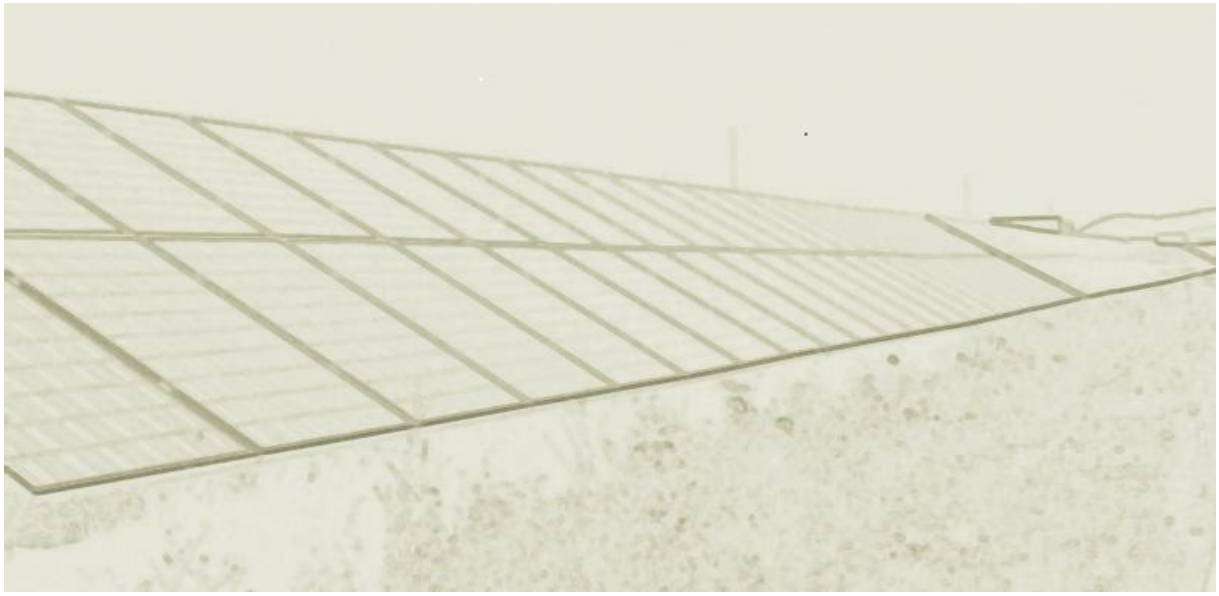
8.2



P r ü f b e r i c h t

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Hürtgenwald
Auftraggeber:	STAWAG Energie 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:	52393 Hürtgenwald (50.669°N;6.345°E), Deutschland
Prüfberichtsnummer:	25K7364-PV-BG-Hürtgenwald-R00-JBS_LBE-2025
Prüfdatum:	10.06.2025
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

Inhaltsverzeichnis 2
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 26

© 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 ©2025 Lageplan der Planfläche 14
Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul 16
Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs 17
Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B1 Modulneigung 15° ... 18
Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B1 Modulneigung 20° ... 19
Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B2 Modulneigung 15° ... 19
Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B2 Modulneigung 20° ... 20
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B3 Modulneigung 15° ... 20
Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B3 Modulneigung 20° ... 21
Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B1 auf der Bundesstraße 22
Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B2 auf der Bundesstraße 22
Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bundesstraße 23
Abbildung 15: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B1 mit Grenzvektoren in Richtung Module 24
Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B2 mit Grenzvektoren in Richtung Module 24
Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B3 mit Grenzvektoren in Richtung Module 25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Revisionsübersicht 4
Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten 17
Tabelle 3: Sonnenstand zum Zeitpunkt der Immissionen in B1 bis B3 25

© Copyright 8.2

Tabelle 1: Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
25K7364-PV-BG-Hürtgenwald-R00-JBS_LBE-2025	Ursprungsversion 10.06.2025

© 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.

© 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

© 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, die nordwestlich an den Teilen der PVA vorbeiführt, und umliegenden Gebäuden zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.
Auftraggeber:	STAWAG Energie GmbH Lombardenstraße 12-22 52070 Aachen
Auftragsdatum:	28.02.2025
Auftragnehmer:	8.2 Obst & Hamm GmbH Brandstwiete 4 20457 Hamburg
Prüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt Lennart Behn, B.Sc.
Nummer des Prüfberichts:	25K7364-PV-BG-Hürtgenwald-R00-JBS_LBE-2025

© Copyright 8.2

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die Bundesstraße B399, das Hürtgenwald Franziskus-Gymnasium und schutzwürdige Gebäude im Nordwesten und Südwesten der PVA. 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 drei Teilflächen
  - Schnittzeichnung zum Tischaufbau
  - Georeferenzierte DWG
- 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 „geoportal.nrw“[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 Hürtgenwald soll im Süden von Vossenack, ein Ort in der Gemeinde Hürtgenwald, im Kreis Düren im Regierungsbezirk Köln und östlich der in diesem Bereich von Südwest nach Norden führenden Bundesstraße B399 installiert werden.

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 180° & 170° (N=0°) und einem Neigungswinkel von 20° ausgerichtet. Alternativ wurde eine Modulneigung von 15° und einem Azimut von 180° in allen Teilfeldern betrachtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,9 m angenommen. Die maximale Höhe der Gestelle ergibt sich damit mit rund 2,8 m. Zur Berücksichtigung möglicher Bodenunebenheiten wird von einer maximalen Höhe der Module über Bodenkante von 3,5 m ausgegangen.

[1] ©2025 Google LLC.
[2] https://www.geoportal.nrw

© Copyright 8.2

B. Prüfergebnis

Zusammenfassung der Ergebnisse der nachfolgenden Kapitel.

Für die Photovoltaikanlage Hürtgenwald wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Bundesstraße B399 durchgeführt.

Die Untersuchung der Bundesstraße B399 zeigt, dass Lichtimmissionen von März bis September in den frühen Morgenstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum 19 Minuten am Tag bzw. in Summe für das gesamte Jahr 20 Stunden. Die reflektierenden Module liegen zum Teil im Sichtfeld der Fahrzeugführer. Zum Zeitpunkt der Lichtimmissionen steht die Sonne tief und nahezu direkt hinter den Modulen. Aufgrund ihrer Helligkeit überstrahlt die Sonne die Lichtemissionen an den Modulen. Eine Störung des Verkehrs auf der Bundesstraße B399 durch Reflexionen an den Modulen ist daher eher unwahrscheinlich. Ein erhöhtes Unfallrisiko, verursacht durch Lichtemissionen der Photovoltaikanlage, ist nicht zu erkennen.

Aufgrund der Lage und Entfernung der umliegenden Gebäude ist eine Überschreitung der Richtwerte der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) in der Dauer der Lichtimmissionen nicht zu erwarten. Nach den Kriterien der LAI stellen die Lichtimmissionen damit keine erhebliche Belästigung dar und sind zu tolerieren.

Hamburg, 10. Juni 2025





Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Lennart Behn, B.Sc.

Dieser Bericht besteht aus 26 Seiten und ist bis Ende 2035 in der 8.2 Obst & Hamm GmbH hinterlegt (Dokumentationsfrist).

© 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 und umliegende Gebäude zu bewerten. Zu berücksichtigen sind hierbei die Störwirkung von Reflexionen, sowie die Wahrnehmung durch den Betrachter, bei Fahrzeugführern 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

© Copyright 8.2

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 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.

© 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.

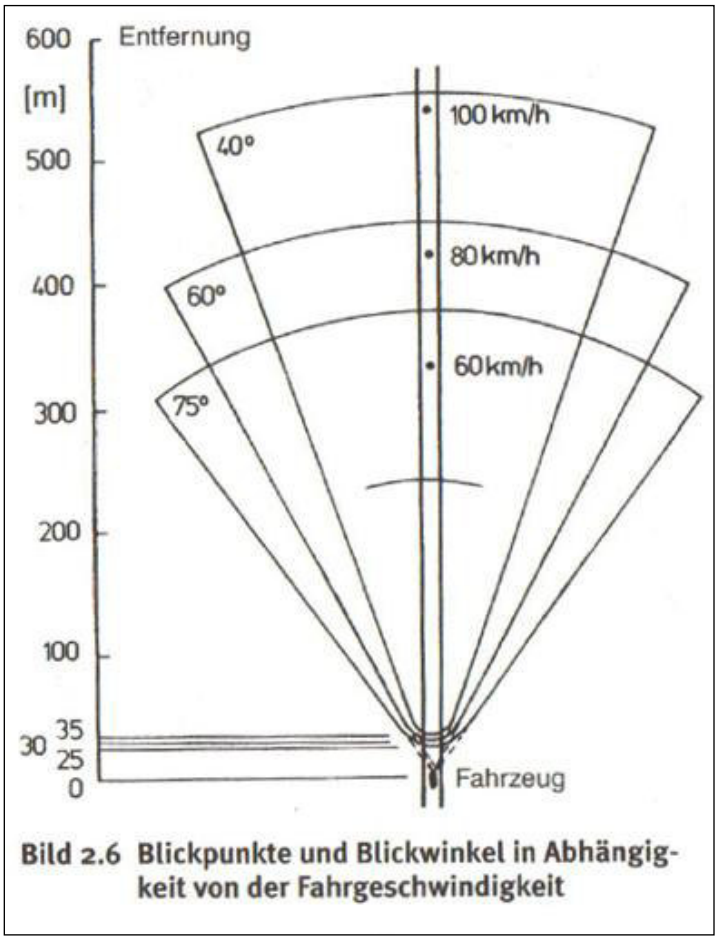


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit3

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] „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

© Copyright 8.2

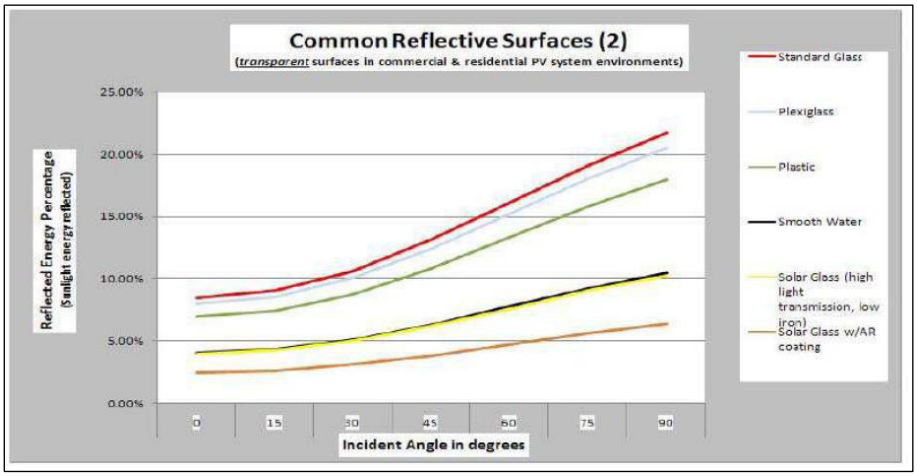


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel[4]

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)

© 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 „geoportal.nrw“[7].

Die Planfläche selbst liegt östlich der Bundesstraße B399 und im Süden des Ortes Vossenack. Das Höhenniveau der Bundesstraße über Normalhöhennull (NHN) beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 483 m und 487 m. Das Höhenniveau im Bereich der Bebauungen im Umfeld der PVA beträgt zwischen 476 m und 486 m. Die Bebauung besteht aus einer Mischung aus landwirtschaftlichen Anwesen mit Wohngebäuden und Wirtschaftsgebäuden sowie Einfamilienhäusern bzw. das Hürtgenwald Franziskus-Gymnasium im Norden (G1.1). Das Höhenniveau der Planflächen variiert zwischen 453 m und 487 m. Die nördlichste Teilfläche besitzt ein Azimut von 180° (N=0°) während die südliche und die mittlere Teilfläche ein Azimut von 170° (N=0°) aufweisen, siehe Abbildung 3.

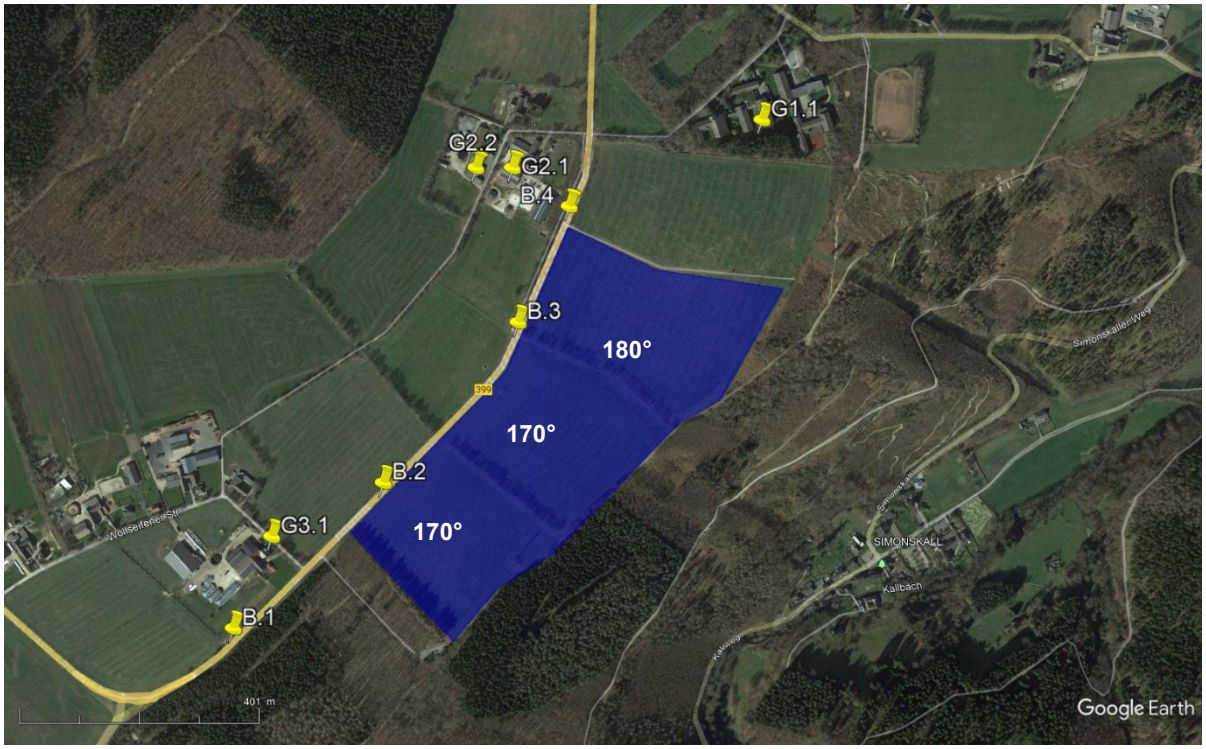


Abbildung 3: Google Earth ©2025 Lageplan der Planfläche

[6] ©2025 Google, ©2025 GeoBasis-DE/BKG
[7] https://www.geoportal.nrw

© 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 3 m gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Auf der Bundesstraße werden die Punkte B1 bis B4 gewählt, für die untersucht wird, ob an diesen Stellen Lichtimmissionen durch Reflexionen zu erwarten sind, und wie diese sich auswirken, siehe Abbildung 3.

Das Franziskus-Gymnasium und die Gebäude G2.1 und G2.2 liegen im Norden der Photovoltaikanlage, die nach Süden ausgerichtet wird. Nach den Richtlinien der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) sind Immissionsorte im Norden im Regelfall als unkritisch zu sehen:

> *„Immissionsorte, die vornehmlich nördlich von einer Photovoltaikanlage gelegen sind (Abbildung 3), sind meist ebenfalls unproblematisch. Eine genauere Betrachtung ist im Wesentlichen nur dann erforderlich, wenn der Immissionsort vergleichsweise hoch liegt (z. B. bei Hochhäusern) und/oder die Photovoltaikmodule besonders flach angeordnet sind.“*

Daher erfolgt für diese Gebäude keine weitere Betrachtung.

Die Entfernung zu den Gebäuden im Bereich G3.1 zur Photovoltaikanlage beträgt rund 150 m. Nach den Richtlinien der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) erfahren Immissionsorte die weiter als 100 m entfernt sind nur kurzzeitige Blendwirkungen:

> *„Immissionsorte, die sich weiter als ca. 100 m von einer Photovoltaikanlage entfernt befinden (Abbildung 2), erfahren erfahrungsgemäß nur kurzzeitige Blendwirkungen. Lediglich bei ausgedehnten Photovoltaikparks könnten auch weiter entfernte Immissionsorte noch relevant sein.“*[8]

Gebäude G3.1 wird zum Teil durch den Wald im Süden der Anlage abgeschirmt und die weiteren Gebäude an der Wolfseifener Straße befinden sich mehr als 200 m entfernt. Daher kann die LAI hier angewendet werden und es kann davon ausgegangen werden, dass an den Gebäuden nur kurzzeitige Blendungen auftreten, was auch der Erfahrung von 8.2 mit vergleichbaren Projekten entspricht. Aus diesem Grund werden keine weiteren Betrachtungen für die Gebäude durchgeführt.

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

[8] - Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012), Seite 23

© Copyright 8.2

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.

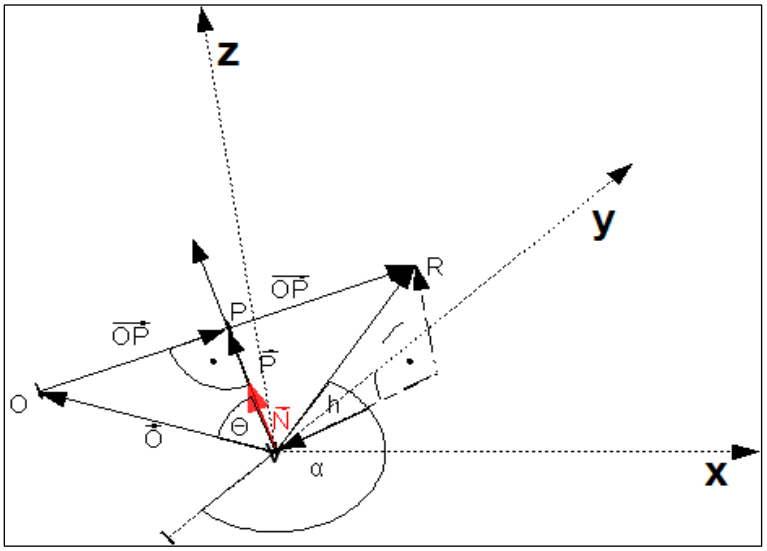


Abbildung 4: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

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 bezeichnet den Ort der zugehörigen Lichtemission. Punkt P ist der Schnittpunkt des Verbindungsvektors zwischen O und R mit dem Lot auf die Modulfläche („Flächennormale“). Für die unterschiedlichen Ortsbeziehungen („Ort außerhalb der Photovoltaikfläche“ zu “Ort in der Fläche“) ergeben sich unterschiedliche Emissionsorte, die in der Sonnenbahn, siehe Abbildung 5, oder außerhalb dieser liegen können. 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 -125° bis +125° und für den Höhenwinkel h von 0° bis 63°.

© Copyright 8.2

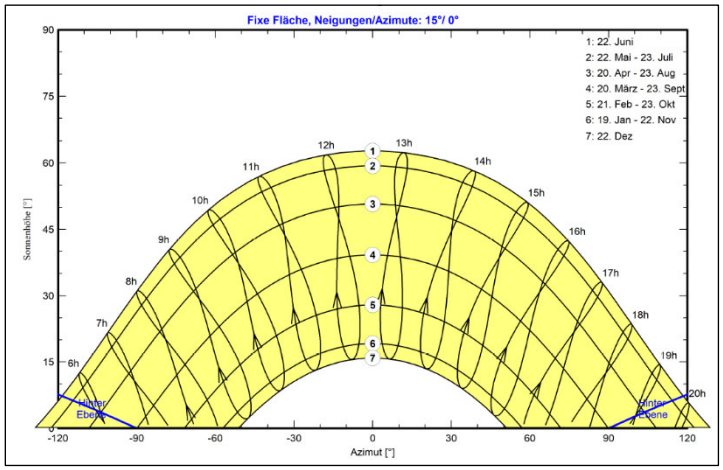


Abbildung 5: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

D.2.2. Ergebnisse der geometrischen Betrachtung

Die nachfolgenden Ergebnisse der geometrischen Betrachtung für die Planfläche gehen von freien Blickbeziehungen aus („worst case“). Abschattungen durch Bäume, Böschungen etc. sind nicht berücksichtigt.

Tabelle 2: Datums- und Zeitbereiche der Reflexionen an den Betrachtungspunkten

	Datumsbereich	Zeitbereich	Max Minuten pro Tag [min]	Max Stunden pro Jahr [h]
Neigungswinkel 20° Azimut 170° & 180° (N=0°)				
B1	von 02. Mai bis 09. Aug	05:47 - 06:37	10	13
B2	von 25. Apr bis 17. Aug	05:51 - 06:42	17	20
B3	von 29. Mrz bis 13. Sep	06:19 - 06:56	12	21
B4	Keine Reflexionen			
Neigungswinkel 15° Azimut 180° (N=0°)				
B1	von 20. Apr bis 22. Aug	05:56 - 06:31	13	20
B2	von 30. Mrz bis 12. Sep	06:00 - 06:58	15	25
B3	von 28. Mrz bis 14. Sep	06:01 - 06:55	12	21
B4	Keine Reflexionen			

Bundesstraße

Die Analyse zeigt für den Punkt B4, dass auf der Bundesstraße keine Lichtimmissionen zu erwarten sind. Hingegen sind Lichtimmissionen in den Punkten B1 bis B3 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen morgens von Ende März bis September. Auf den Planflächen sind die Reflexionen im Zeitraum zwischen 05:56 Uhr bis 06:58 Uhr bei einer Modulneigung von 15° und zwischen 05:47 Uhr bis 06:56 Uhr bei einer Modulneigung von 20° möglich. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum rund 17 Minuten am Tag und 25 Stunden im Jahr.

© Copyright 8.2

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 6 bis Abbildung 11 dargestellt. Laut Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) kommt es erst ab einem Differenzwinkel (Winkel zwischen Sichtlinie zur Sonne und der Sichtlinie zum Modul) größer 10° zu einer zusätzlichen Blendung durch die Photovoltaikanlage[9]. Aus diesem Grund sind in den Diagrammen nur Zeiten berücksichtigt, die einen Differenzwinkel größer 10° aufweisen.

In den Diagrammen Abbildung 6 bis Abbildung 11 stellen die Werte der linken Ordinate die Uhrzeiten dar, in denen die Blendung am Immissionsort auftritt. Die Werte der rechten Ordinate stellen die Anzahl der Minuten pro Tag dar, in denen eine Blendung am Immissionsort auftritt.

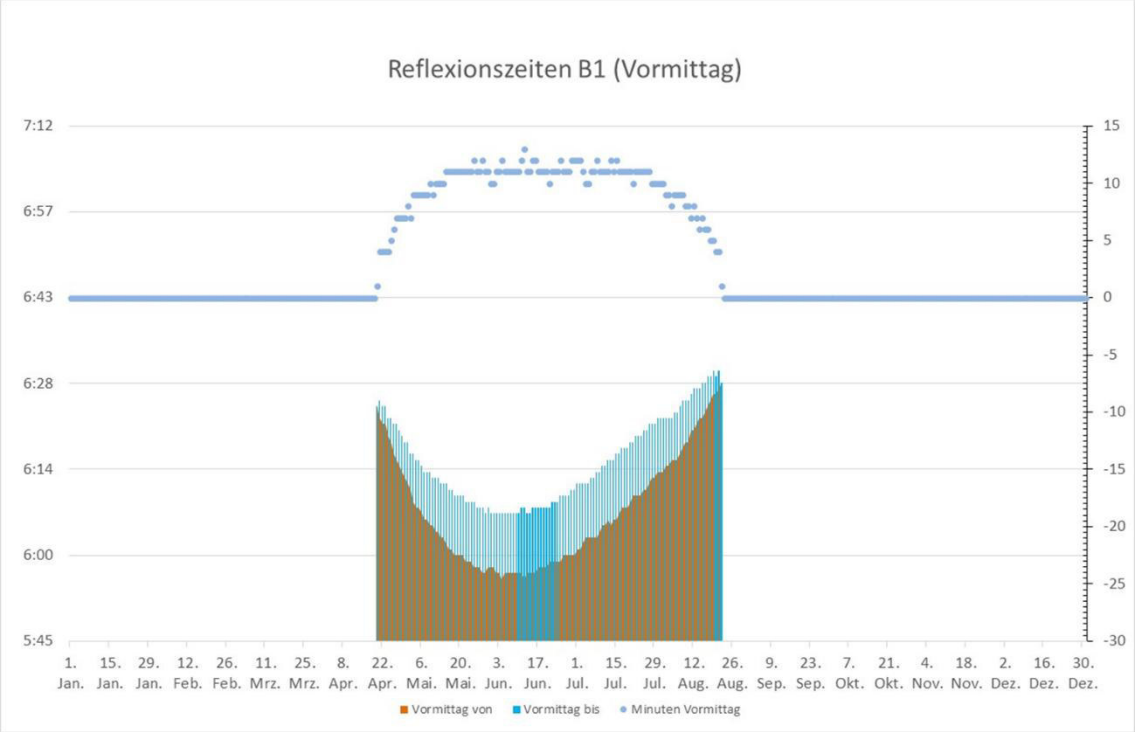


Abbildung 6: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B1 Modulneigung 15°

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

© Copyright 8.2

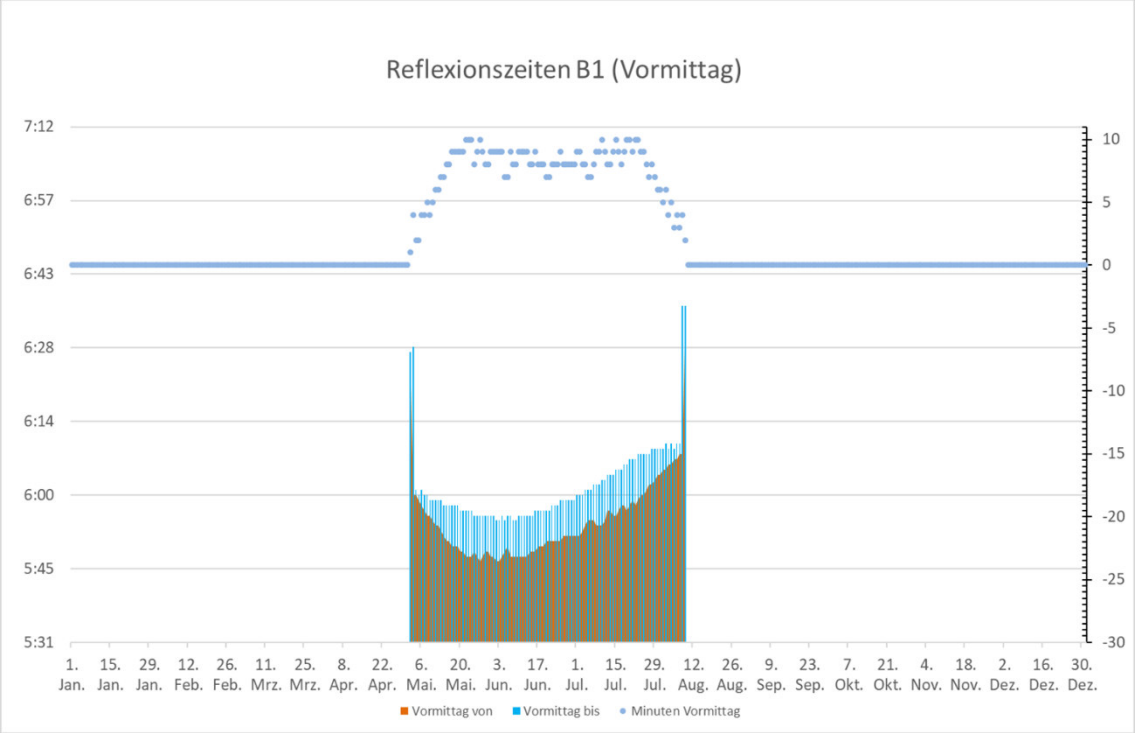


Abbildung 7: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B1 Modulneigung 20°

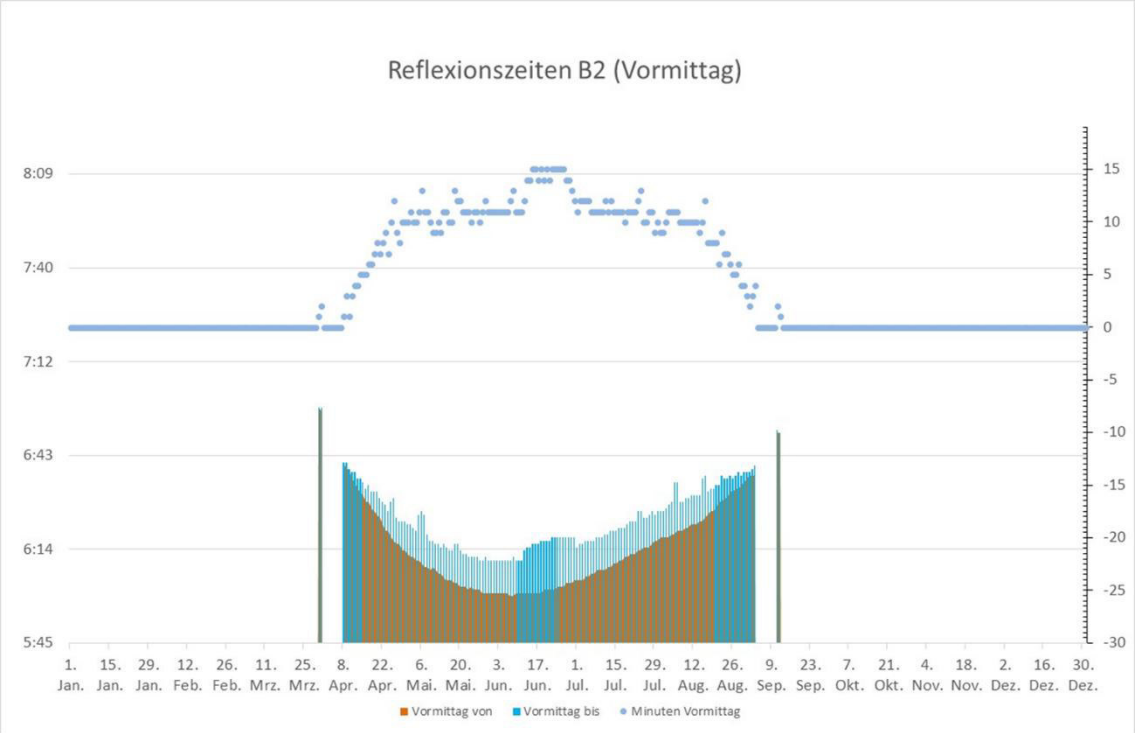


Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B2 Modulneigung 15°

© Copyright 8.2

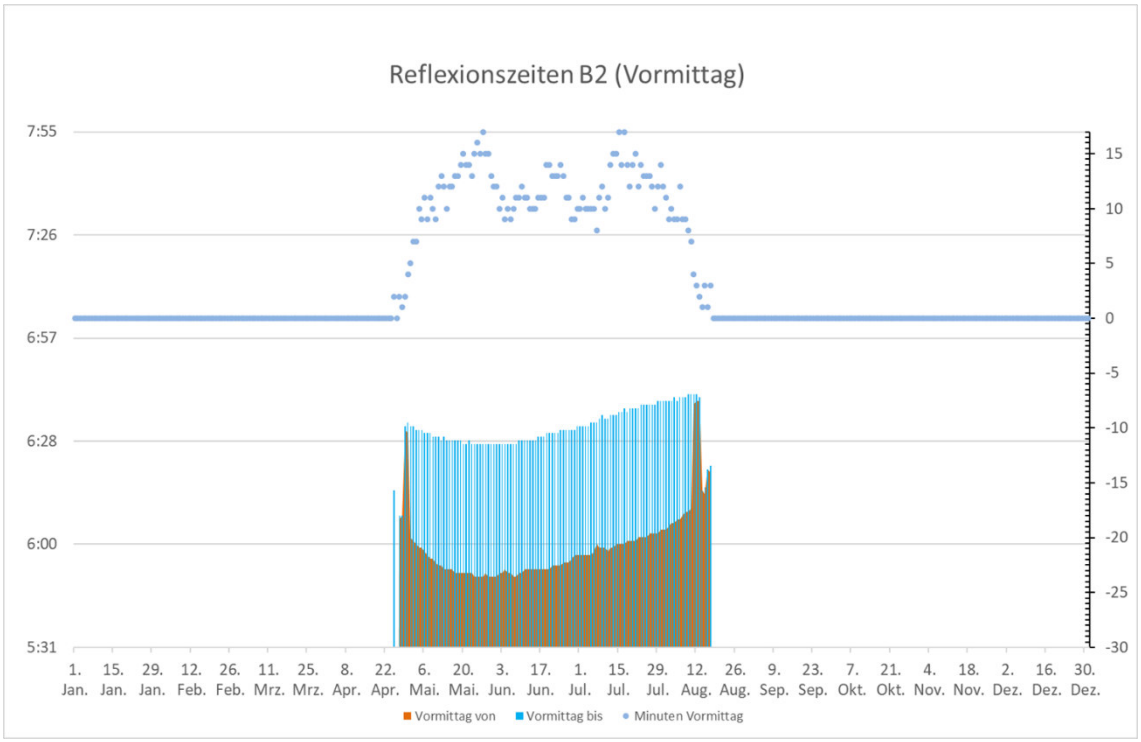


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B2 Modulneigung 20°

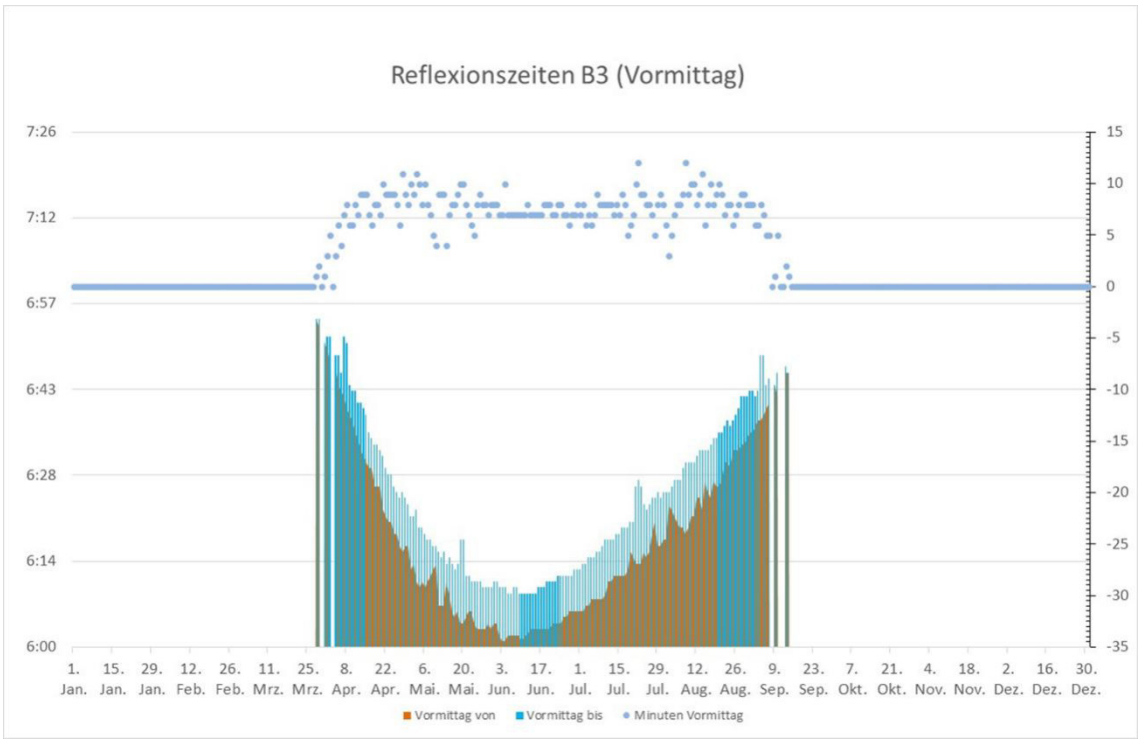


Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B3 Modulneigung 15°

© Copyright 8.2

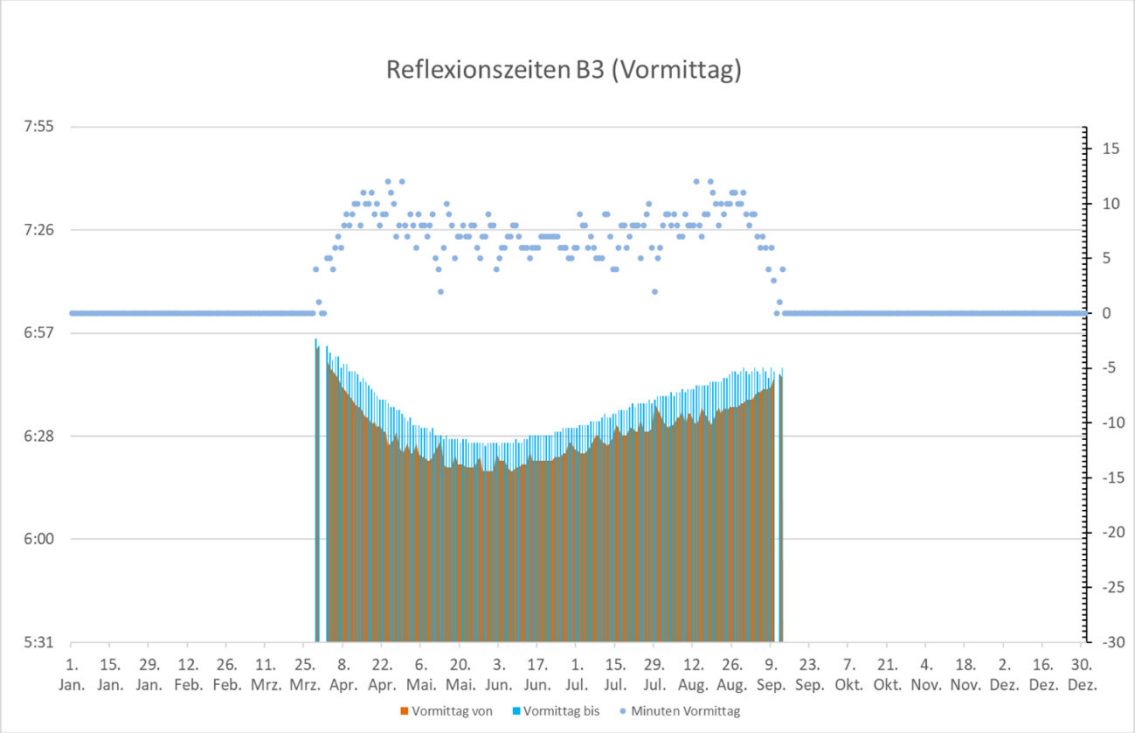


Abbildung 11: Reflexionszeiten und Dauer am Vormittag zu Punkt B3 Modulneigung 20°

Die folgenden Grafiken Abbildung 12 bis Abbildung **14** zeigen die spezifischen Bereiche der Photovoltaikanlage, von denen Lichtemissionen für die Punkte B1 bis B3 ausgehen. Die blauen Flächen stellen die Planfläche entsprechend Abbildung 3 dar. Die weißen Ringe stellen den Reflexionsbereich der Module mit einer Modulneigung von 20° auf der Planfläche dar, der für den entsprechenden Betrachtungspunkt unter den gesetzten Annahmen gilt. Die roten Punkte stellen den Bereich für eine Modulneigung von 15° dar.

© Copyright 8.2

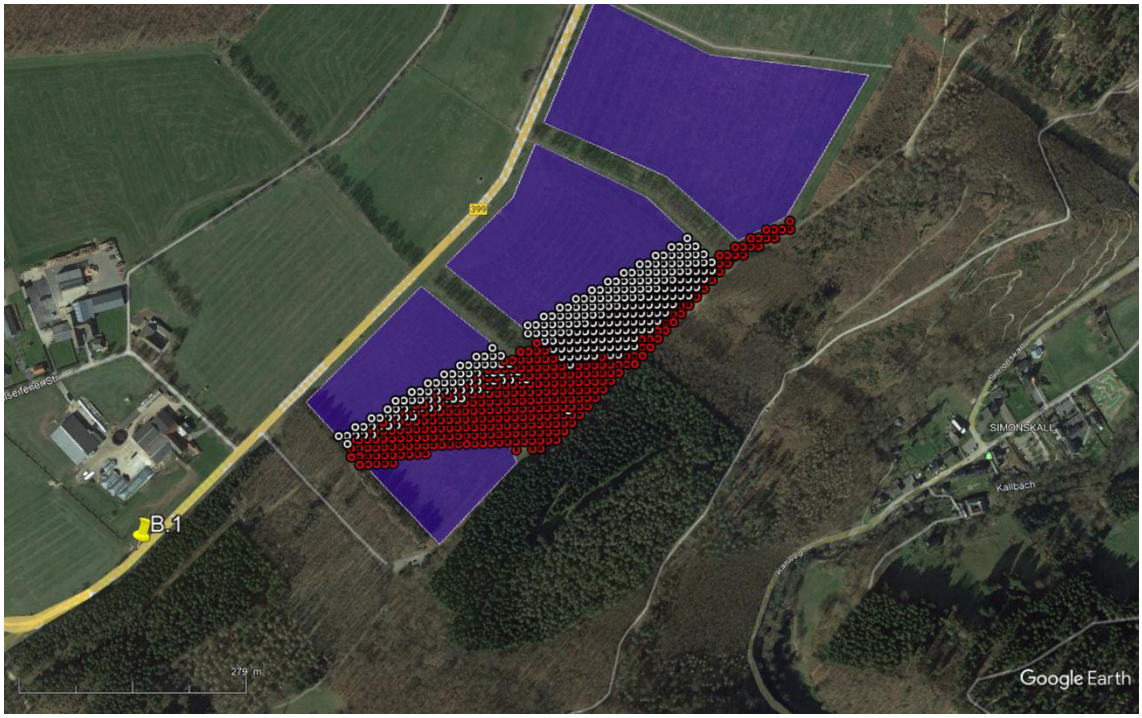


Abbildung 12: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B1 auf der Bundesstraße

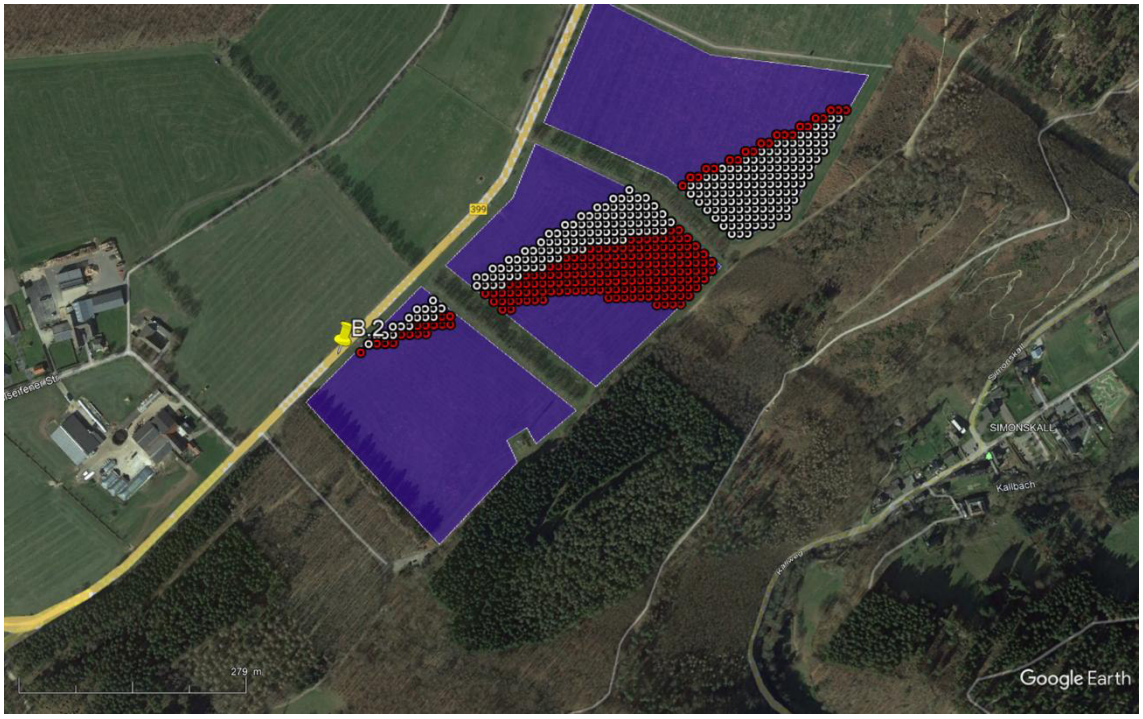


Abbildung 13: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B2 auf der Bundesstraße

© Copyright 8.2

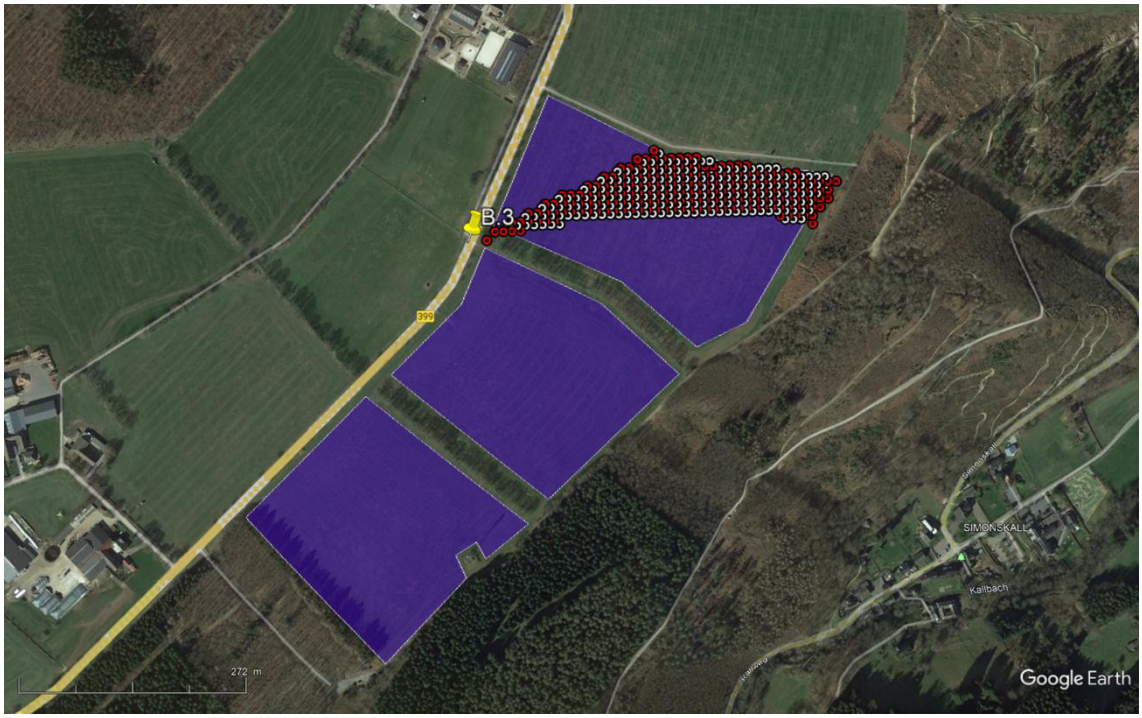


Abbildung 14: Spezifischer Emissionsbereich für Punkt B3 auf der Bundesstraße

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Wie in Kapitel C.3 ausgeführt ist das Sichtfeld von Fahrzeugführern je nach Geschwindigkeit eingeschränkt. Bei einer Geschwindigkeit von 60 km/h, die als zu erwartende Mindestgeschwindigkeit an dieser Stelle zugrunde gelegt wird, beträgt der Öffnungswinkel des Sichtfeldes 75°.

Das Sichtfeld der Fahrzeugführer ist in Abbildung 15 bis Abbildung 17 für die Punkte B1 bis B3 dargestellt. Das Sichtfeld der Fahrzeugführer ist 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 den einzelnen Punkten in Richtung der Module aufspannen, die zu Reflexionen in dem zugehörigen Punkt führen, siehe Tabelle 2 in Kapitel D.2.2.

© Copyright 8.2

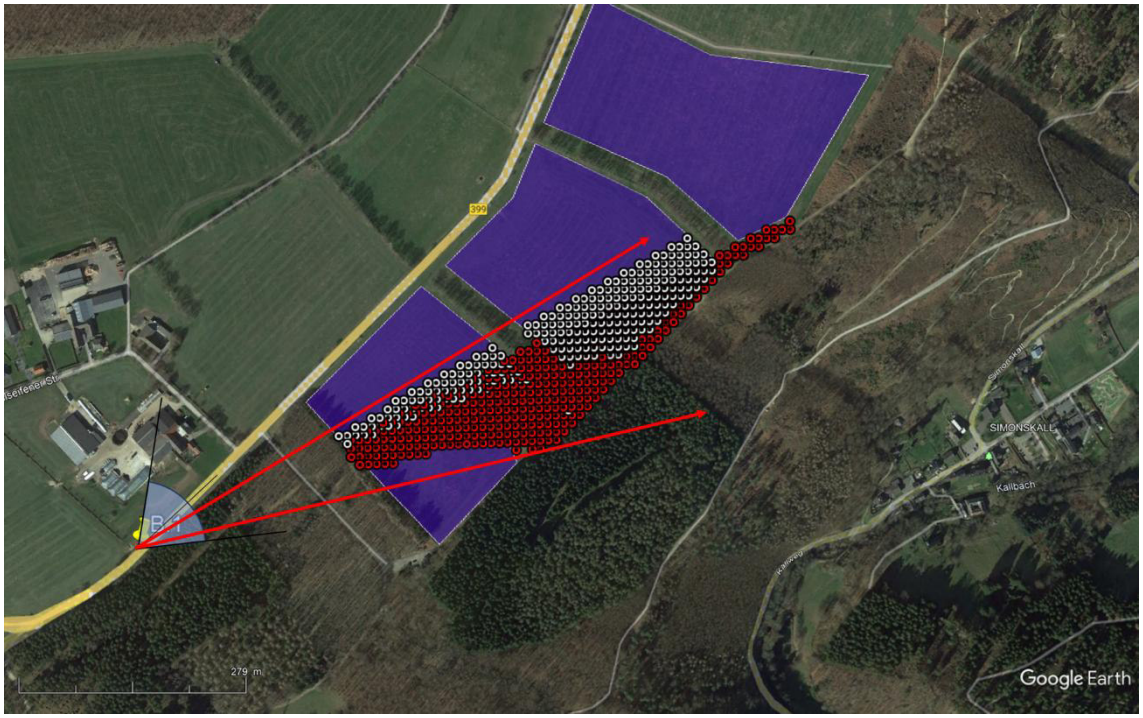


Abbildung 15: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B1 mit Grenzvektoren in Richtung Module

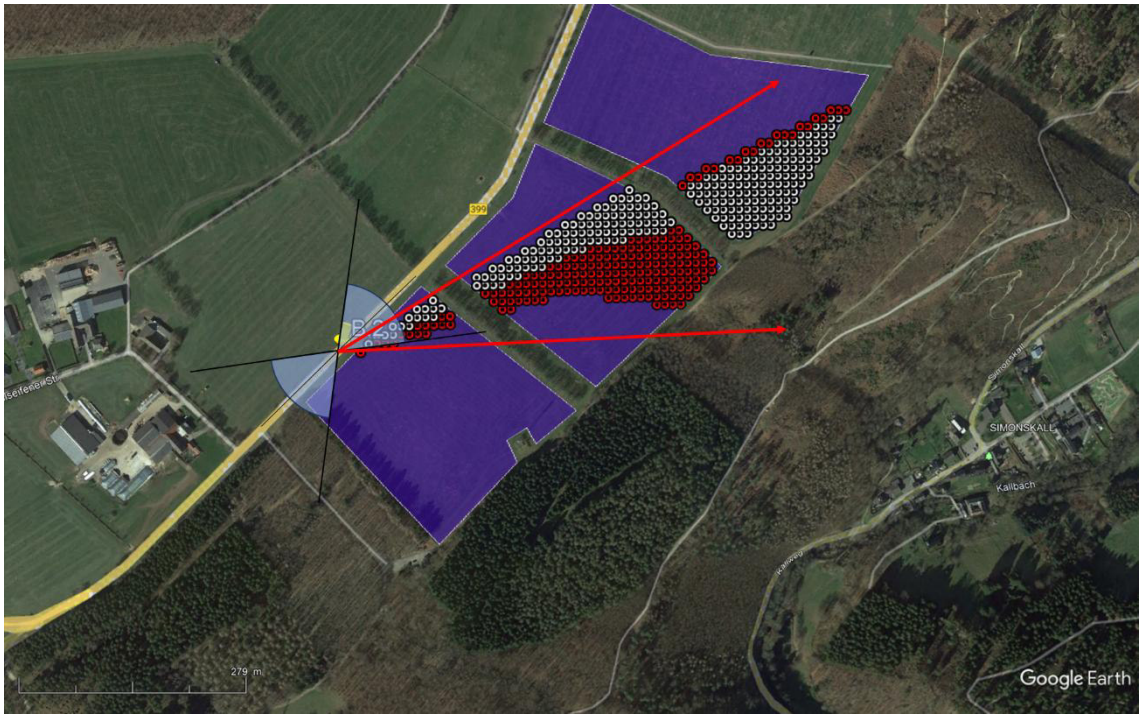


Abbildung 16: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B2 mit Grenzvektoren in Richtung Module

© Copyright 8.2

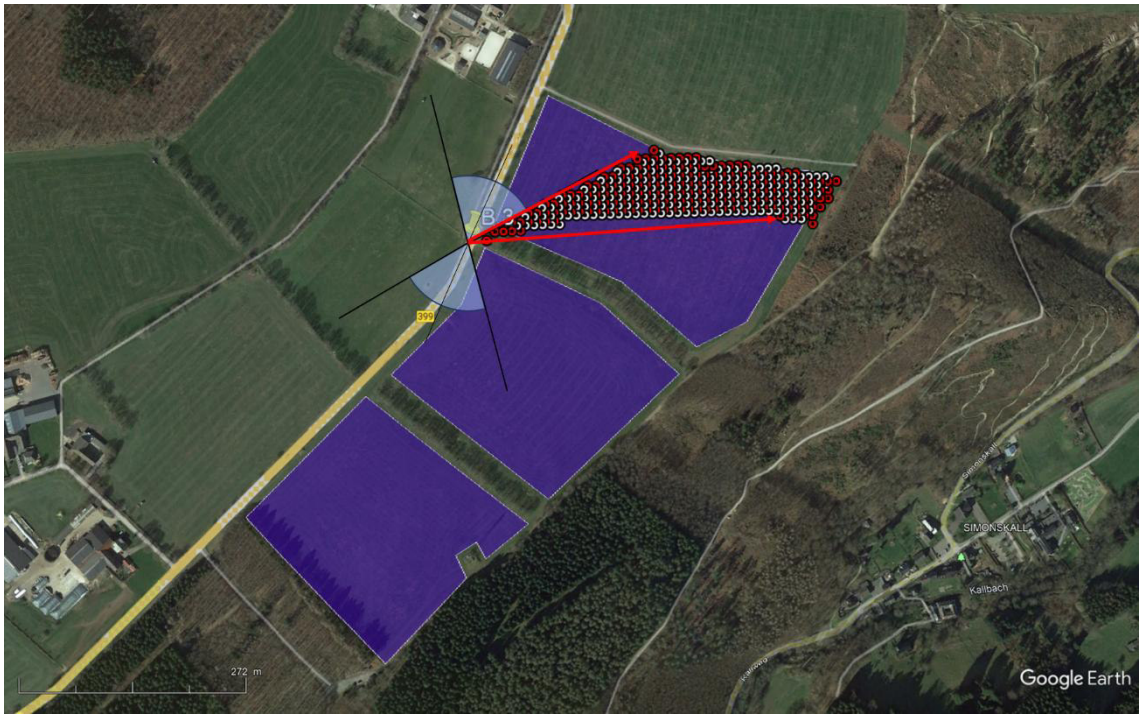


Abbildung 17: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt B3 mit Grenzvektoren in Richtung Module

Es zeigt sich für beide Fahrtrichtungen, dass für die Punkte B1 und B2 die Module mit Lichtemissionen innerhalb der Sichtbereiche der Fahrzeugführer liegen.

Eine Analyse des Sonnenstandes zeigt, siehe , dass zum Zeitpunkt der Lichtimmissionen in den Punkten B1 bis B3 die Sonne mit einem maximalen Winkel von 17,1° bei einer Modulneigung relativ tief steht. Die Differenz im Azimut zwischen dem Blickwinkel auf die reflektierenden Module und dem Blickwinkel auf die Sonne beträgt im Maximum 6,9°. Die Sonne steht damit nahezu hinter den Modulen.

Tabelle 3: Sonnenstand zum Zeitpunkt der Immissionen in B1 bis B3

Punkt	Azimut / Modulneigung	Höhe Sonne		Differenz Azimut Sonne Blickwinkel Modul	
	[°]	Min [°]	Max [°]	Min [°]	Max [°]
B1	170° & 180° / 20	7.6	12.1	3.4	4.9
B2	170° & 180° / 20	7.0	17.1	3.4	6.9
B3	170° & 180° / 20	5.0	16.8	3.4	6.6
B1	180° / 15	7.7	13.7	2.5	3.9
B2	180° / 15	6.1	14.9	2.5	4.7
B3	180° / 15	5.0	14.1	2.6	4.4

© Copyright 8.2

E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Bundestraße B399, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Hürtgenwald, Lichtimmissionen von März bis September in den Morgenstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in den Morgenstunden etwa zwischen 05:56 Uhr bis 06:58 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 17 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)[10] nicht berücksichtigt.

Die Ergebnisse in Kapitel D.2.3 zeigen weiterhin, dass die Reflexionen an den Punkten B1 und B2 in einem Winkel auf den Bundesstraße treffen, der erkennen lässt, dass reflektierende Module sich innerhalb des normalen Blickfeldes der Fahrzeugführer befinden. Dies gilt sowohl für eine Ausrichtung der Module von Azimut 180° und Modulneigung 15°, als auch für einen Azimut von 170°/180° bei einer Modulneigung von 20°. Die Analyse zeigt, dass in beiden Fällen zum Zeitpunkt der Lichtimmissionen die Sonne tief und nahezu hinter den Modulen steht. Aufgrund der Helligkeit der Sonne, die um rund einen Faktor 10 über der Helligkeit der reflektierenden Module liegt, ist davon auszugehen, dass Fahrzeugführer sich auf die Lichtverhältnisse der Sonne eingestellt haben und die reflektierenden Module bei beiden Ausrichtungsvarianten zu keiner Blendung führen. Eine Störung des Straßenverkehrs in den Punkten B1 und B2 ist eher unwahrscheinlich. Ein erhöhtes Unfallrisiko durch die Photovoltaikanlage ist nicht zu erkennen.

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

Aufgrund der Lage der Gebäude im Südwesten und Norden der Photovoltaikanlage kann davon ausgegangen werden, dass die Dauer der Lichtimmissionen unter den Richtwerten der LAI liegen werden. Es liegt somit keine erhebliche Belästigung vor.

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

© Copyright 8.2