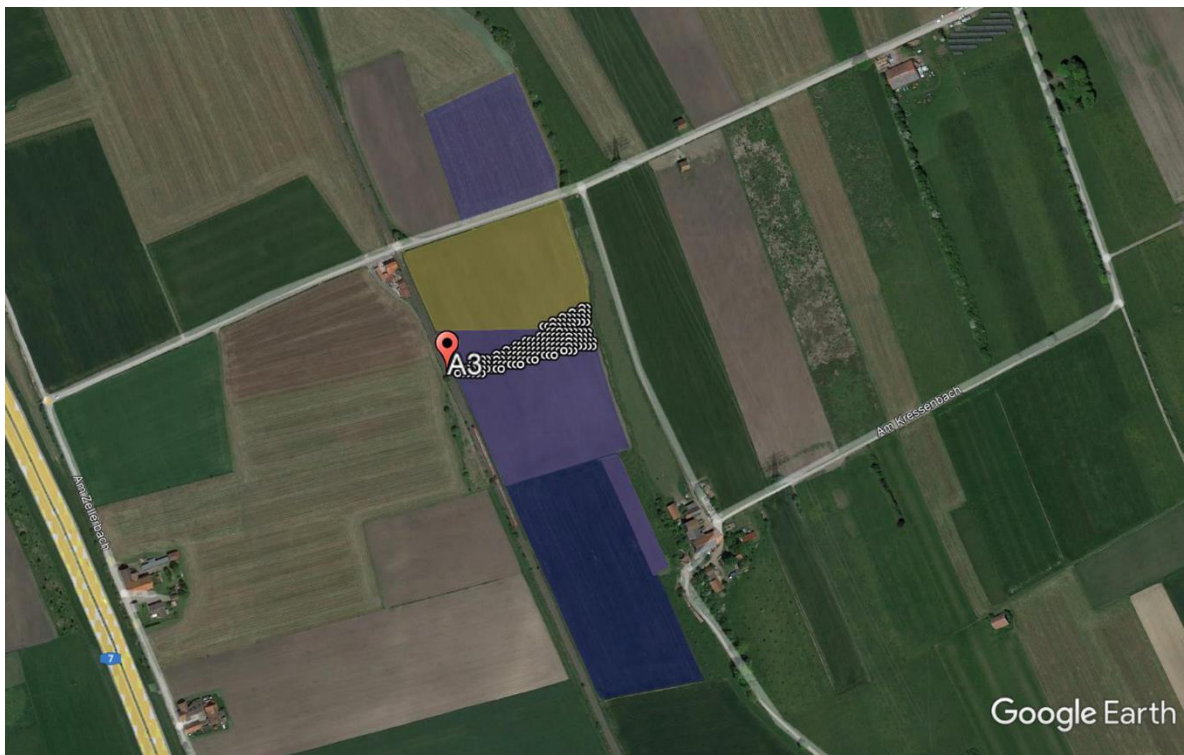


Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 auf der Bahntrasse



Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 auf der Bahntrasse

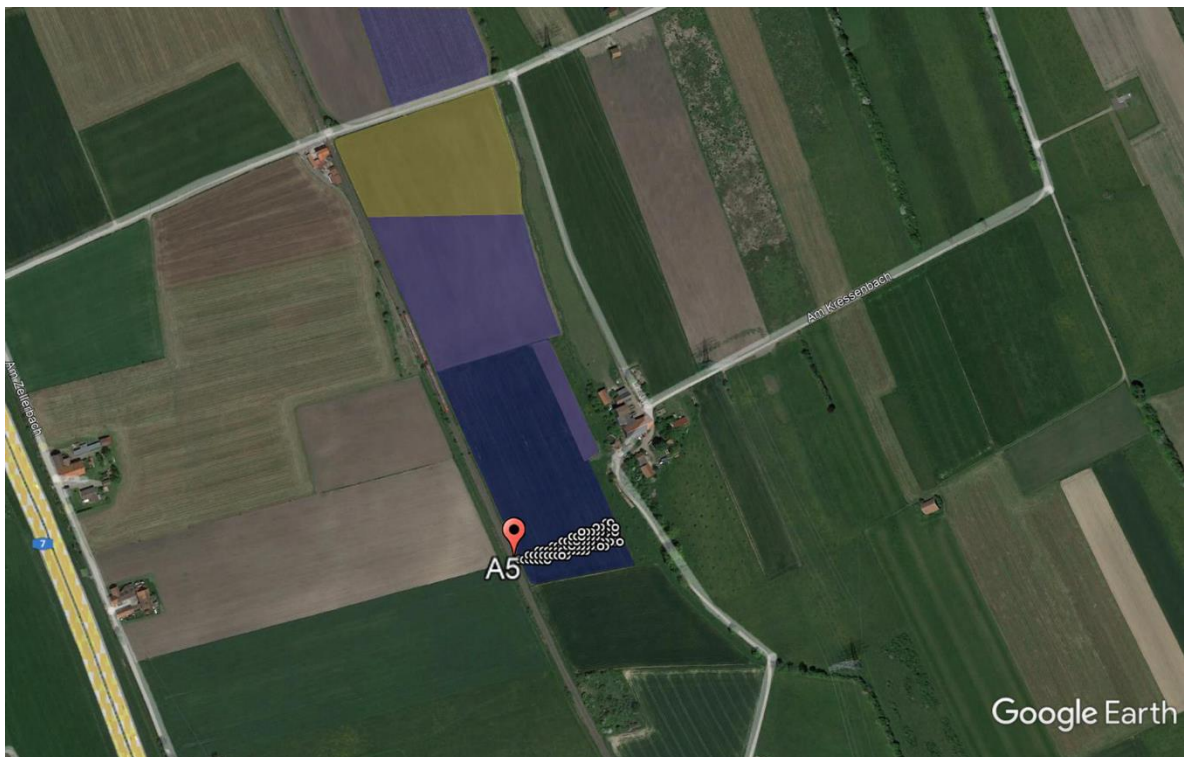


Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 auf der Bahntrasse

Ortsränder

Die Untersuchung des landwirtschaftlichen Anwesens „Riedbauer“ an dem definierten Punkt O1 ergab, dass mit Reflexionen zu rechnen ist.

Im Punkt O1 im Erdgeschoss sind Lichtimmissionen von Mitte April bis Ende August zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Abendstunden zwischen 18:10 und 18:39 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 10 Minuten am Tag und summiert sich auf 13,6 h im Jahr. Im Obergeschoss des Punktes O1 sind Lichtimmissionen von Ende März bis Mitte September zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Nachmittag- und Abendstunden zwischen 17:51 und 18:35 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 25 Minuten am Tag und summiert sich auf 25,7 h im Jahr.

Die Untersuchung der Wohnbebauung auf Flur-Nr. 469/3 an den definierten Punkten O2 und O3 ergab, dass mit Reflexionen zu rechnen ist.

Im Punkt O2 im Erdgeschoss sind Lichtimmissionen von Ende März bis Mitte September zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Morgenstunden zwischen 05:10 und 06:49 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 16 Minuten am Tag und summiert sich auf 12,8 h im Jahr. Im Obergeschoss des Punktes O2 sind Lichtimmissionen von Mitte März bis Anfang Oktober zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Morgenstunden zwischen 05:44 und 07:33 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 27 Minuten am Tag und summiert sich auf 27,2 h im Jahr.

Im Punkt O3 im Erdgeschoss sind Lichtimmissionen von Mitte April bis Ende August zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Morgenstunden zwischen 05:38 und 06:26 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 15 Minuten am Tag und summiert sich auf 14,7 h im Jahr. Im Obergeschoss des Punktes O3 sind Lichtimmissionen von Anfang März bis Anfang Oktober zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten in den Morgenstunden zwischen 05:42 und 07:10 auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 23 Minuten am Tag und summiert sich auf 29,6 h im Jahr.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen, siehe Abbildung 15 und Abbildung 16, dargestellt.

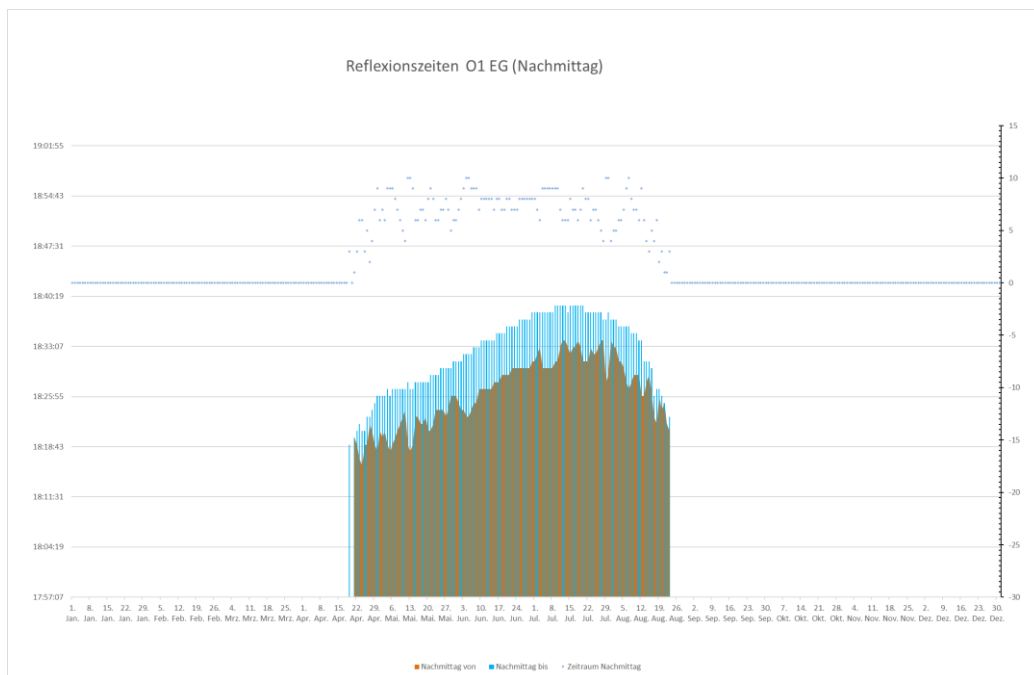


Abbildung 15: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt O1 im EG

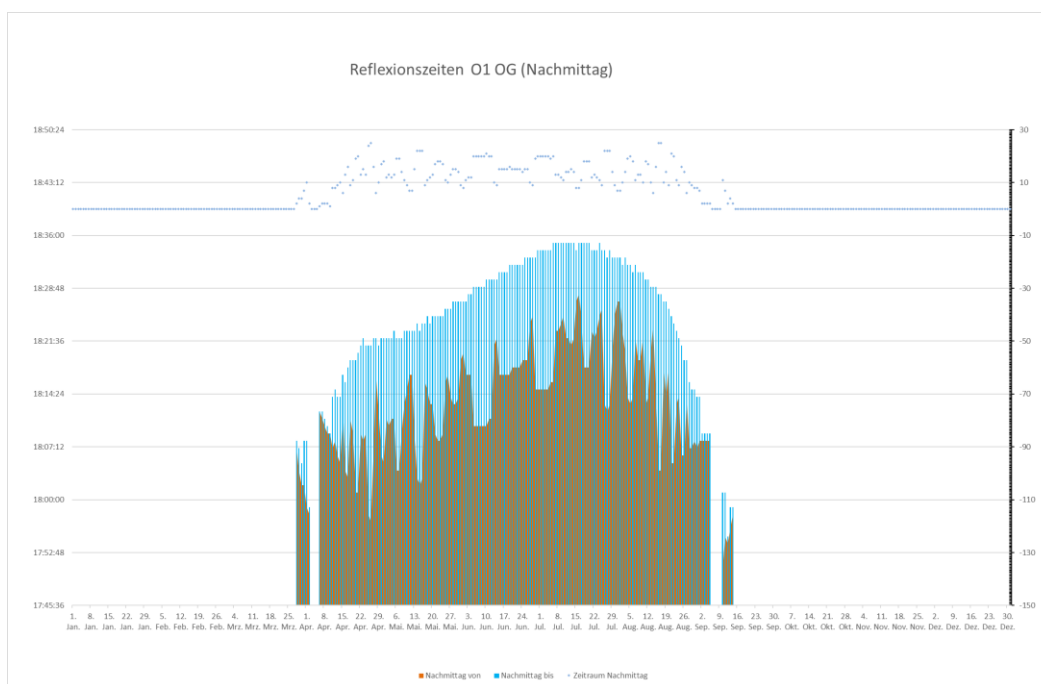


Abbildung 16: Reflexionszeiten und Dauer am Nachmittag zu Punkt O1 im OG

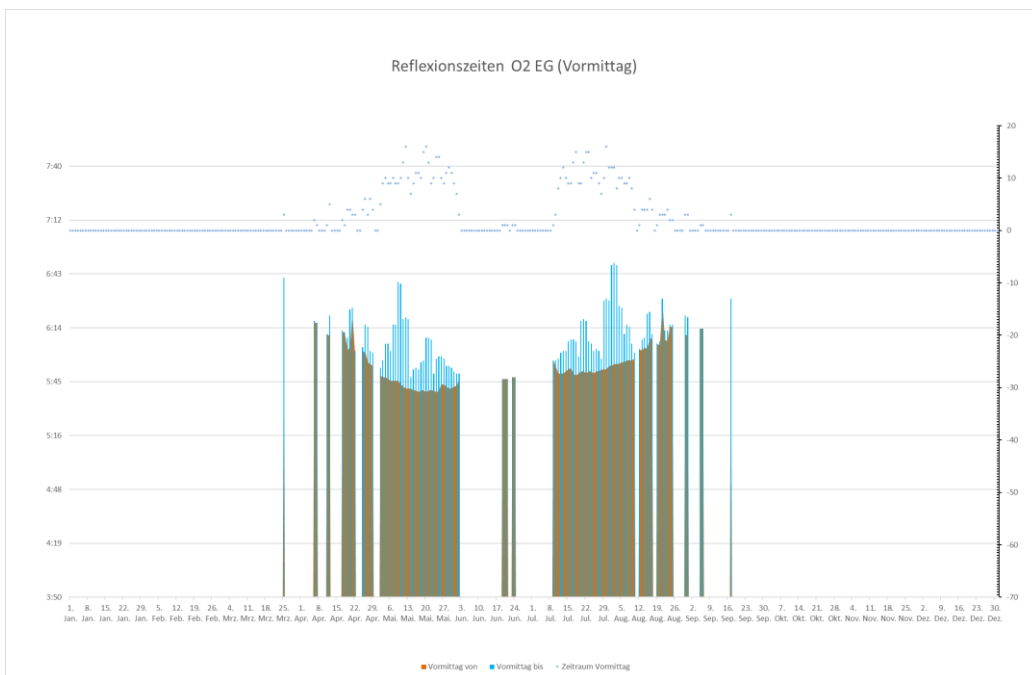


Abbildung 17: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O2 im EG

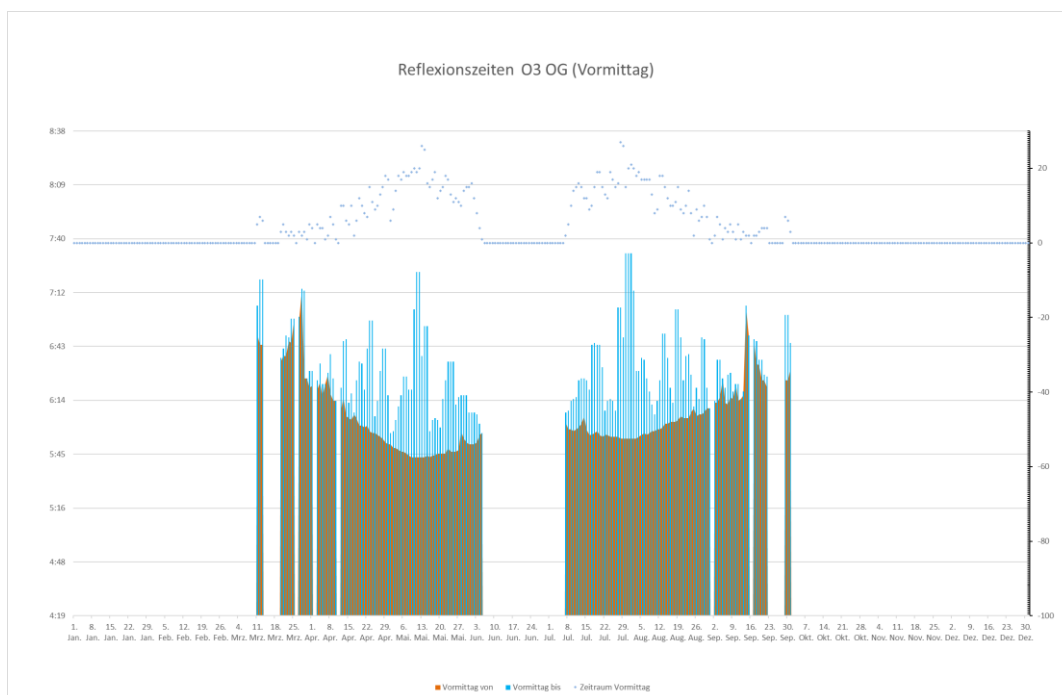


Abbildung 18: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O2 im OG

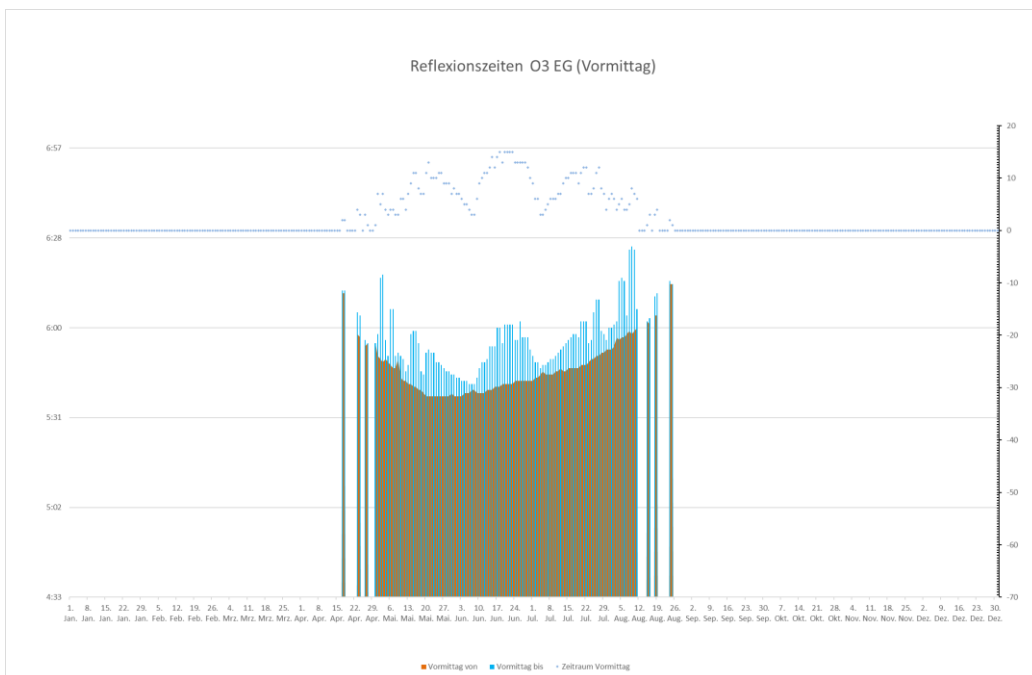


Abbildung 19: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O3 im EG

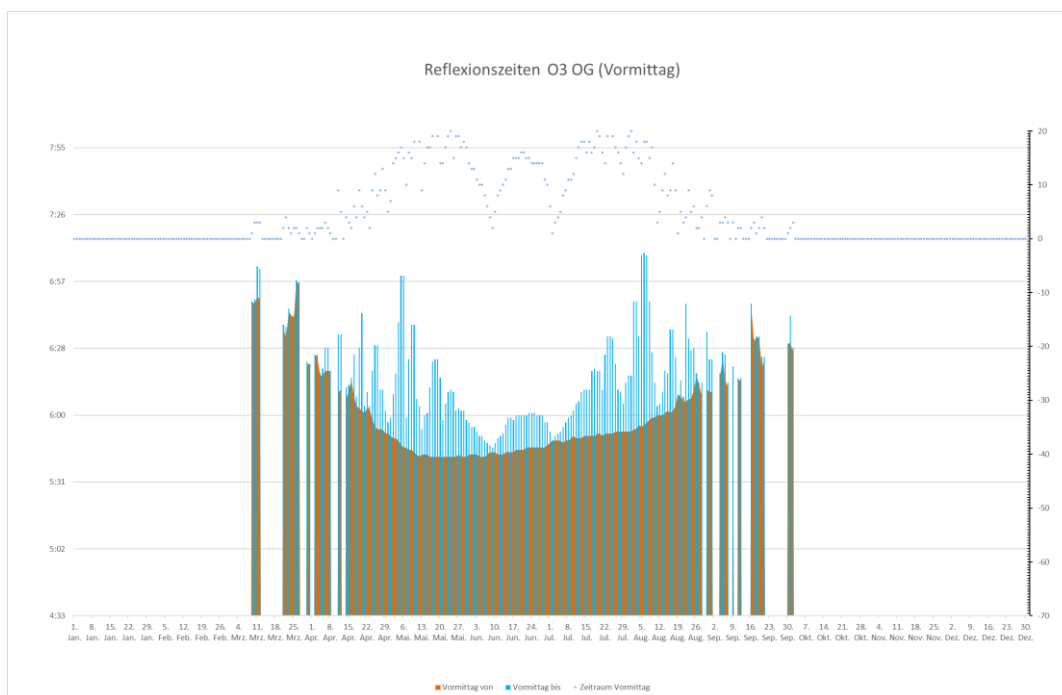


Abbildung 20: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt O3 im OG

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Bahntrasse

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° .

Das Sichtfeld der Zugführer ist in Abbildung 21 bis Abbildung 23 für die Punkte A2 bis A5 dargestellt. Das Sichtfeld des Zugführers 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 Züge 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 Fahrzeugführer liegen.



Abbildung 21: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A2 mit Grenzvektoren in Richtung Module



Abbildung 22: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A3 mit Grenzvektoren in Richtung Module



Abbildung 23: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module



Abbildung 24: Vergleich Sichtfeld Zugführer für Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module

Ortsrand und Wohnbebauung

Laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)⁹ ist ein bestimmtes Maß an Lichtimmissionen, die durch Reflexionen entstehen, tolerierbar. Ist die maximale astronomisch mögliche Dauer pro Tag auf 30 Minuten begrenzt und werden im Kalenderjahr 30 Stunden nicht überschritten, liegt nach LAI keine erhebliche Belästigung vor.

Für das landwirtschaftliche Anwesen „Riedbauer“ stellen die Lichtimmissionen nach LAI keine erhebliche Belästigung dar, da die maximal mögliche Dauer pro Ereignis 25 Minuten beträgt und maximal an 25,7 Stunden im Kalenderjahr Lichtimmissionen wahrgenommen werden können.

Für die Wohnbebauung auf der Flur-Nr. 469/3 stellen die Lichtimmissionen nach LAI keine erhebliche Belästigung dar, da die maximal mögliche Dauer pro Ereignis 27 Minuten beträgt und maximal an 29,6 Stunden im Kalenderjahr Lichtimmissionen wahrgenommen werden können.

⁹ 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 Memmingen - Kempten, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Benningen, Lichtimmissionen von März bis September in den Morgenstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in den Morgenstunden etwa zwischen 05:42 Uhr bis 08:19 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 13 Minuten pro Tag. 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)¹⁰ 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 Zugführer den Blick bewusst abwendet, so dass die Blickrichtung sich außerhalb des normalen Sichtkegels befindet.

Aus diesem Grund ist eine Störung durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Benningen entstehen, für den Bahnverkehr nicht zu erkennen.

Die Analyse der Lichtemissionen für das landwirtschaftliche Anwesen „Riedbauer“ zeigt, dass an den Gebäudeseiten, die der Photovoltaikanlage zugewendet sind, Lichtimmissionen zu erwarten sind. Nach den Richtlinien der LAI liegt keine erhebliche Belästigung vor, da die zu tolerierenden Zeiträume mit maximal 25 Minuten am Tag und maximal 25,7 Stunden im Jahr eingehalten werden.

Die Analyse der Lichtemissionen für die Wohnbebauung auf Flur-Nr. 469/3 zeigt, dass Lichtimmissionen zu erwarten sind. Nach den Richtlinien der LAI liegt keine erhebliche Belästigung vor, da die zu tolerierenden Zeiträume mit maximal 27 Minuten am Tag und maximal 29,6 Stunden im Jahr eingehalten werden.

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