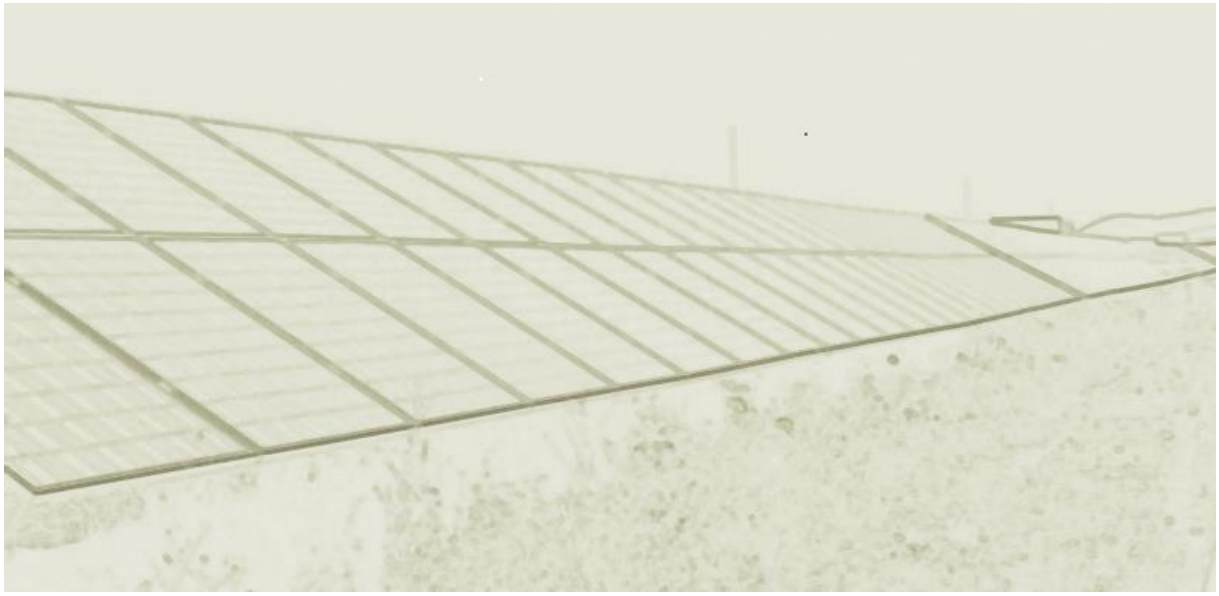
8.2



P r ü f b e r i c h t

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Gachenbach
Auftraggeber:	Greenovative 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 sowie für Baugenehmigungsverfahren.
Standort, Land:	86556 Kühbach, Deutschland
Prüfberichtsnummer:	24K5884-PV-BG-Gachenbach-R00-JBS_LBE-2024
Prüfdatum:	27.02.2024
Verantwortlicher Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt 8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg Tel: +49 (0)40 / 18 12 604-22 E-Mail: joerg.behrschmidt@8p2.de

8.2

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 33

vertraulich! © Copyright 8.2

Bildverzeichnis

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit 12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel 13
Abbildung 3: Google Earth ©2024 Lageplan der Planfläche 14
Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul 15
Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs 16
Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 15° 18
Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 15° 18
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 15° 19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 15° 19
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 18° 20
Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 18° 20
Abbildung 12: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 18° 21
Abbildung 13: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 18° 21
Abbildung 14: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 20° 22
Abbildung 15: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 20° 22
Abbildung 16: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 20° 23
Abbildung 17: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 20° 23
Abbildung 18: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 15° 24
Abbildung 19: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 15° 24
Abbildung 20: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 15° 25
Abbildung 21: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 15° 25
Abbildung 22: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 18° 26
Abbildung 23: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 18° 26
Abbildung 24: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 18° 27
Abbildung 25: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 18° 27
Abbildung 26: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 20° 28
Abbildung 27: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 20° 28
Abbildung 28: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 20° 29
Abbildung 29: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 20 29
Abbildung 30: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A2 mit Grenzvektoren in Richtung Module 30
Abbildung 31: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A3 mit Grenzvektoren in Richtung Module 31
Abbildung 32: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module 31
Abbildung 33: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module 32

Tabellenverzeichnis

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

vertraulich! © Copyright 8.2

Tabelle 1: Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
24K5884-PV-BG-Gachenbach-R00-JBS_LBE-2024	Ursprungsversion 27.02.2024

vertraulich! © Copyright 8.2

I. Inhalt und Nutzung des Berichts

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

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

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

II. Ergänzende Informationen zu Haftungsausschlüssen

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

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

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

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

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

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

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

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

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

vertraulich! © Copyright 8.2

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

vertraulich! © Copyright 8.2

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 Bundesstraße B300, welche nordwestlich der Planfläche verläuft, zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	Greenovative GmbH Fürther Straße 252 90429 Nürnberg
Auftragsdatum:	18.01.2024
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Lennart Behn, B.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	24K5884-PV-BG-Gachenbach-R00-JBS_LBE-2024

vertraulich! © Copyright 8.2

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die nordwestlich der Anlage vorbeiführende Bundesstraße B300. 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
  - Modulbelegungsplan
  - Schriftliche Angaben zur Modulausrichtung und dem Tischaufbau der beiden Teilflächen
  - 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 Earth[1]
- Daten der Online-Plattform „BayernAtlas“[2]

Hinweise:

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

A.4. Identifikation der Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage Gachenbach soll westlich der Gemeinde Gachenbach, östlich der, an dieser Stelle von Süden nach Nordosten verlaufenden, Bundesstraße B300 errichtet werden.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° (N=0°) ausgerichtet. Die Untersuchung wird für die Modulneigungswinkel von 15° / 18° / 20° durchgeführt. 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 beträgt etwa 3,2 Meter, je nach Modulneigung.

[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

vertraulich! © Copyright 8.2

B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Gachenbach wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bundesstraße B300 durchgeführt.

Die Untersuchung der Bundesstraße B300 zeigt, dass von Anfang März bis Mitte Oktober Lichtimmissionen in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Die reflektierenden Module liegen nicht im Sichtfeld der Fahrzeugführer. Eine Gefährdung des Straßenverkehrs ist nicht erkennbar. Dies gilt für alle untersuchten Modulneigungswinkel.

Hamburg, 27. Februar 2024





Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Lennart Behn, B.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 33 Seiten und ist bis Ende 2034 in der 8.2 Obst & Hamm GmbH hinterlegt (Dokumentationsfrist).

vertraulich! © Copyright 8.2

C. Grundlage

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sind die Lichtemissionen in Form von Reflexionen an den Modulen zu untersuchen und deren Auswirkungen auf die Bundesstraße B300 zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter, bei Fahrzeugführern unter Beachtung derer Blickwinkel.

C.1. Blend- und Störwirkung von reflektiertem Sonnenlicht

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

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

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

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

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

vertraulich! © Copyright 8.2

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 Bundesstraße 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 eingestrahlten 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.

vertraulich! © Copyright 8.2

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“[3]. Aus Bild 2-6 der Ausführungen leiten sich die Öffnungswinkel des Sehfeldes in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ab, siehe nachfolgende Grafik in Abbildung 1.

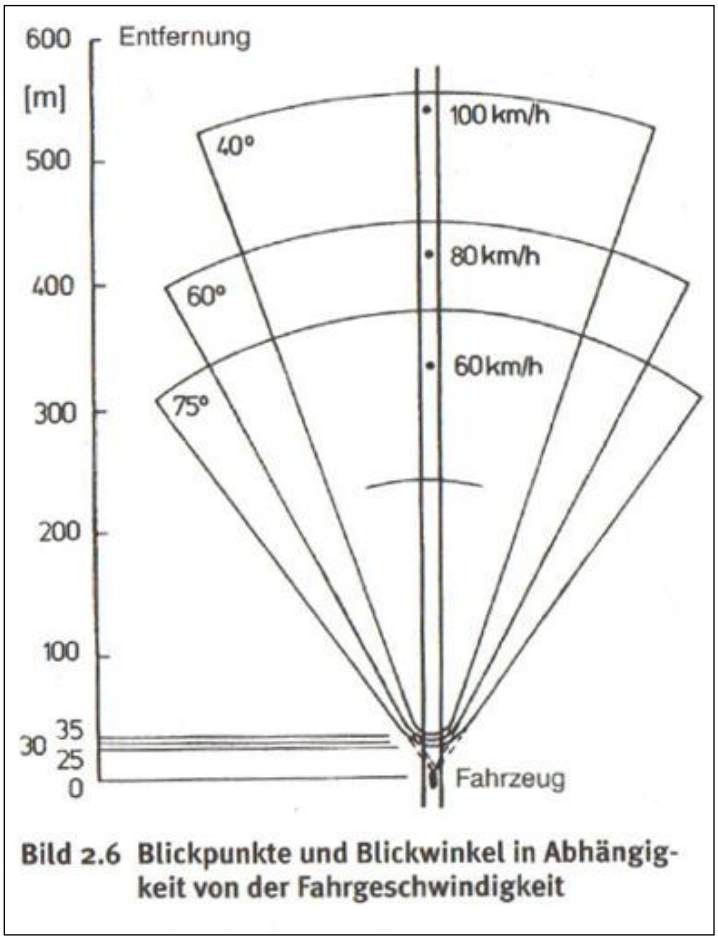


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit[3]

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] „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

vertraulich! © Copyright 8.2

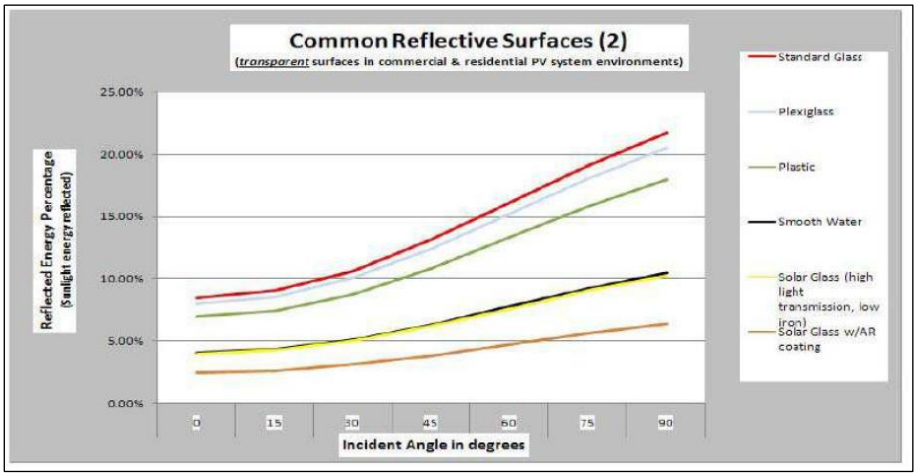


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel[4]

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[5] rund $6 \cdot 10^6$ cd/m². Die Leuchtdichte der Reflexion der Sonne am Modul beträgt damit um $0{,}6 \cdot 10^6$ cd/m².

[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)

vertraulich! © Copyright 8.2

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[6] sowie der Online-Plattform „BayernAtlas“[7].

Die Planfläche selbst liegt östlich der Bundesstraße B300, westlich der Gemeinde Gachenbach. Das Höhenniveau der Bundesstraße über Normalhöhennull (NHN) beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 473 m und 484 m. Das Höhenniveau der Planfläche variiert zwischen 475 m und 480 m, siehe Abbildung 3.

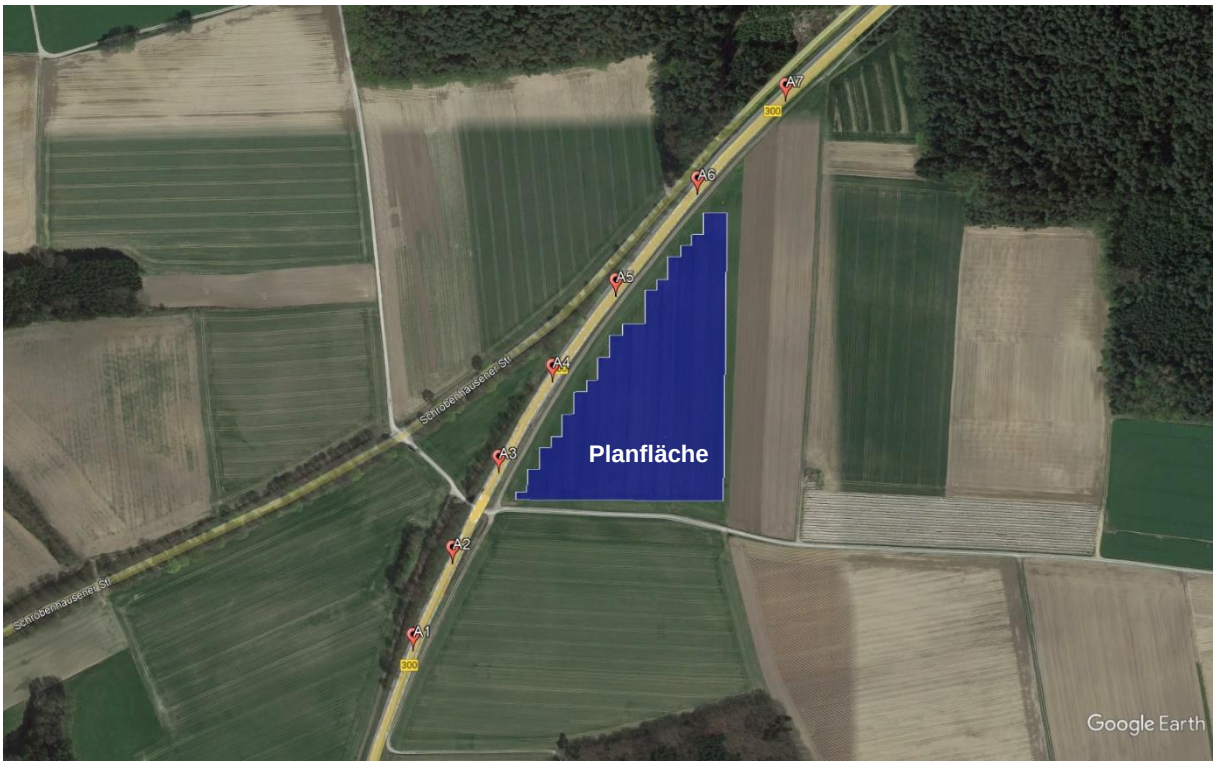


Abbildung 3: Google Earth ©2024 Lageplan der Planfläche

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° (N=0°) und den Neigungswinkeln 15° / 18° / 20° 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 etwa 3,2 Meter, je nach Modulneigung.

[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

vertraulich! © Copyright 8.2

D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Bundesstraße repräsentative Punkte festgelegt. Über die Planfläche wird ein Netz mit einer Gitterweite von 4 m gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bundesstraße werden die Punkte A1 bis A7 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 3.

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

D.2. Geometrische Betrachtung

D.2.1. Grundlage

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

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

Die Bewertung der Lichtemissionen des Solarparks erfolgt in zwei Schritten. In Schritt 1 wird für die Punkte auf der Bundesstraße 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.

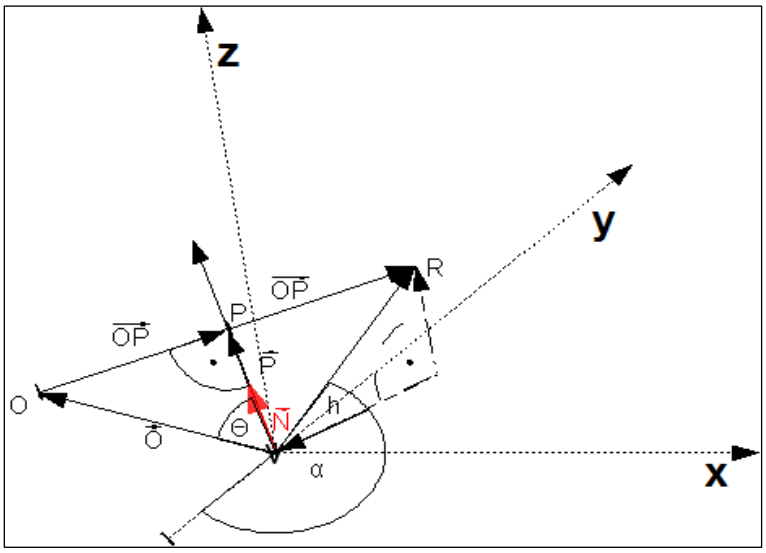


Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

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 bezeich-

vertraulich! © Copyright 8.2

net den Ort der zugehörigen Lichtemission. Punkt P ist der Schnittpunkt des Verbindungsvektors zwischen O und R mit dem Lot auf die Modulfläche („Flächennormale“). Für die unterschiedlichen Ortsbeziehungen („Ort außerhalb der Photovoltaikfläche“ zu “Ort in der Fläche“) ergeben sich unterschiedliche Emissionsorte, die in der Sonnenbahn, siehe Abbildung 5, oder außerhalb dieser liegen können. Außerhalb der im Diagramm dargestellten blauen Linien befindet sich die Sonne „hinter“ den Modulen, so dass keine Reflexion erfolgen kann. Der relevante Sonnenverlauf reicht somit im Azimut von -118° bis +118° und für den Höhenwinkel h von 0° bis 65°.

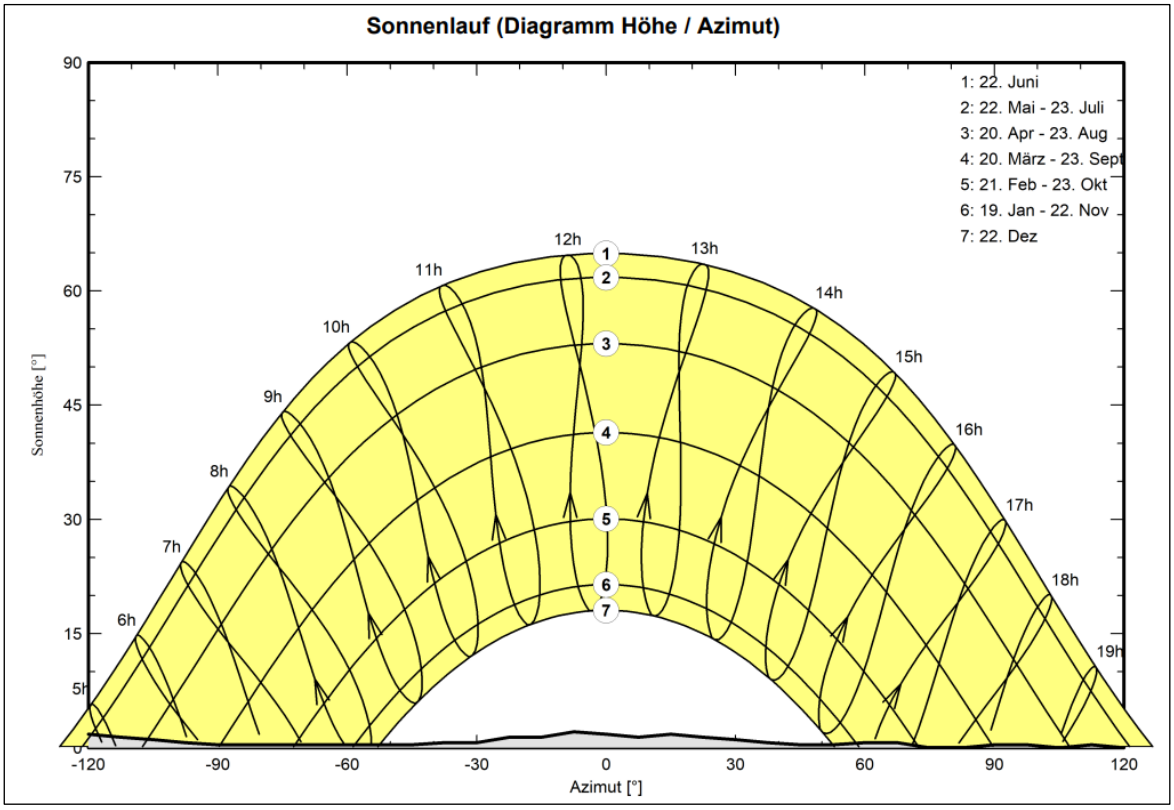


Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

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.

vertraulich! © Copyright 8.2

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 30. Apr bis 11. Aug	05:43 - 06:05	7	9
A3	von 04. Mrz bis 08. Okt	05:42 - 07:16	18	31
A4	von 15. Apr bis 27. Aug	05:43 - 06:17	12	16
A5	von 08. Apr bis 04. Sep	05:43 - 06:25	12	15
A6	Keine Reflexionen			
A7	Keine Reflexionen			
Neigungswinkel 18° Azimut 180° (N=0°)				
A1	Keine Reflexionen			
A2	von 28. Apr bis 14. Aug	05:54 - 06:12	7	9
A3	von 01. Mrz bis 11. Okt	05:53 - 07:14	18	32
A4	von 04. Apr bis 08. Sep	05:54 - 06:29	11	17
A5	von 06. Apr bis 06. Sep	05:54 - 06:28	11	17
A6	Keine Reflexionen			
A7	Keine Reflexionen			
Neigungswinkel 20° Azimut 180° (N=0°)				
A1	Keine Reflexionen			
A2	von 29. Apr bis 13. Aug	06:00 - 06:17	7	9
A3	von 18. Mrz bis 13. Okt	06:00 - 07:02	18	32
A4	von 04. Apr bis 08. Sep	06:00 - 06:31	11	17
A5	von 05. Apr bis 07. Sep	06:01 - 06:31	12	18
A6	Keine Reflexionen			
A7	Keine Reflexionen			

Bundesstraße

Die Untersuchung der Bundesstraße B300 in den definierten Punkten ergab, dass mit Reflexionen nur an den Punkten A2 bis A5 zu rechnen ist.

Auf der Bundesstraße sind Lichtimmissionen von Anfang März bis Mitte Oktober zu erwarten. Die Lichtimmissionen treten, je nach Modulneigung, in den Morgenstunden zwischen 05:42 Uhr und 07:16 Uhr auf. Die Dauer beläuft sich im Maximum auf 18 Minuten am Tag und summiert sich auf 32 Stunden im Jahr.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen, siehe Abbildung 6 bis Abbildung 17, dargestellt.

vertraulich! © Copyright 8.2

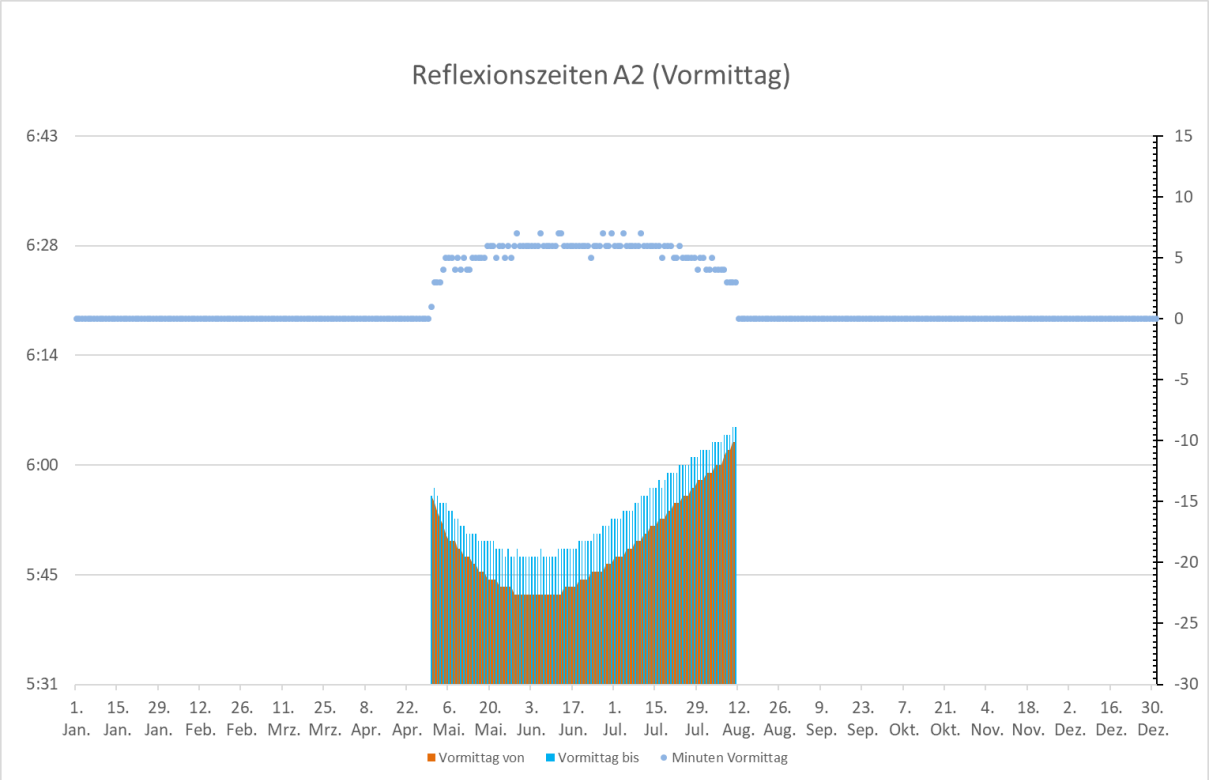


Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 15°

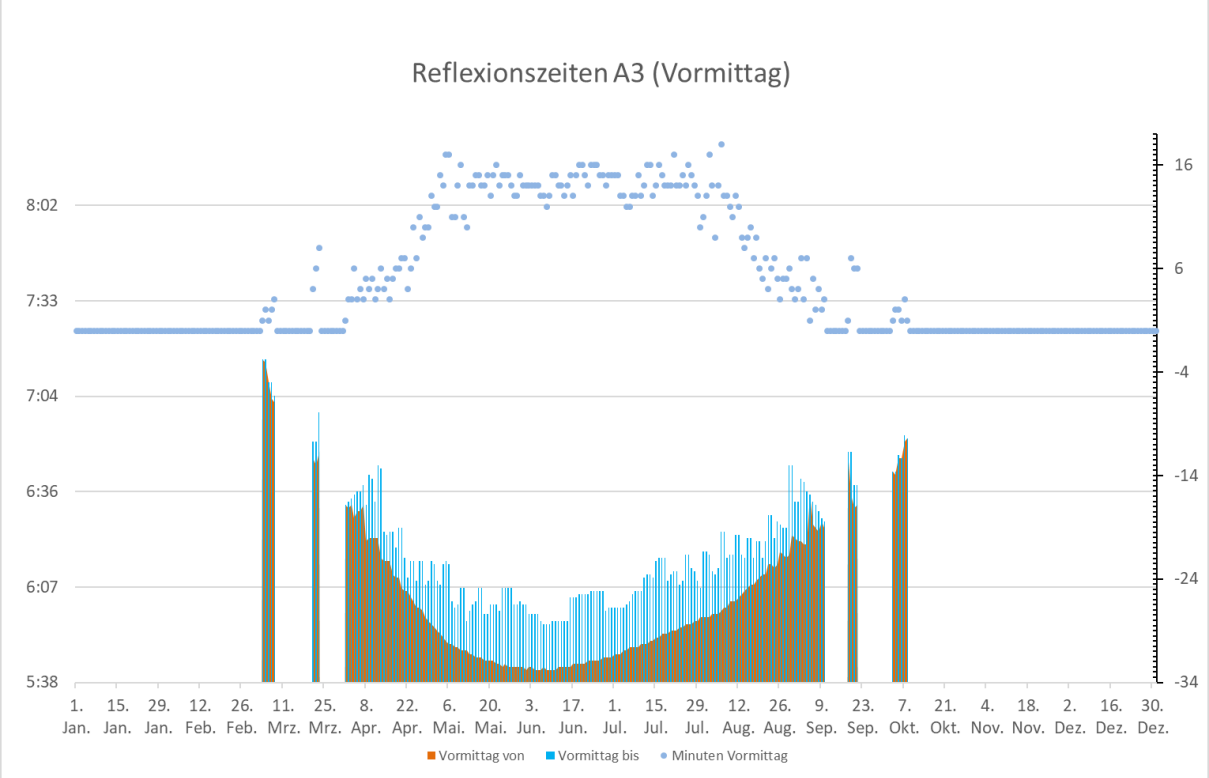


Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 15°

vertraulich! © Copyright 8.2

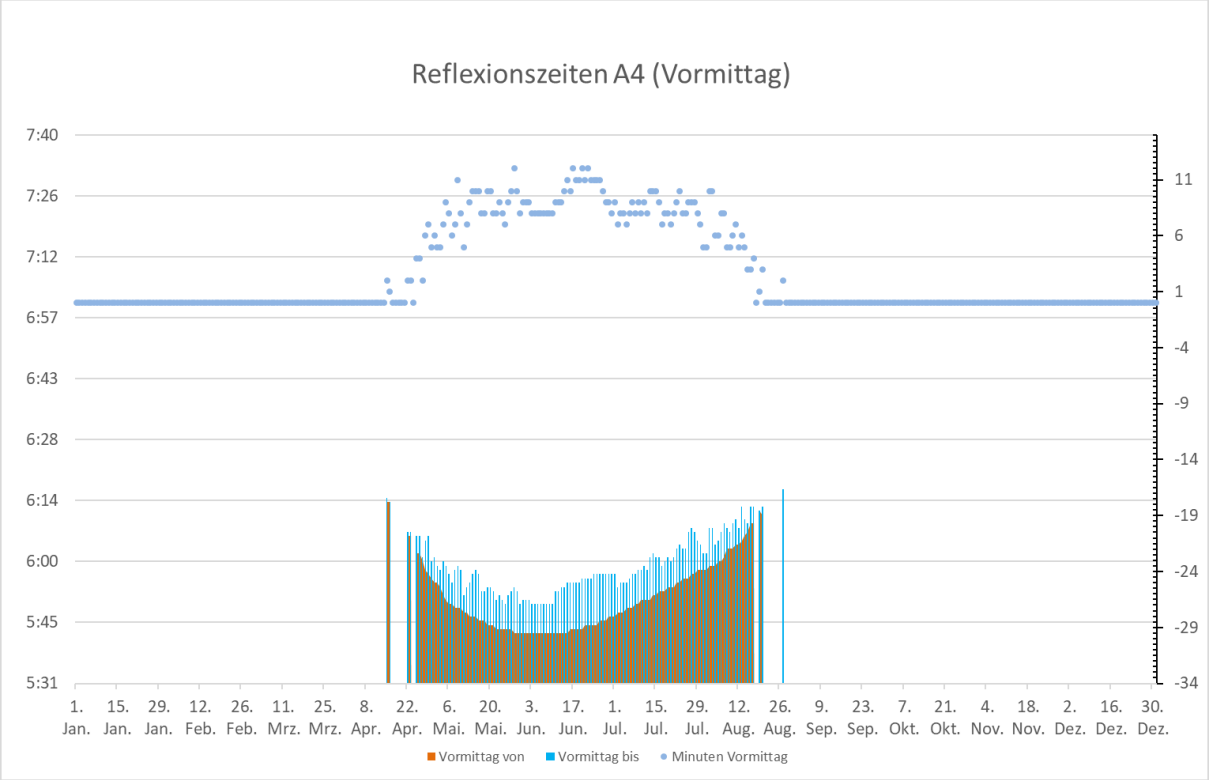


Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 15°

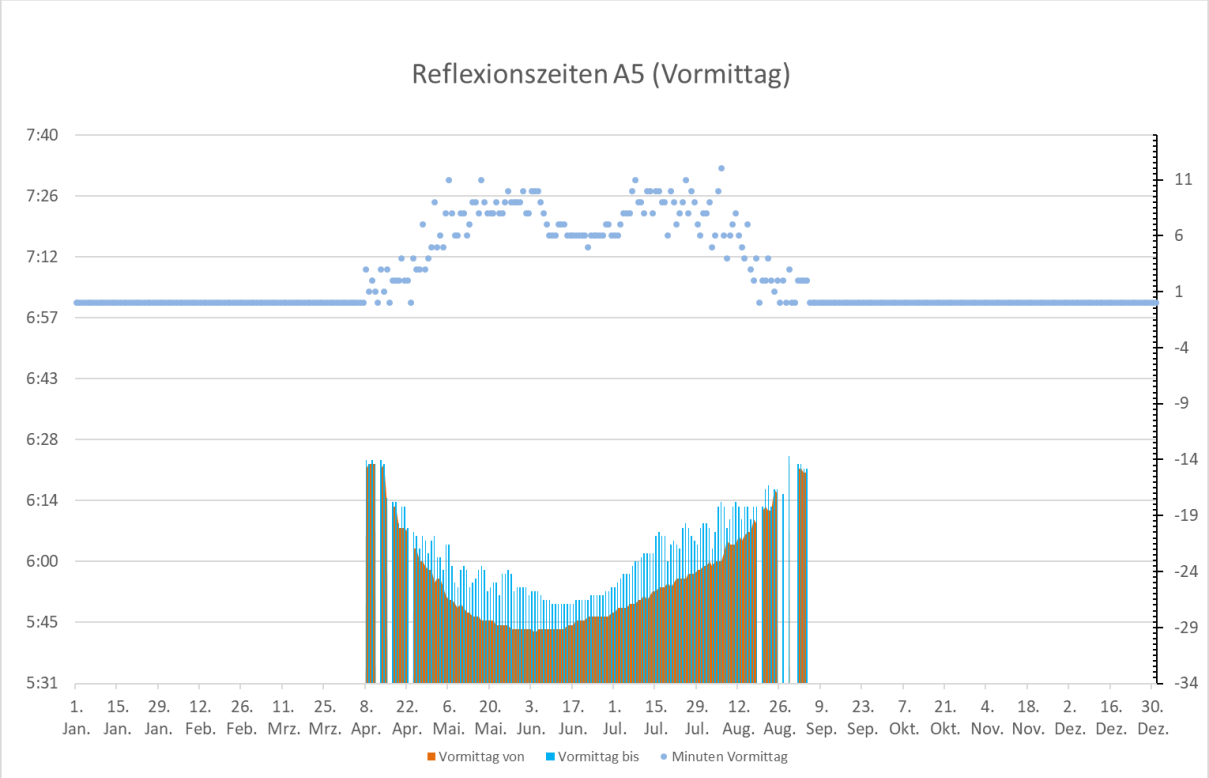


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 15°

vertraulich! © Copyright 8.2

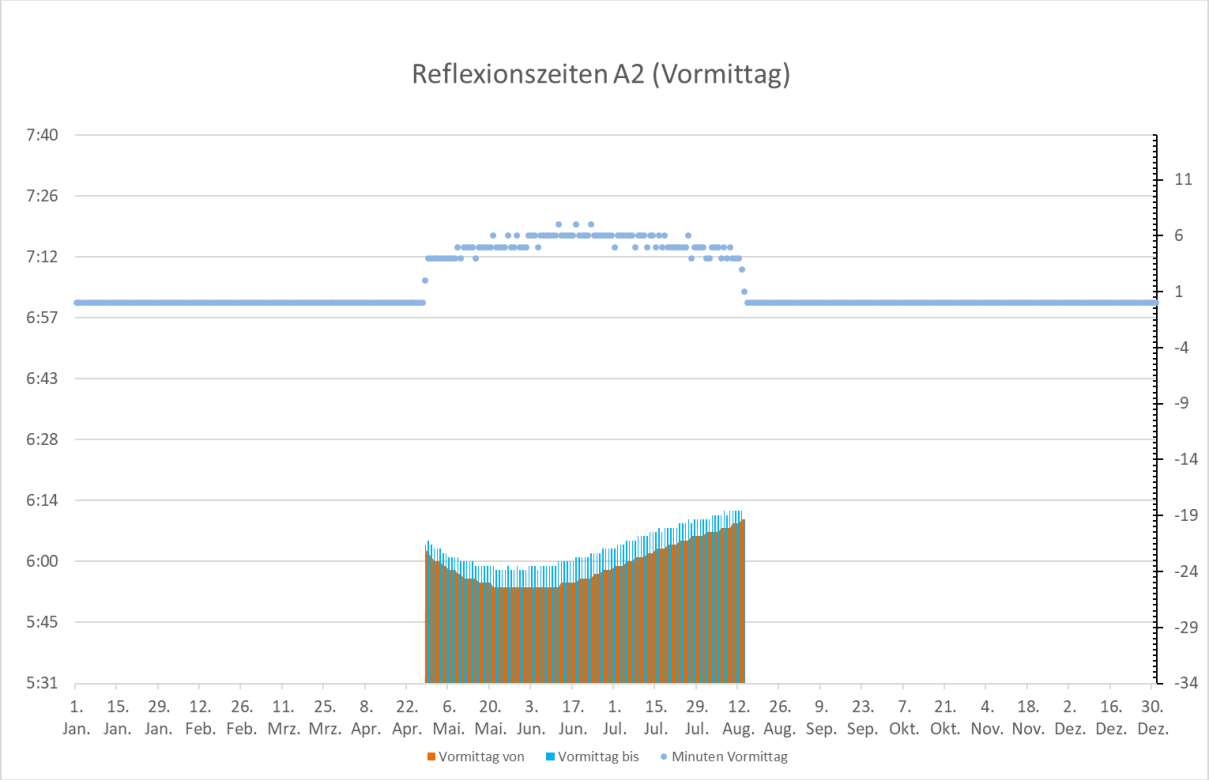


Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 18°

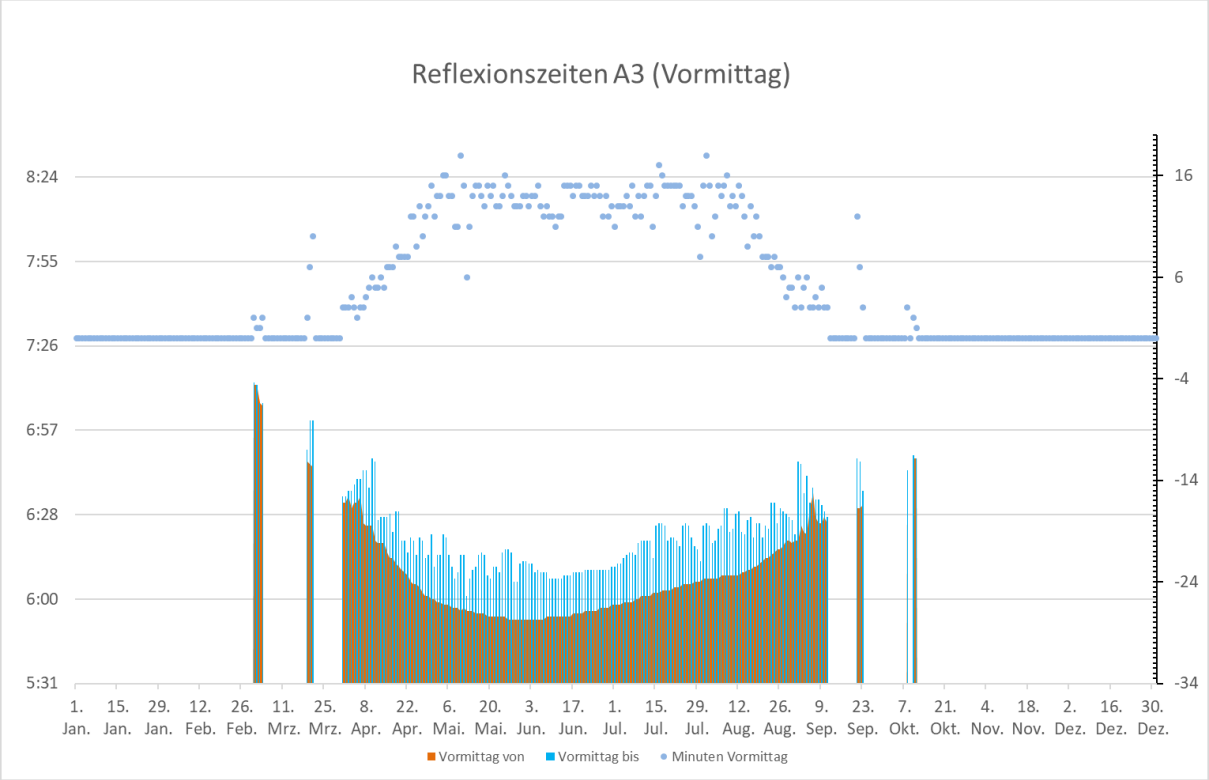


Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 18°

vertraulich! © Copyright 8.2

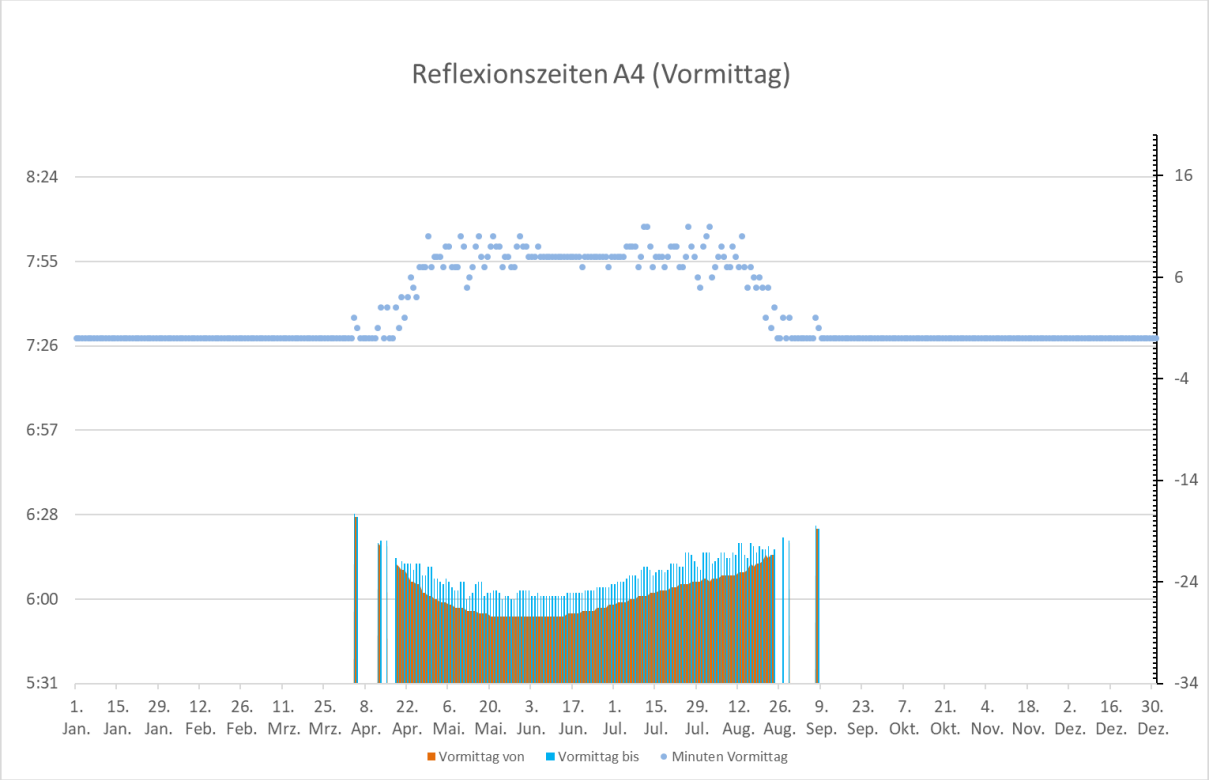


Abbildung 12: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 18°

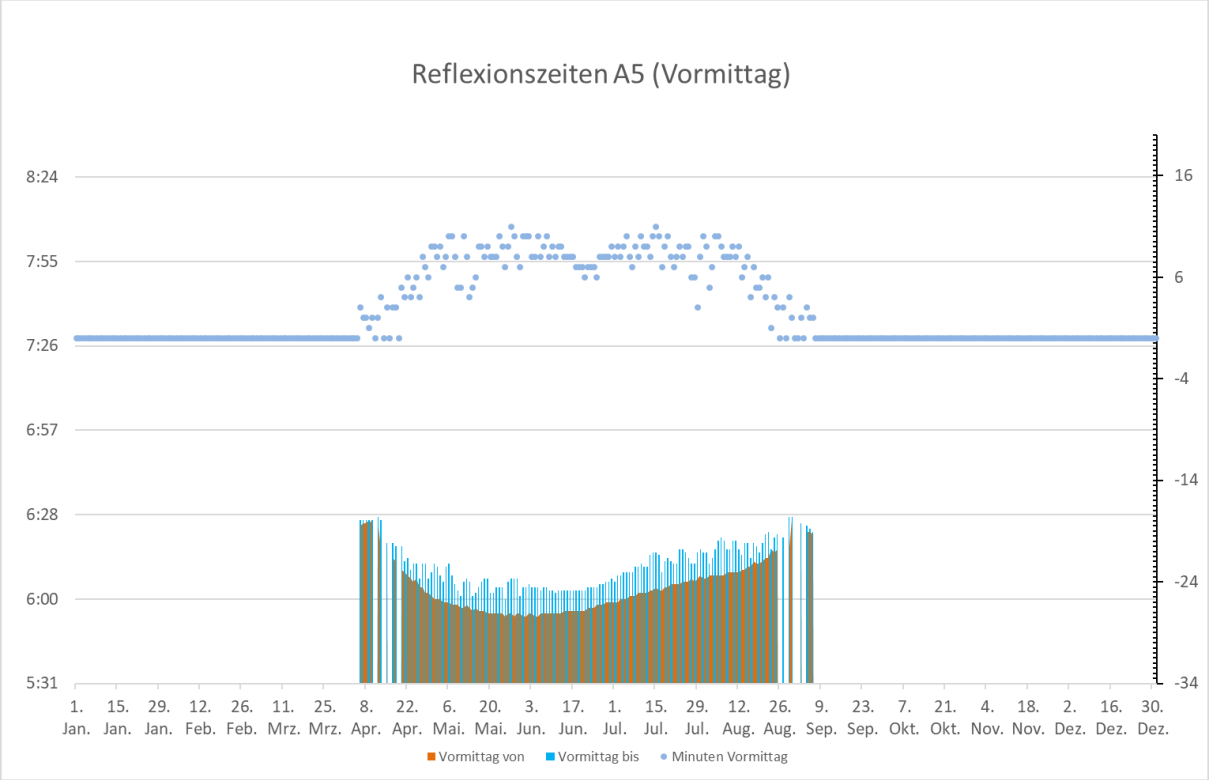


Abbildung 13: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 18°

vertraulich! © Copyright 8.2

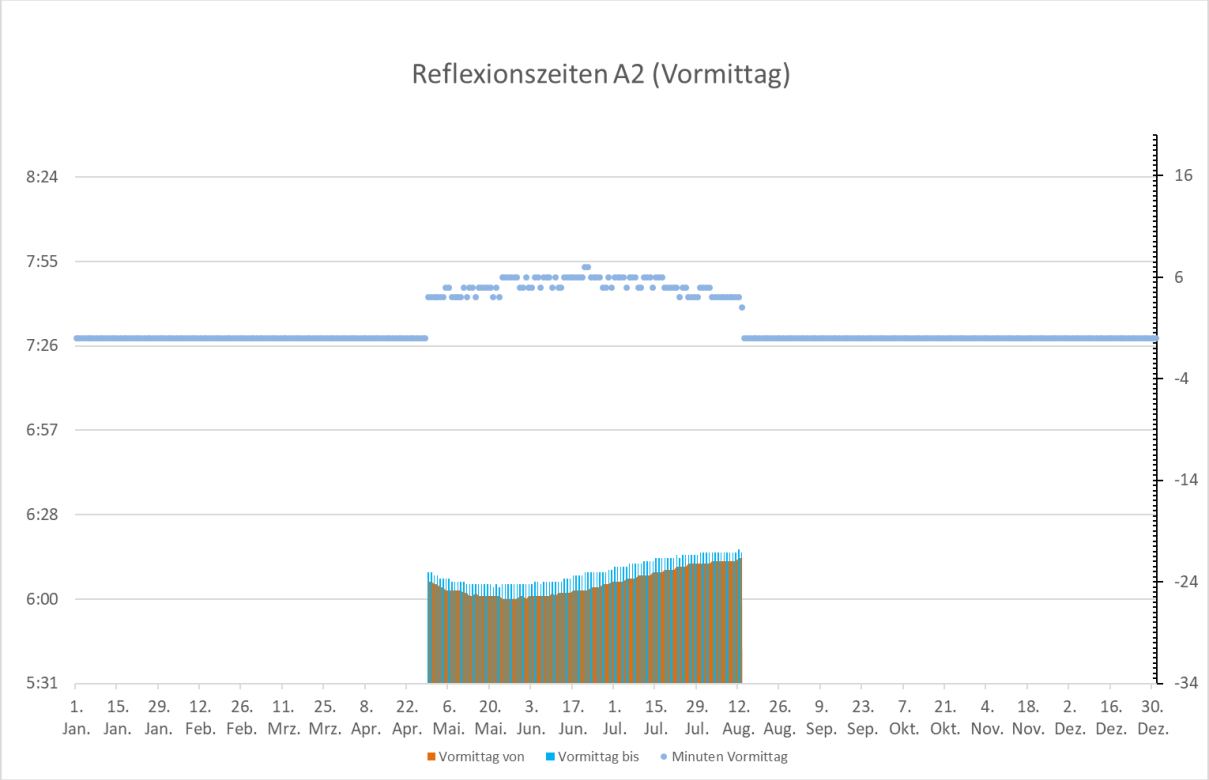


Abbildung 14: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A2 bei Modulneigung 20°

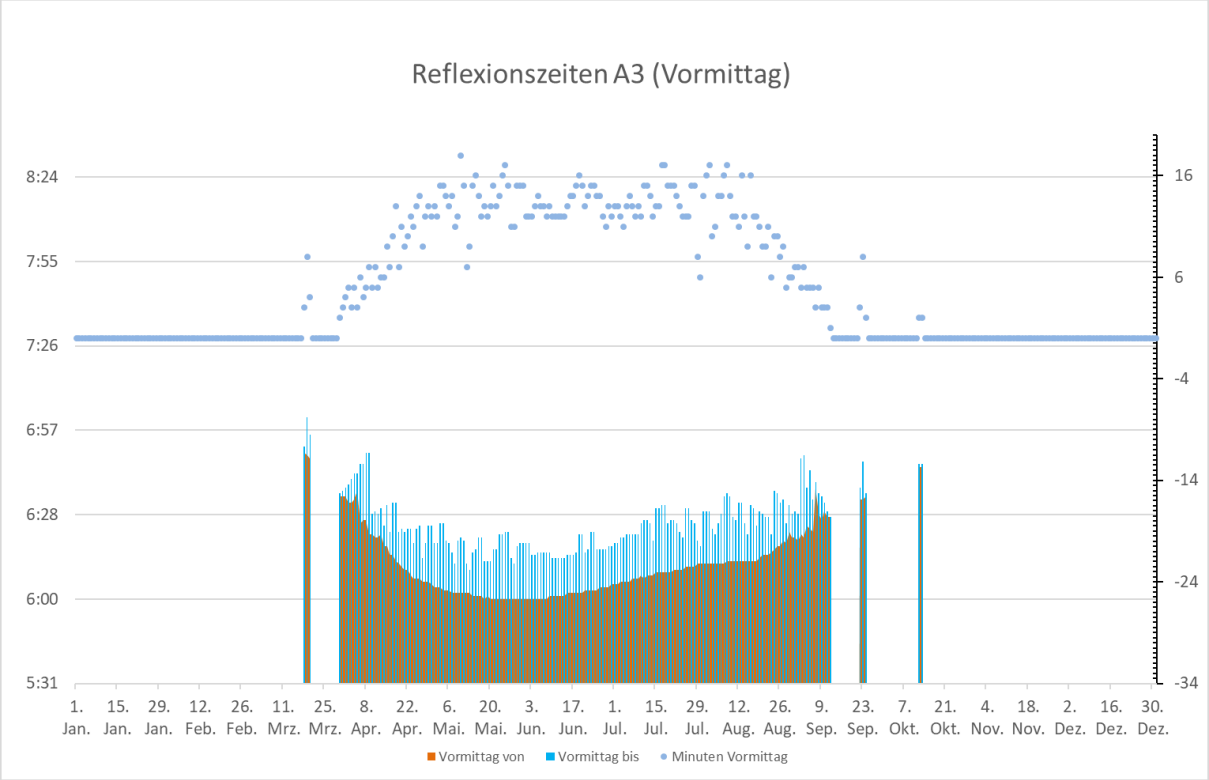


Abbildung 15: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A3 bei Modulneigung 20°

vertraulich! © Copyright 8.2

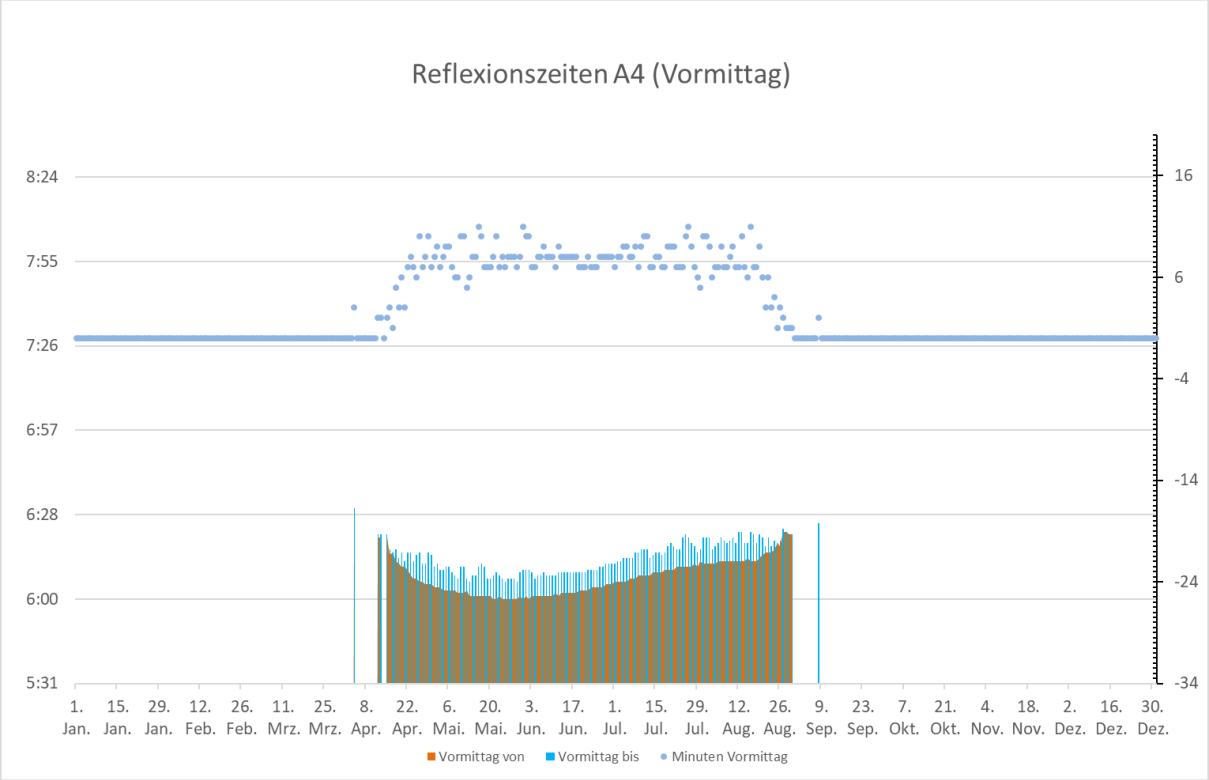


Abbildung 16: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A4 bei Modulneigung 20°

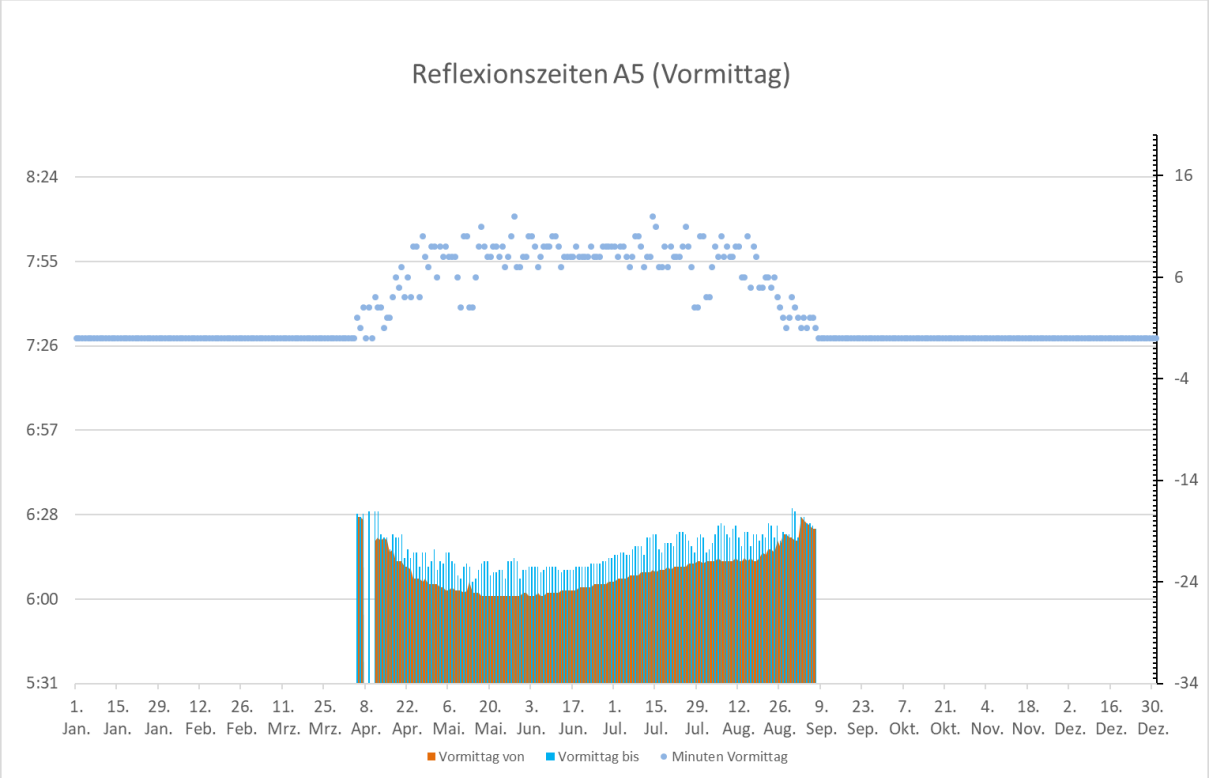


Abbildung 17: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt A5 bei Modulneigung 20°

vertraulich! © Copyright 8.2

Abbildung 18 bis Abbildung 29 zeigen den spezifischen Bereich der Photovoltaikanlage, von denen Lichtemissionen für die Punkte A2 bis A5 für die verschiedenen betrachteten Modulneigungen ausgehen.



Abbildung 18: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 15°



Abbildung 19: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 15°

vertraulich! © Copyright 8.2



Abbildung 20: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 15°



Abbildung 21: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 15°

vertraulich! © Copyright 8.2



Abbildung 22: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 18°

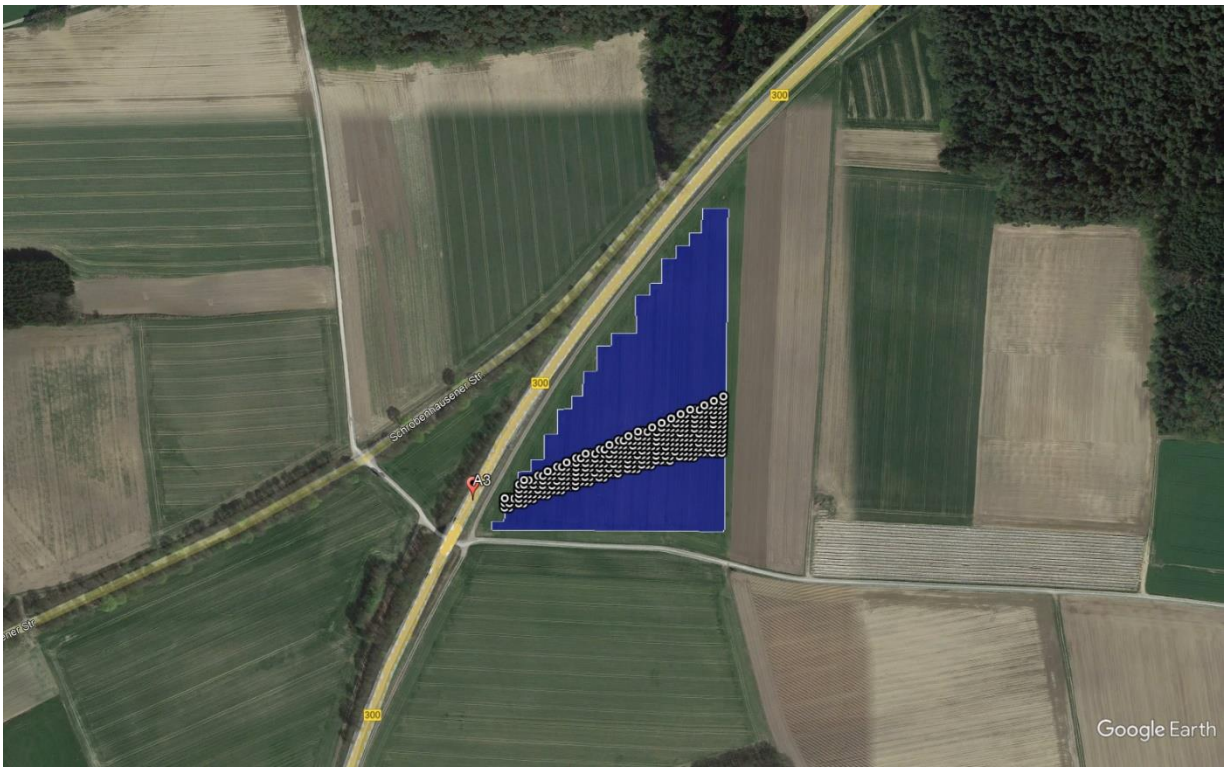


Abbildung 23: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 18°

vertraulich! © Copyright 8.2



Abbildung 24: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 18°



Abbildung 25: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 18°

vertraulich! © Copyright 8.2

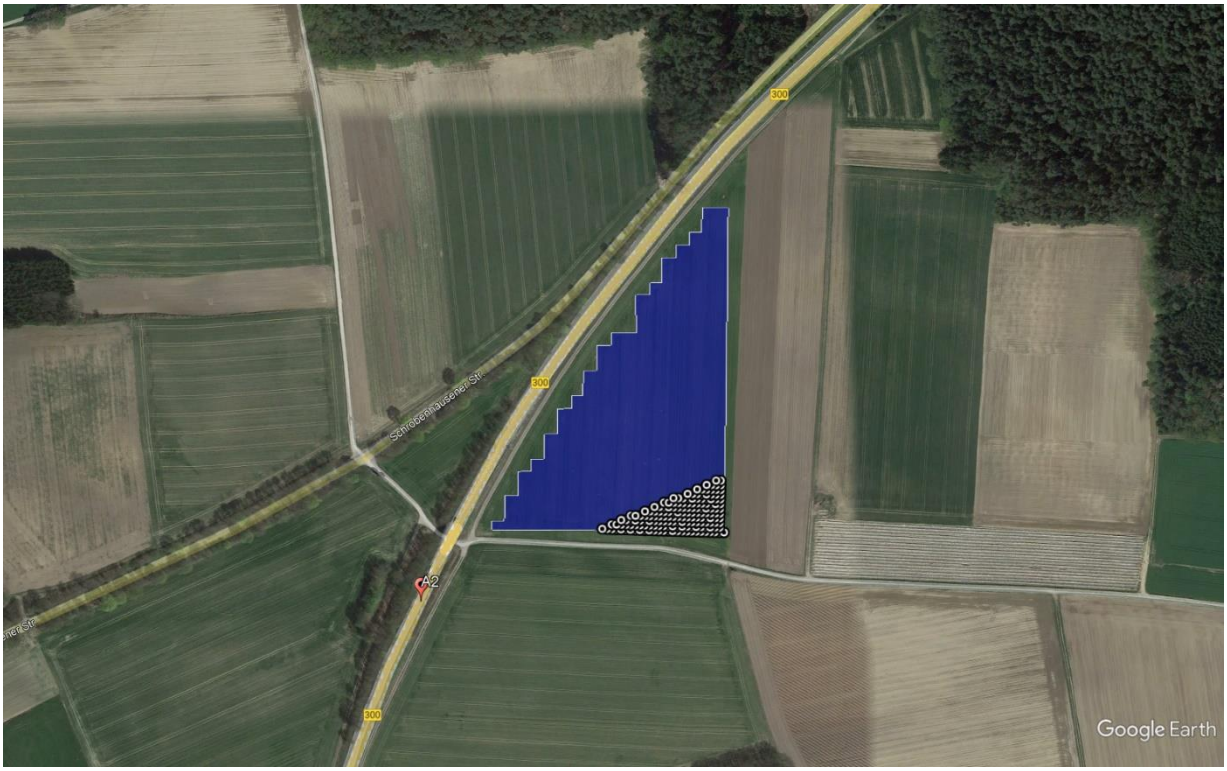


Abbildung 26: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A2 mit Modulneigung 20°

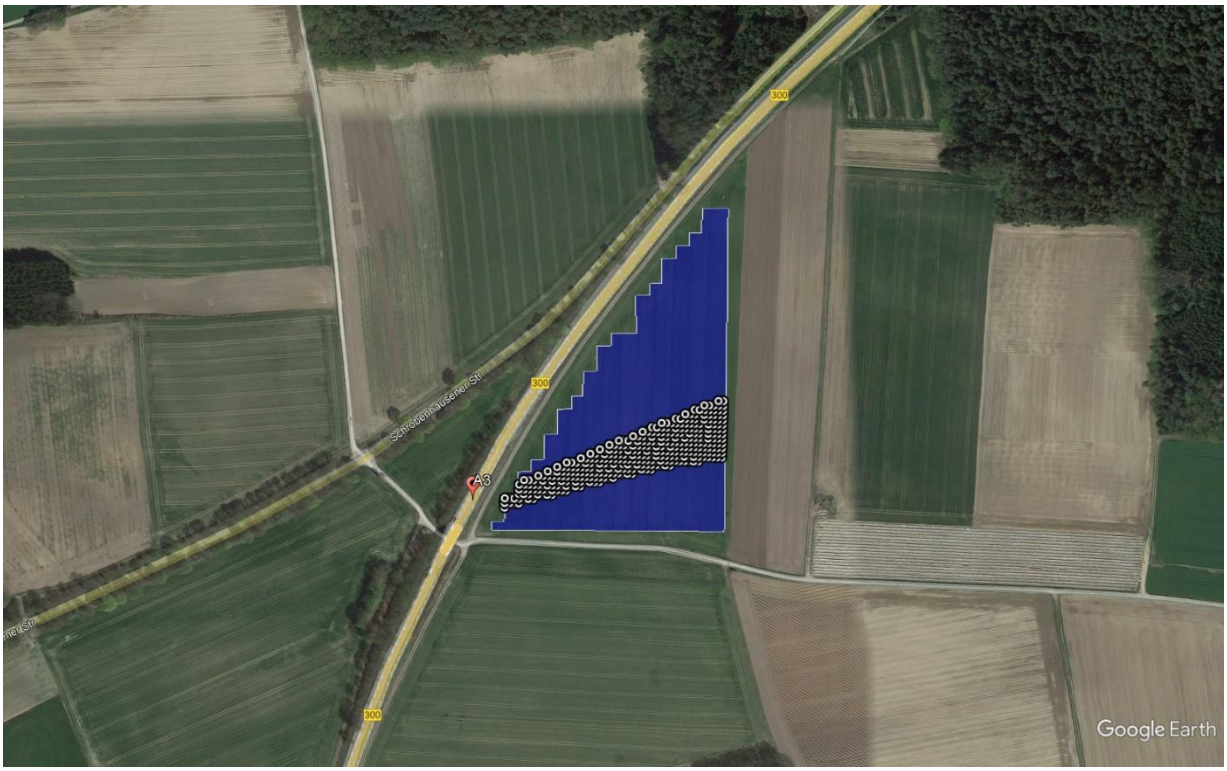


Abbildung 27: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A3 mit Modulneigung 20°

vertraulich! © Copyright 8.2



Abbildung 28: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A4 mit Modulneigung 20°



Abbildung 29: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt A5 mit Modulneigung 20

vertraulich! © Copyright 8.2

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Bundesstraße B300

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 Fahrzeugführer ist in Abbildung 30 bis Abbildung 33 für die Punkte A2 bis A5 dargestellt. Hierbei sind je Bild und Betrachtungspunkte alle möglichen Reflexionspunkte der untersuchten Modulneigungen angezeigt.

Es zeigt sich für alle Punkte und beide Fahrtrichtungen, dass die Module mit Lichtemissionen außerhalb der Sichtbereiche der Fahrzeugführer liegen.

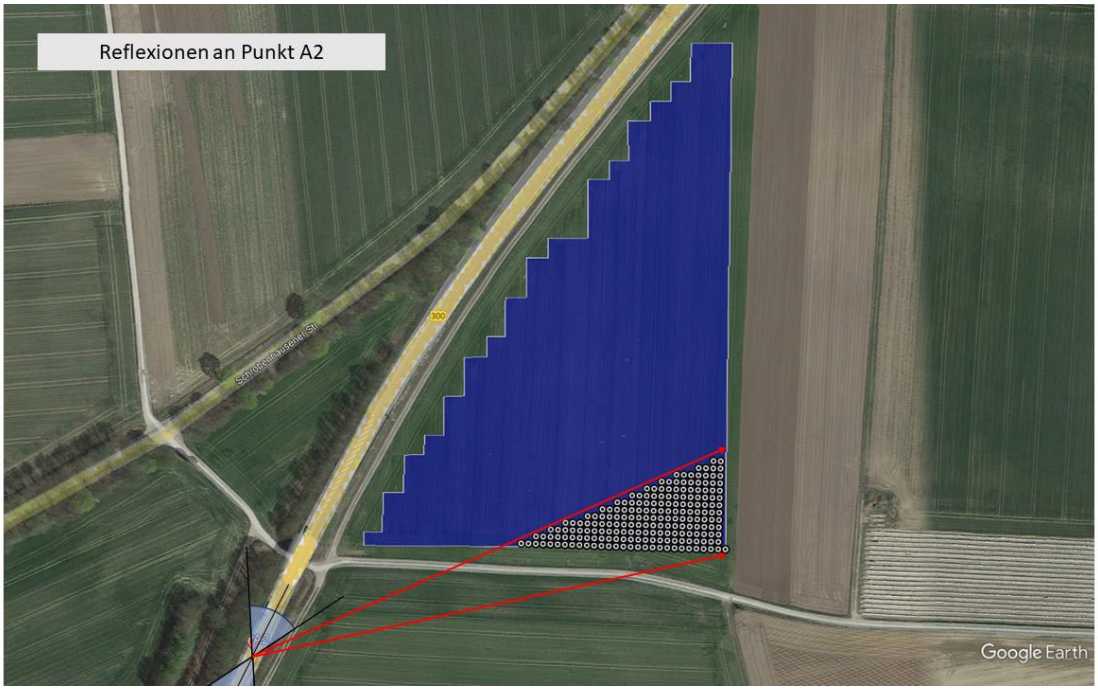


Abbildung 30: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A2 mit Grenzvektoren in Richtung Module

vertraulich! © Copyright 8.2

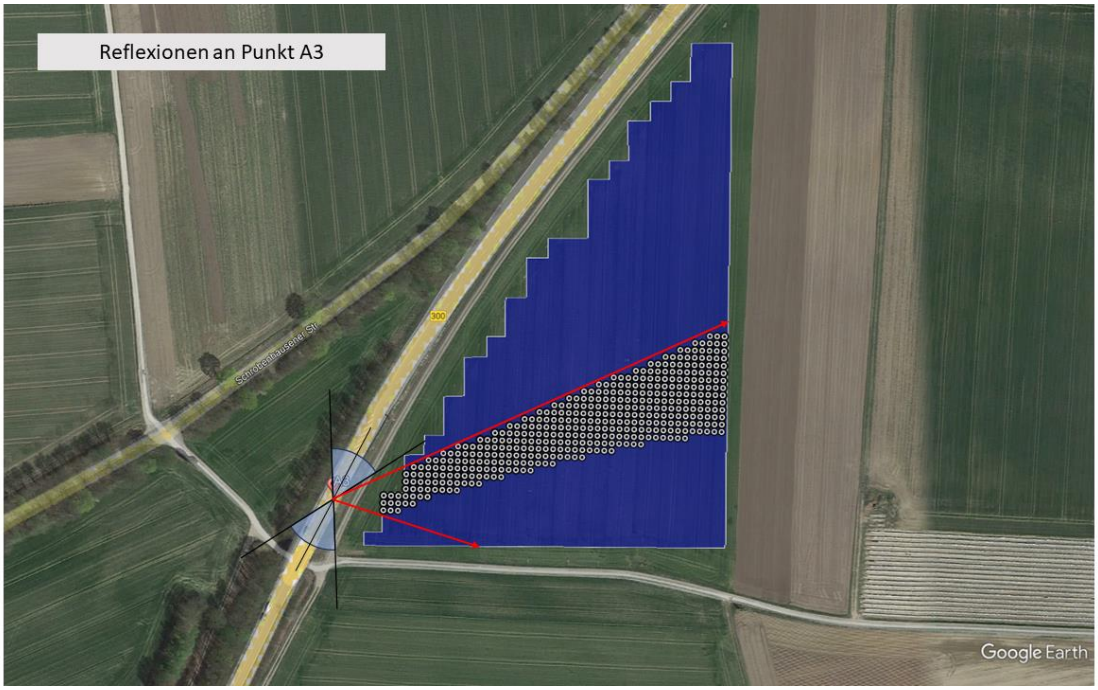


Abbildung 31: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A3 mit Grenzvektoren in Richtung Module

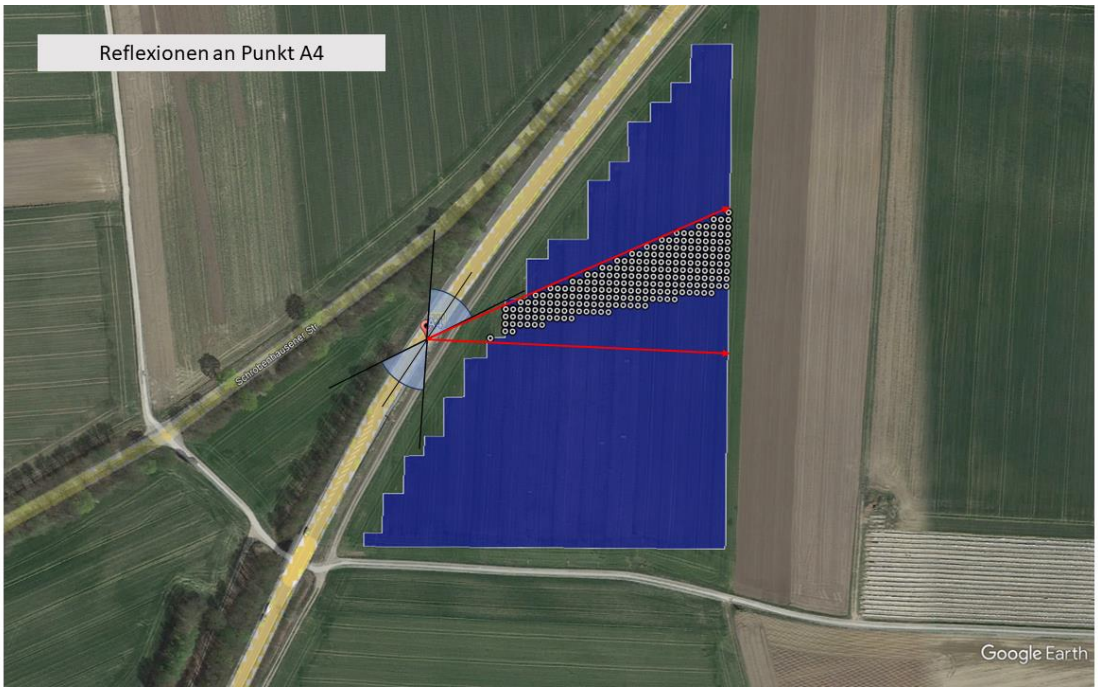


Abbildung 32: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A4 mit Grenzvektoren in Richtung Module

vertraulich! © Copyright 8.2

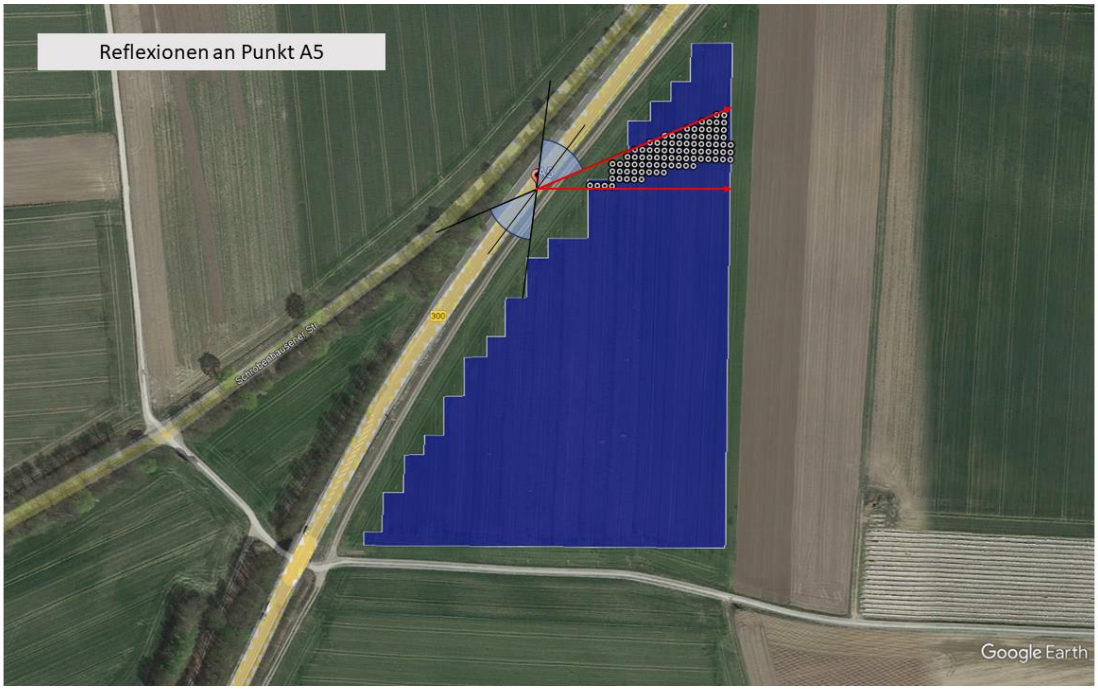


Abbildung 33: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer zu Punkt A5 mit Grenzvektoren in Richtung Module

vertraulich! © Copyright 8.2

E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bundesstraße B300 aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Gachenbach, Lichtimmissionen von März bis Oktober in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten, abhängig von der Modulneigung, etwa zwischen 05:42 Uhr und 07:16 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 18 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)[8] nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse in Kapitel D.2.3 zeigen, dass die Reflexionen in einem Winkel auf die Bundesstraße treffen, der erkennen lässt, dass reflektierende Module sich außerhalb des normalen Blickfeldes der Fahrzeugführer befinden. Eine Wahrnehmung ist nur dann zu erwarten, wenn der Fahrer den Blick bewusst abwendet, so dass die Blickrichtung sich außerhalb des normalen Sichtkegels befindet.

Aus diesem Grund ist eine Gefährdung des Straßenverkehrs durch Lichtemissionen, die durch Sonnenreflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Gachenbach entstehen nicht zu erkennen. Dieses Bewertungsergebnis gilt für alle untersuchten Modulneigungswinkel.

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

vertraulich! © Copyright 8.2