



Prüfbericht

Berichtsart:	Blendgutachten
Projekt:	Rudersberg
Auftraggeber:	Markt Altomünster
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>73635 Rudersberg (48,412°N; 11,225°O), Germany</u>
Betreiber:	Energiebauern GmbH
Prüfberichtsnummer:	20K1835-PV-BG-Rudersberg-R00-JBS_DO-2020
Prüfdatum:	12.03.2020

8.2 Obst & Ziehmann GmbH

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

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.....	22
F. Anhang.....	23
F.1. Reflexionszeiten und Dauer.....	23
F.2. Reflexionszeiten im Sonnenverlaufdiagramm	28
F.3. Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer mit Blickfeld in Richtung Module.....	31

Bildverzeichnis

Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit.....	12
Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.....	13
Abbildung 3: Google Earth ©2018 Lageplan der Planfläche	14
Abbildung 4: Sicht über die Planfläche von Nordwest nach Südost	15
Abbildung 5: Sicht über die Planfläche von Ost nach West entlang der nördlichen Grenze	15
Abbildung 8: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul.....	16
Abbildung 9: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs.....	17
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer für Immissionen in Punkt 2 für LKW.....	18
Abbildung 10: Reflexionszeiten und Dauer für Immissionen in Punkt 2 für PKW	18
Abbildung 11: Reflexionszeiten zu Punkt 2 im Sonnenverlaufdiagramm	19
Abbildung 12: Für Punkt P2 spezifischer Emissionsbereich auf der Planfläche für PKW (links) LKW (rechts)	19
Abbildung 13: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt 2 mit Grenzvektoren in Richtung Module.....	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Revisionsübersicht.....	4
Tabelle 2:	Winkelbetrachtungen zu Vektor OS und Vektor OM ($N=0^\circ$)	20

Tabelle 1 Revisionsübersicht

Version	Modifikationen
20K1835-PV-BG-Rudersberg-R00-JBS_DO-2020	Ursprungsversion 13.03.2020

ENTWURF

I. Inhalt und Nutzung des Berichts

8.2 Obst & Ziehmann GmbH (im Folgenden: 8.2 Obst & Ziehmann) wurde vom Auftraggeber beauftragt, diesen Bericht zu erstellen. Der Bericht fasst die Erkenntnisse aus Vor-Ort-Termin(en) und/oder der Prüfung projektspezifischer Unterlagen, welche durch den Auftraggeber bereitgestellt wurden, zusammen. Der Bericht wurde ausschließlich zur Nutzung durch den Auftraggeber erstellt und dessen Inhalt ist vertraulich und urheberrechtlich geschützt. Der Bericht darf ausschließlich vom Auftraggeber und dessen Beratern, die zur Vertraulichkeit verpflichtet sind, für den vorgesehenen Zweck verwendet werden. Der Bericht dient weder zur Information, noch zum Schutz anderer Personen als dem Auftraggeber und darf weder von anderen Personen noch zu anderen Zwecken genutzt werden. Der Auftraggeber ist nicht berechtigt, die im Bericht enthaltenen vertraulichen Informationen offen zu legen, zu veröffentlichen, zu vervielfältigen oder anderweitig an Dritte weiter zu geben, ohne das vorherige schriftliche Einverständnis von 8.2 Obst & Ziehmann.

II. Ergänzende Informationen zu Haftungsausschlüssen

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

- 1.) Die Genauigkeit der bereitgestellten Informationen kann die Genauigkeit des Berichts beeinflussen. 8.2 Obst & Ziehmann geht davon aus, dass die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Informationen wahr, vollständig, akkurat, nicht irreführend und aktuell sind. In der Regel werden Informationen lediglich in Kopie zur Verfügung gestellt. 8.2 Obst & Ziehmann betrachtet diese bereitgestellten Kopien als wahre und vollständige Reproduktionen der jeweiligen Originale. Weder die Echtheit der enthaltenen Informationen noch die Befugnis der Unterzeichner wurde geprüft. 8.2 Obst & Ziehmann geht davon aus, dass der Informationsgehalt gültig und bindend für die beteiligten Parteien ist.
- 2.) Im Hinblick auf Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge aus Dokumenten, die 8.2 Obst & Ziehmann zur Verfügung gestellt wurden, ist 8.2 Obst & Ziehmann nicht in der Lage zu beurteilen, ob diese Zusammenfassungen, Tabellen und Auszüge vollständig fehlerfrei sind und alle Informationen enthalten, die für eine endgültige Einschätzung der Tatsachen, auf die sie sich beziehen, wichtig sind.
- 3.) Der Bericht basiert ausschließlich auf den Informationen und Dokumenten, die 8.2 Obst & Ziehmann vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden. Es ist nicht auszuschließen, dass neben den zur Verfügung gestellten Informationen und Dokumenten weitere Informationen und/oder Dokumente für die Erstellung dieses Berichts wichtig gewesen wären, die nicht an 8.2 Obst & Ziehmann weitergegeben wurden.
- 4.) Der Bericht sollte nicht als Äquivalent zu einem voll umfassenden formellen spezialisierten Sachverständigen-gutachten betrachtet werden. Der Bericht wurde als Zusammenfassung der wichtigsten Fragen und Bedenken, die sich aus den bereitgestellten Informationen ergeben, erstellt. Grundsätzlich sollte der Bericht nicht als Ersatz für eine spezifische Beratung zu spezifischen Sachlagen in Bezug auf das Projekt behandelt werden. In solchen Fällen kann eine zusätzliche eingehende Beratung notwendig werden.
- 5.) Jegliche rechtliche, kommerzielle, finanzielle, versicherungstechnische, steuerliche oder buchhalterische Stellungnahmen werden in diesem Bericht explizit ausgeschlossen.
- 6.) Unter der Voraussetzung, dass der Bericht sich auf Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge vom Auftraggeber und/oder von Dritten (die im Bericht angegeben werden) bezieht oder darauf beruht, bleiben diese Personen alleinig für die Inhalte verantwortlich. 8.2 Obst & Ziehmann macht sich die vom Auftraggeber und von den vorgenannten Dritten getätigten Notizen, Berichte, Aussagen, Meinungen oder Ratschläge ausdrücklich nicht zu Eigen.
- 7.) Bestimmte Informationen, die vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt wurden, können vertraulich sein. 8.2 Obst & Ziehmann geht daher davon aus, dass alle Informationen vom Auftraggeber rechtmäßig zur Verfügung gestellt wurden, dass 8.2 Obst & Ziehmann zur Nutzung der Informationen für den Bericht berechtigt ist und dass 8.2 Obst & Ziehmann berechtigt ist, den Bericht und/oder dessen Inhalte anderen Projektteilnehmern in Übereinstimmung mit projektbezogenen Geheimhaltungsvereinbarungen weitergeben zu dürfen. Jegliche Haftung für nicht-projektbezogene Geheimhaltungsvereinbarungen wird ausgeschlossen.
- 8.) Soweit Informationen und Dokumente vom Auftraggeber in anderen Sprachen als Deutsch oder Englisch zur Verfügung gestellt wurden, beschränkte sich die Prüfung von 8.2 Obst & Ziehmann auf eine Plausibilitätskontrolle ohne Detailanalyse und Detailbewertung dieser Informationen und Dokumente.

Abkürzungen und Begriffe

Absolutblendung	Keine Anpassung des Auges möglich
Adaptionsblendung	Anpassung des Auges möglich.
Azimutwinkel	Winkel auf der horizontalen Ebene, der die Lage eines Objektes im Raum bezüglich einer Ausgangsrichtung, z.B. Nordrichtung, beschreibt.
Blendung	Im üblichen Sinne beschreibt dies, eine vorübergehende Funktionsstörung des Auges
Differenzwinkel	Winkel zwischen der Sichtlinie vom Immissionsort zum Reflexionsort (Solarmodul) und der Sichtlinie vom Immissionsort zur Sonne
Direkte Blendung	Direkte Einwirkung einer Lichtquelle
Emissionspunkt	Punkt von dem aus Licht ausgestrahlt wird
Feldverteiler /Verteiler	Sammelt Modulstränge und leitet den Strom weiter zum Hauptverteiler (HV)
Höhenwinkel	Beschreibt die Höhe der Sonne über dem Horizont
Immissionspunkt	Punkt an dem Licht von einer externen Quelle auftrifft
Indirekte Blendung	Ausgelöst durch Reflexionen einer Lichtquelle
Physiologische Blendung	Beeinträchtigung der Sehleistung
Psychologische Blendung	Subjektiv empfundene Blendung ohne messbare Beeinträchtigung der Sehleistung
PV-Modul / Modul	Einzelnes Solarmodul, kleinste elektrische Leistungseinheit innerhalb der Solaranlage
Solargenerator	Gesamtes Modulfeld
Sonnenbahn	Der Verlauf der Sonne im Jahresverlauf definiert durch Azimut und Höhenwinkel
Strang / Modulstrang	Besteht aus einer bestimmten Anzahl in Reihe geschalteter PV-Module.
Vektor OM	Vektor von Betrachtungspunkt (Ortspunkt) O zum Modul in der Photovoltaikfläche
Vektor OS	Vektor von Ortspunkt O zur Sonne

A. Allgemeine Daten

A.1. Auftrag

Aufgabenstellung: Untersuchung über den Einfluss der Modulreflexionen auf die Umgebung der Solaranlage. Es wird untersucht, wann Reflexionen an verschiedenen Punkten der Ortsverbindungsstraße von Thalhausen nach Halmsried zu erwarten sind und welche Auswirkungen diese haben.

Auftraggeber: Markt Altomünster
St.-Althof 1
85250 Altomünster

Auftragsdatum: 20.02.2020

Auftragnehmer: 8.2 Obst & Ziehmann GmbH
Brandstwiete 4
20457 Hamburg

Prüfer: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt
Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Obst

Nummer des Prüfberichts: 20K1835-PV-BG-Rudersberg-R00-JBS_DO-2020

ENTWURF

A.2. Prüfungsumfang

Der Prüfungsauftrag umfasst die Bestimmung der einfallenden Modulreflexionen auf die östlich der Photovoltaikanlage vorbeiführende Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen. 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 Schriftliche Angaben zur Modulausrichtung
 - o Bebauungsplan Rudersberg Nr. 1 "Freiflächenphotovoltaikanlage nördlich von Rudersberg"
 - o Unterlagen zur Beteiligung der Träger öffentlicher Belange
 - o Ansichten zur Planfläche
- Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), (Stand: 08.10.2012)
- Reflexionsverhalten von Modulen (soweit bekannt)
- Daten aus Google Earth¹
- Daten der Online-Plattform „BayernAtlas“²

Hinweise:

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

A.4. Identifikation der Anlage

Die geplante Photovoltaikanlage Rudersberg soll westlich der Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen errichtet werden

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 173° (N=0°) und einem Neigungswinkel von 25° ausgerichtet. Die minimale Höhe der Gestellreihen über dem Boden wird mit 0,8 m, einem in Deutschland üblichen Planungswert, angenommen. Zur Höhe der Module liegen keine Angaben vor.

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 Rudersberg wurde eine Untersuchung über die Reflexionen der Sonne an den Modulen und deren Auswirkungen auf Immissionsorte auf der Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen durchgeführt.

Die Untersuchung zeigt, dass auf der Verbindungsstraße Lichtimmissionen von Mitte Februar bis Mitte Oktober in den Abendstunden zu erwarten sind. Die maximale Dauer beträgt rund 57 Minuten. Die reflektierenden Module liegen nicht im Sichtfeld der Fahrzeugführer. Zudem weichen die Blickrichtung in Richtung reflektierende Module bzw. in Richtung Sonne nur wenig voneinander ab, so dass ein Blick in Richtung reflektierender Module mit gleicher Vorsicht, wie in Richtung Sonne erfolgen würde. Eine Gefährdung des Straßenverkehrs durch Lichtimmissionen ist nicht erkennbar.

Hamburg, 13. März 2020

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Behrschmidt

Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Obst

Dieser Bericht besteht aus 33 Seiten und ist bis Ende 2030 in der 8.2 Obst & Ziehmann GmbH hinterlegt (Dokumentationsfrist).

C. Grundlage

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sind die Lichtemissionen in Form von Reflexionen an den Modulen zu untersuchen und deren Auswirkungen auf die Autobahn 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.

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 Autobahn 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.

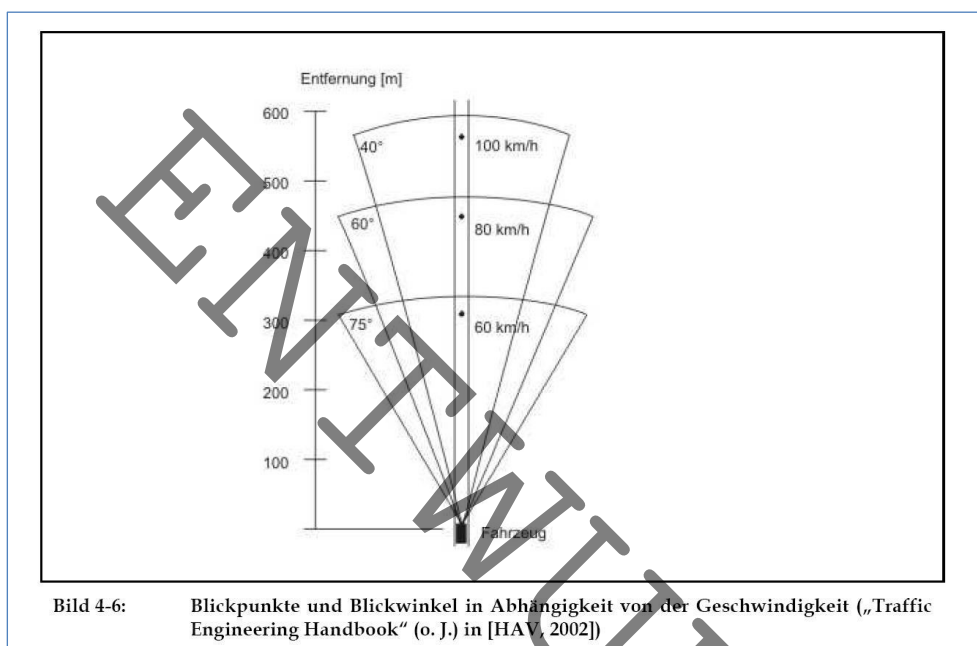


Abbildung 1: Öffnungswinkel Sehfeld in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit³

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

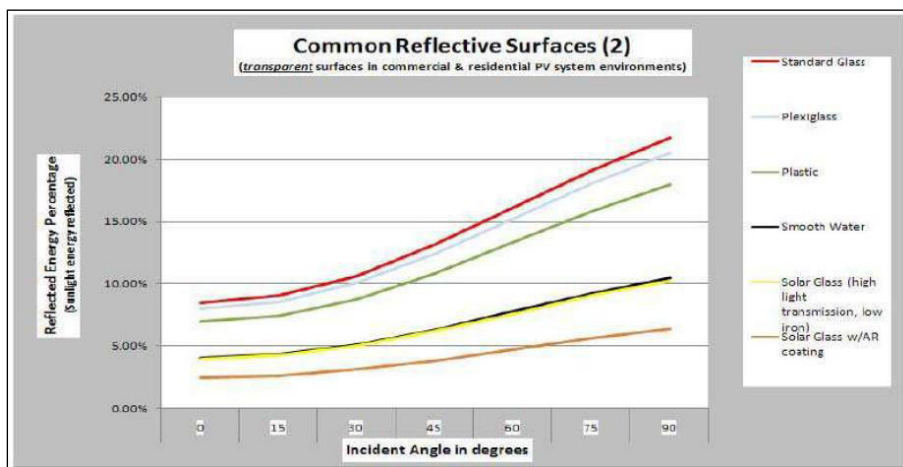


Abbildung 2: Reflexionsverhalten in Abhängigkeit vom Einfallswinkel⁴

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 $6 \cdot 10^6$ 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)

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 westlich der Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen. Die Straße beschreibt im Süden der Anlage eine Kurve nach Südwest. Das Höhengniveau der Straße über Normalnull beträgt im Untersuchungsbereich zwischen 481 m und 496 m. Das Höhengniveau der Planfläche variiert zwischen 480 m im südwestlichen Bereich und 494 m an der nördlichen Grenze, siehe Abbildung 3.



Abbildung 3: Google Earth ©2018 Lageplan der Planfläche

An der Südgrenze befindet sich eine Bauminsel. Die Wipfelhöhe beträgt schätzungsweise zwischen 4 und 8 m, siehe Abbildung 4.

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>



Abbildung 4: Sicht über die Planfläche von Nordwest nach Südost



Abbildung 5: Sicht über die Planfläche von Ost nach West entlang der nördlichen Grenze

Die Module werden nach Süden mit einem Azimut von 173° ($N=0^\circ$) und einem Neigungswinkel von 25° 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 liegt nicht vor. Nach B-Plan kann diese bis zu 3,2 m betragen.

D.1.2. Vorgehensweise

Für die nachfolgend beschriebene geometrische Betrachtung werden auf der Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen repräsentative Punkte festgelegt. Für die einzelnen Punktepaare werden, wie später beschrieben, Reflexionsbetrachtungen durchgeführt.

Für die Analyse der Reflexionen wird ein Netz mit einer Gitterweite von 3 m über die Planfläche gelegt. Die Gitterpunkte dienen als Referenzpunkte.

Auf der Straße werden für die Punkte 1 bis 7 untersucht, 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 Autofahrer wird mit 3,0 m für LKW und 1,2 m für PKW über Fahrbahnniveau angesetzt.

Die Bewertung der Lichtemissionen des Solarparks erfolgt in zwei Schritten. In Schritt 1 wird für die Punkte auf der Straße in Bezug auf die Punkte auf der Photovoltaikfläche der Ort einer Lichtquelle (Emissionsort) ermittelt, der zu Lichtemissionen auf der Straße führt. Der Emissionsort wird definiert durch Azimut α und Höhenwinkel h° . Im zweiten Schritt werden die Koordinaten der berechneten Emissionsorte mit dem Sonnenstand der Sonne im Jahresverlauf verglichen.

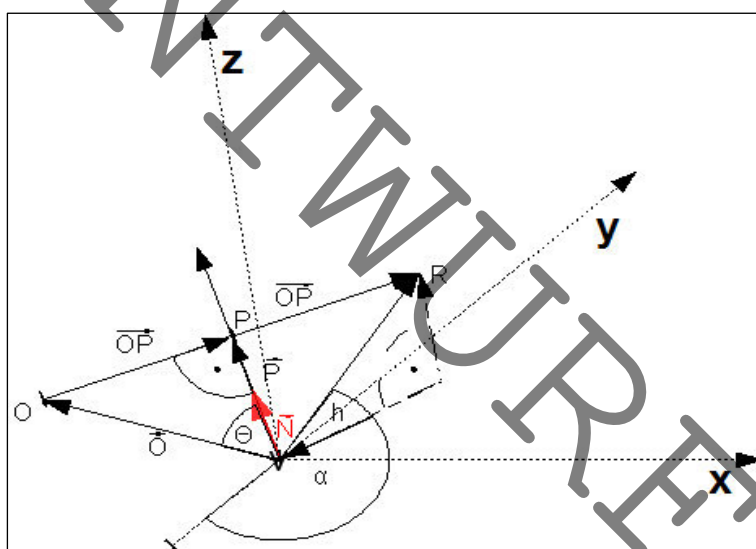


Abbildung 6: Geometrische Betrachtung der Reflexion am geneigten Modul

Die Bestimmung der Emissionsorte erfolgt anhand der Darstellung in Abbildung 6. Der Nullpunkt des Koordinatensystems befindet sich in der Modulebene. Punkt O steht für den Ort außerhalb der Photovoltaikanlage, der auf Lichtemissionen 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 7, 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 -117° bis $+111^\circ$ und für den Höhenwinkel h von 0° bis 65° .

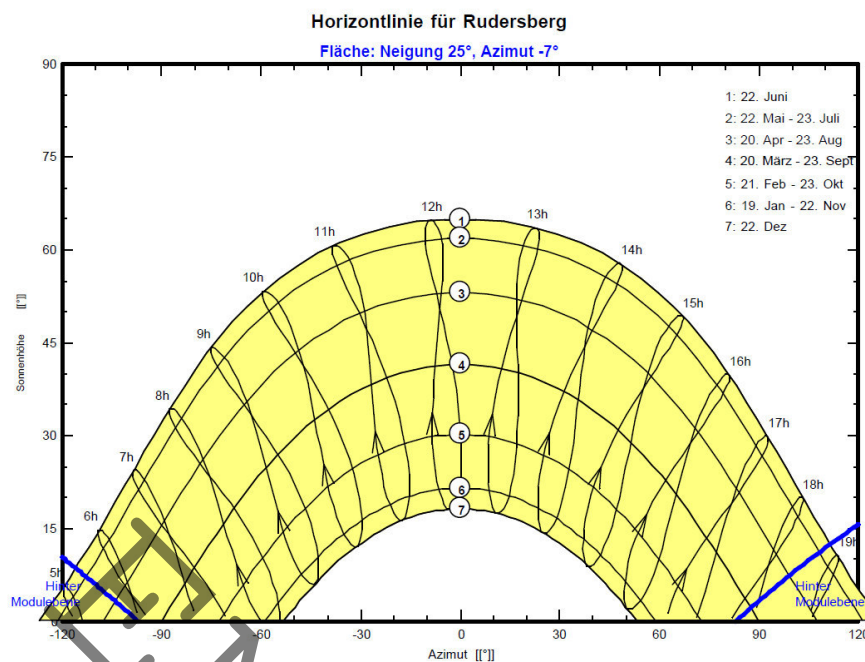


Abbildung 7: Horizontdarstellung des Sonnenlaufs

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.

Die Analyse zeigt für die Punkte 1 und 6, dass auf der Verbindungsstraße in diesen Punkten keine Lichtimmissionen zu erwarten sind, die von der östlichen Planfläche ausgehen. Lichtimmissionen sind in den Punkt 2 bis 5 und in Punkt 7 zu erwarten. Die Lichtimmissionen erfolgen in den Abendstunden von Mitte Februar bis Mitte Oktober im Zeitraum zwischen 16:56 Uhr bis 18:16 Uhr. Die Dauer der Lichtimmissionen beträgt im Maximum in Punkt 2 rund 57 Minuten für LKW Fahrer und 21 Minuten für PKW Fahrer in Punkt 4.

Die Tage und die Zeiten, zu denen Reflexionen wahrnehmbar sind, sind in den nachfolgenden Diagrammen Abbildung 8 und Abbildung 9 beispielhaft für LKW-Fahrer und PKW Fahrer in Punkt 2 dargestellt. Die Diagramme der weiteren Punkte finden sich im Anhang F.1. 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.

Im Diagramm Abbildung 8 und Abbildung 9 stellen die Werte der linken Ordinate die Uhrzeiten dar, in denen die Blendung am Immissionsort auftritt. Die Werte der rechten Ordinate stellen die Anzahl der Minuten pro Tag dar, in denen eine Blendung am Immissionsort auftritt.

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

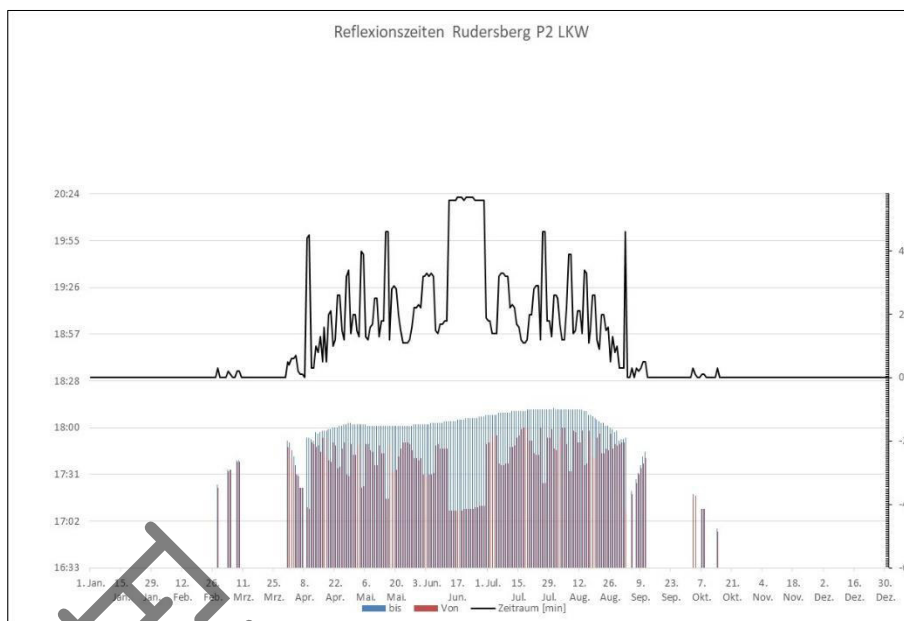


Abbildung 8: Reflexionszeiten und Dauer für Immissionen in Punkt 2 für LKW

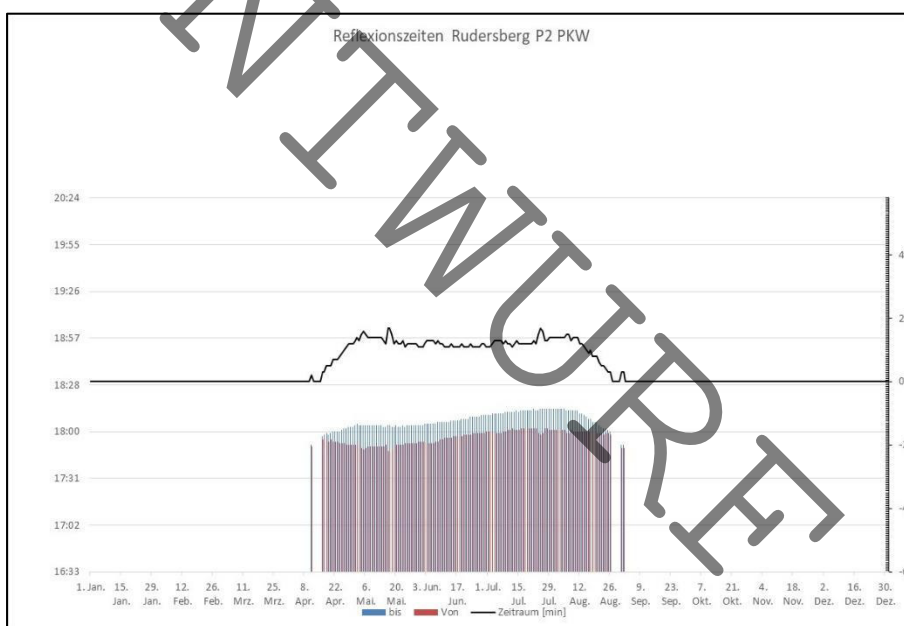


Abbildung 9: Reflexionszeiten und Dauer für Immissionen in Punkt 2 für PKW

Im Sonnenverlaufsdigramm, in dem der Sonnenverlauf über dem Azimut auf der Abszisse und der Sonnenhöhe auf der Ordinate aufgetragen wird, stellen sich die Zeiten für Punkt 2 wie in Abbildung 10 dargestellt dar. Die farbigen Linien geben den Sonnenverlauf an verschiedenen Tagen im Jahr wieder. Die äußere Bahn bezieht sich auf den 22. Juni, während sich die innere Verlaufsbahn auf den 21. Dezember bezieht. Die Zahlen geben die Uhrzeit wieder, zu dem die Sonne den zugehörigen Punkt erreicht. Die schwarzen Bereiche kennzeichnen die Zeiträume, in denen Lichtimmissionen am entsprechenden Immissionspunkt zu erwarten sind.

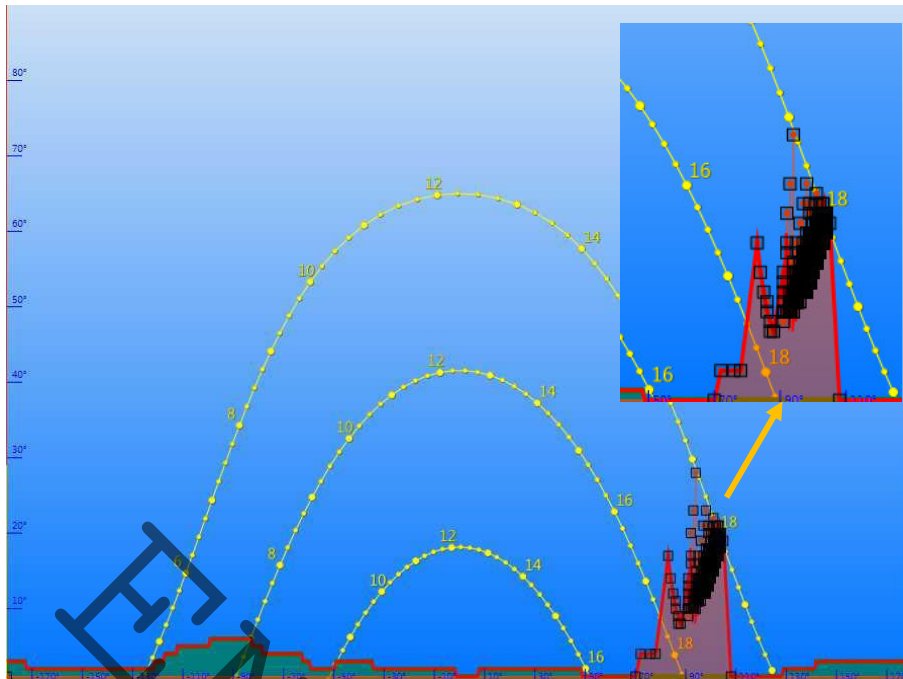


Abbildung 10: Reflexionszeiten zu Punkt 2 im Sonnenverlaufdiagramm

Die Reflexionszeiten im Sonnenverlaufdiagramm für alle Punkte mit Lichtimmissionen sind im Anhang F.2 dargestellt.

Die folgenden Grafiken in Abbildung 11 zeigen für Punkt 2 die Bereiche, von denen Lichtemissionen ausgehen, die in Punkt 2 zu Lichtimmissionen führen, getrennt nach PKW und LKW. Es zeigt sich, dass die Bereiche sehr ähnlich sind und der Bereich für die LKW den Bereich, der für die PKW ermittelt wurde, umfasst. Daher können die Bereiche zusammengefasst und im Ganzen, also für PKW und LKW gemeinsam, betrachtet werden. Die Ähnlichkeit der Bereiche zeigt, dass die Sitzhöhe der Fahrzeugführer einen eher geringen Einfluss auf die geometrische Betrachtung hat. Somit kann auch davon ausgegangen werden, dass die Betrachtungen ähnlich sind, wenn man diese für die Oberkante der Modulreihen durchführt.

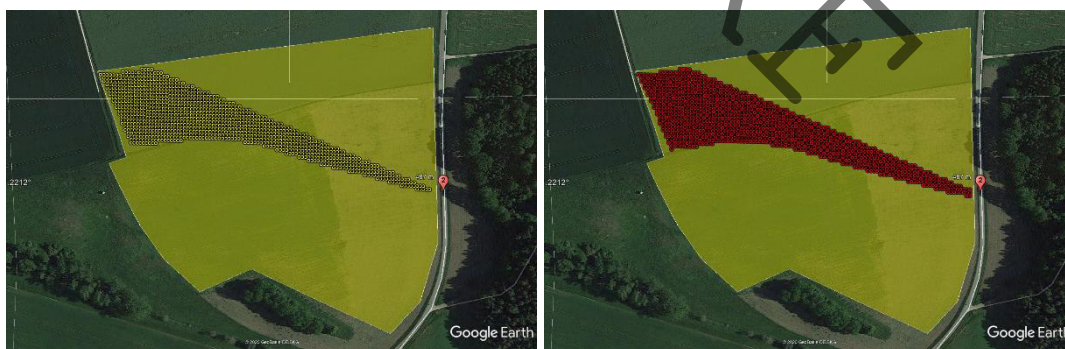


Abbildung 11: Für Punkt P2 spezifischer Emissionsbereich auf der Planfläche für PKW (links) LKW (rechts)

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

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

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

Ortspunkt	Azimut Sonne zum Zeitpunkt von Emissionen		Azimut Vektor OM (Ortspunkt zu Modul)		Differenz Azimut Sonne - Azimut Vektor OM		Differenz Vektor OM zum Vektor OS
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Ortsstraße P2 LKW	284.1	252.0	291.8	258.7	-4.1	-17.3	41.5
Ortsstraße P2 PKW	284.6	270.8	291.4	275.7	-4.1	-8.3	20.7
Ortsstraße P3 LKW	284.3	265.7	291.4	271.9	-4.1	-11.9	29.4
Ortsstraße P3 PKW	284.7	272.7	291.4	276.9	-4.1	-8.1	20.6
Ortsstraße P4 LKW	283.6	258.3	291.4	263.1	-4.3	-12.3	29.5
Ortsstraße P4 PKW	284.3	263.8	291.4	268.1	-4.2	-9.5	23.6
Ortsstraße P5 LKW	282.2	276.1	291.4	284.6	-8.4	-9.7	24.3
Ortsstraße P5 PKW	282.6	276.5	291.4	284.6	-8.1	-9.3	23.3
Ortsstraße P7 LKW	282.3	251.1	291.0	256.0	-4.2	-13.7	32.4
Ortsstraße P7 PKW	284.0	272.6	291.0	277.1	-4.2	-7.7	19.4

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

D.2.3. Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Reflexionen

Wie in 0 ausgeführt ist das Sichtfeld von Fahrzeugführern je nach Geschwindigkeit eingeschränkt. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h, die als zu erwartende Mindestgeschwindigkeit an dieser Stelle zugrunde gelegt wird, beträgt der Öffnungswinkel des Sichtfeldes 90° (siehe Kapitel 0).

Das Sichtfeld der Fahrzeugführer ist in Abbildung 12 für Punkt 2 in blau dargestellt. Der obere Kegel gibt das Sichtfeld für Fahrzeuge wieder, die Richtung Norden unterwegs sind, und der untere Kegel das Sichtfeld der Fahrzeugführer mit Fahrtrichtung Süden. Die roten Pfeile geben die Grenzvektoren wieder, die das Vektorfeld der Sichtbeziehung von Punkt 2 in Richtung der Module aufspannen, die zu Reflexionen in dem zugehörigen Punkt führen, siehe Tabelle 2 in Kapitel D.2.2.

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

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



Abbildung 12: Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer für Punkt 2 mit Grenzvektoren in Richtung Module

Ein ähnliches Bild ergibt sich für die Punkt 3 bis 5 und für Punkt 7, siehe die Darstellungen im Anhang F.3.

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

E. Bewertung

Aus den Ergebnissen der geometrischen Reflexionsbetrachtung in Kapitel D.2.2 geht hervor, dass auf der Verbindungsstraße von Rudersberg nach Thalhausen, aufgrund von Reflexionen an den Modulen der Photovoltaikanlage Rudersberg, Lichtimmissionen in den Punkten 2 bis 5 und Punkt 7 von Mitte Februar bis Mitte Oktober in den Abendstunden zu erwarten sind. Diese Immissionen treten in etwa zwischen 16:56 Uhr bis 18:16 Uhr auf. Die Dauer beträgt im Maximum 57 Minuten. Bei dieser Betrachtung wurden Ereignisse, bei denen der Differenzwinkel zwischen Reflexionsort und Sonne kleiner 10° beträgt, entsprechend der Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI)¹¹ nicht berücksichtigt.

In den Punkten 1 und 6 sind Lichtimmissionen durch Reflexionen der Sonne an den Modulen nicht erkennbar.

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

Zum Zeitpunkt der Lichtimmissionen liegen der Reflexionsort im Photovoltaikfeld und die Sonne nahe beieinander. Dies bedeutet, dass ein Hinwenden in Richtung Module einer Hinwendung in Richtung Sonne gleichkommt. Es ist davon auszugehen, dass eine Hinwendung zu den Modulen mit entsprechender Vorsicht erfolgt, so dass eine Blendung auszuschließen ist.

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

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

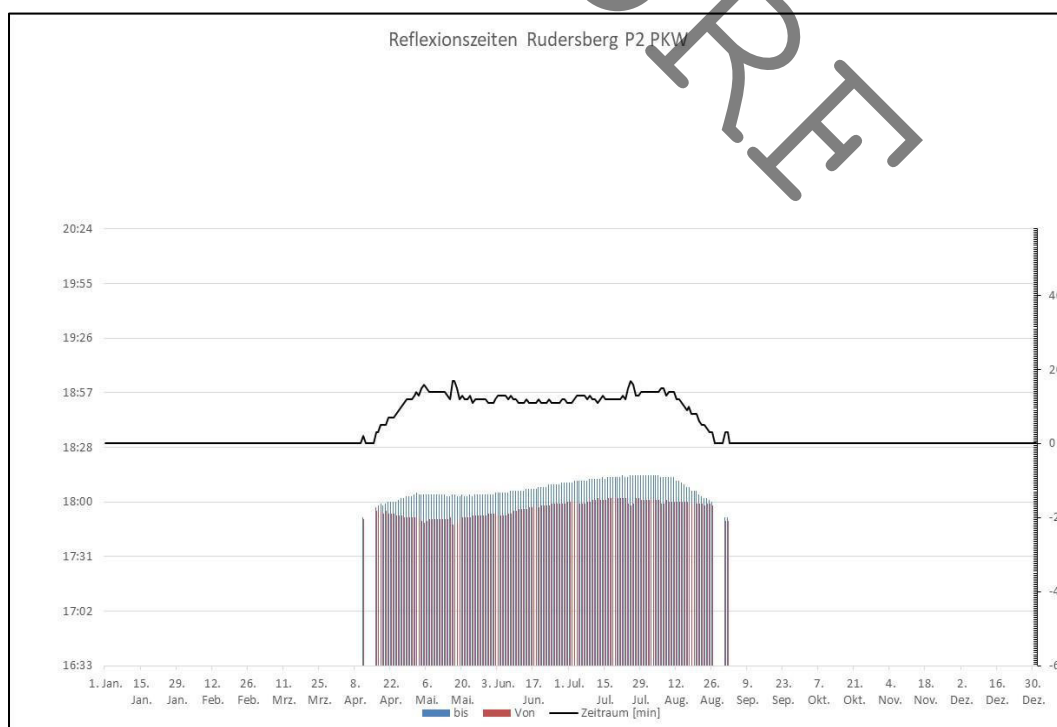
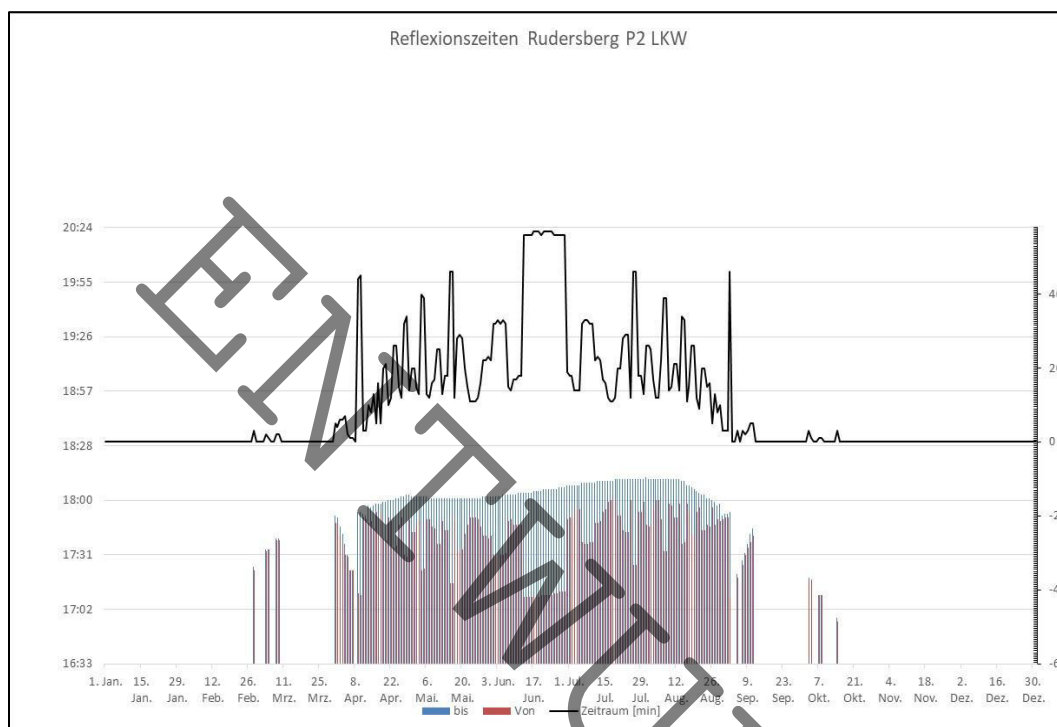
F. Anhang

F.1. Reflexionszeiten und Dauer

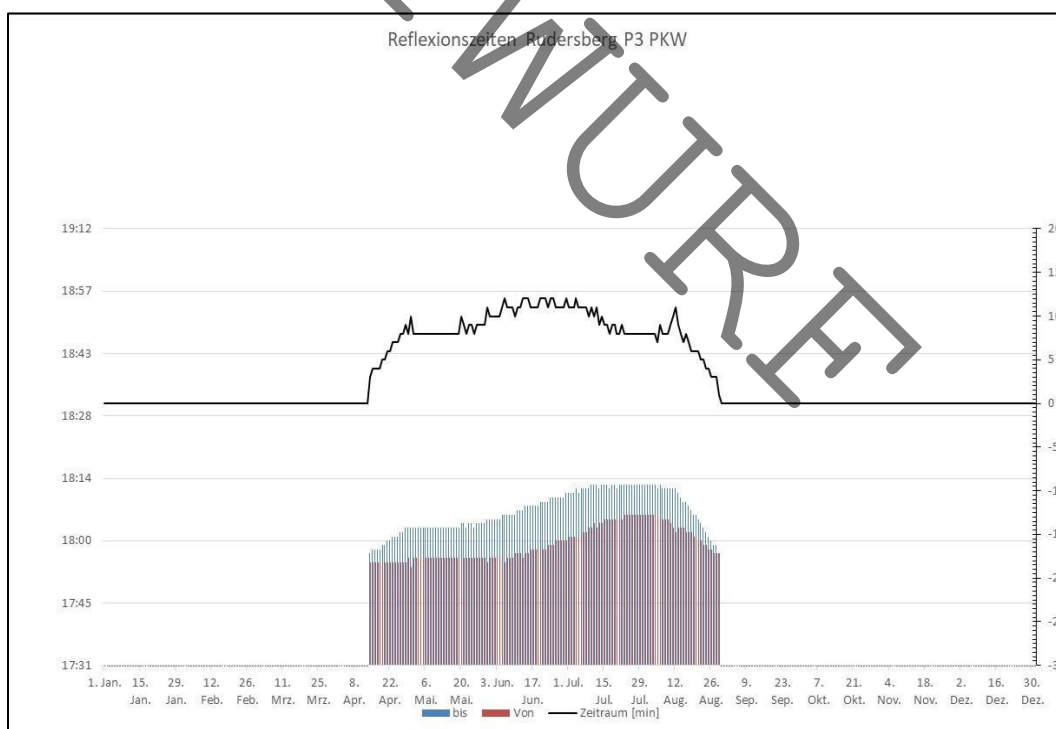
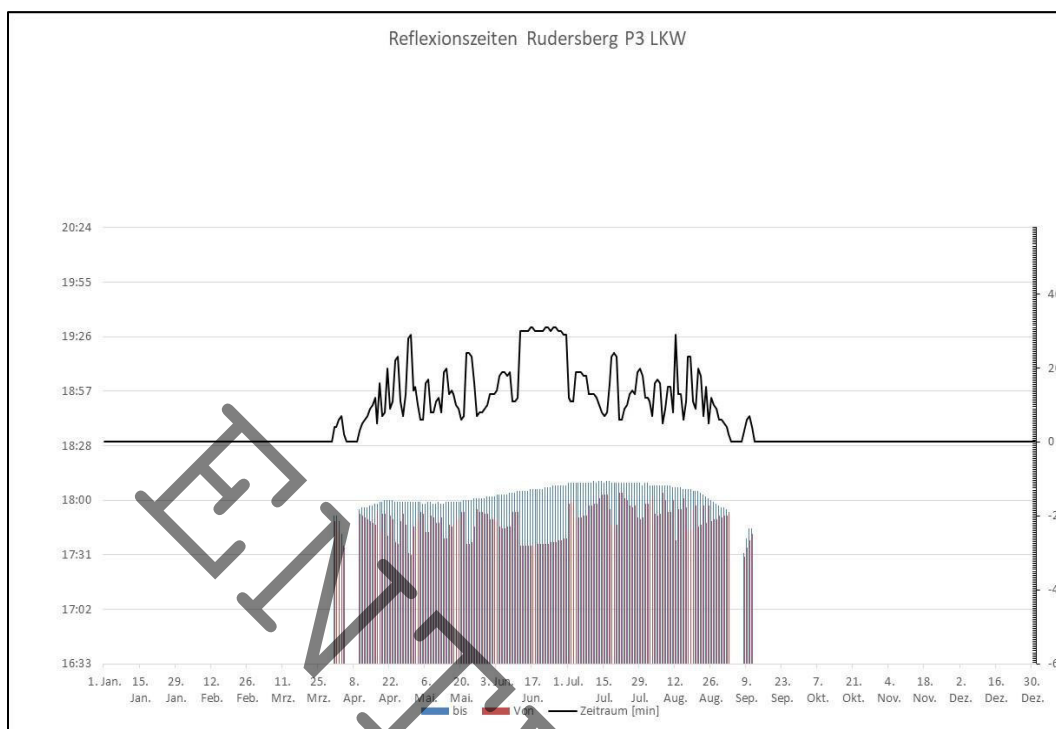
Verbindungsstraße Punkt 1 und Punkt 6

Keine Reflexionsereignisse feststellbar.

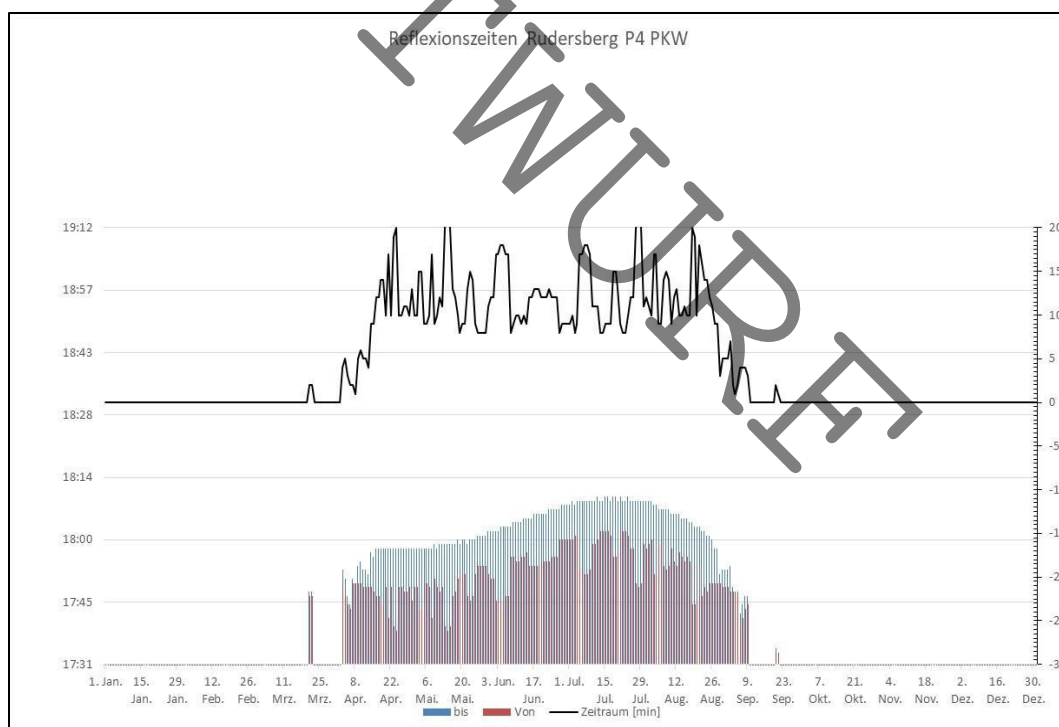
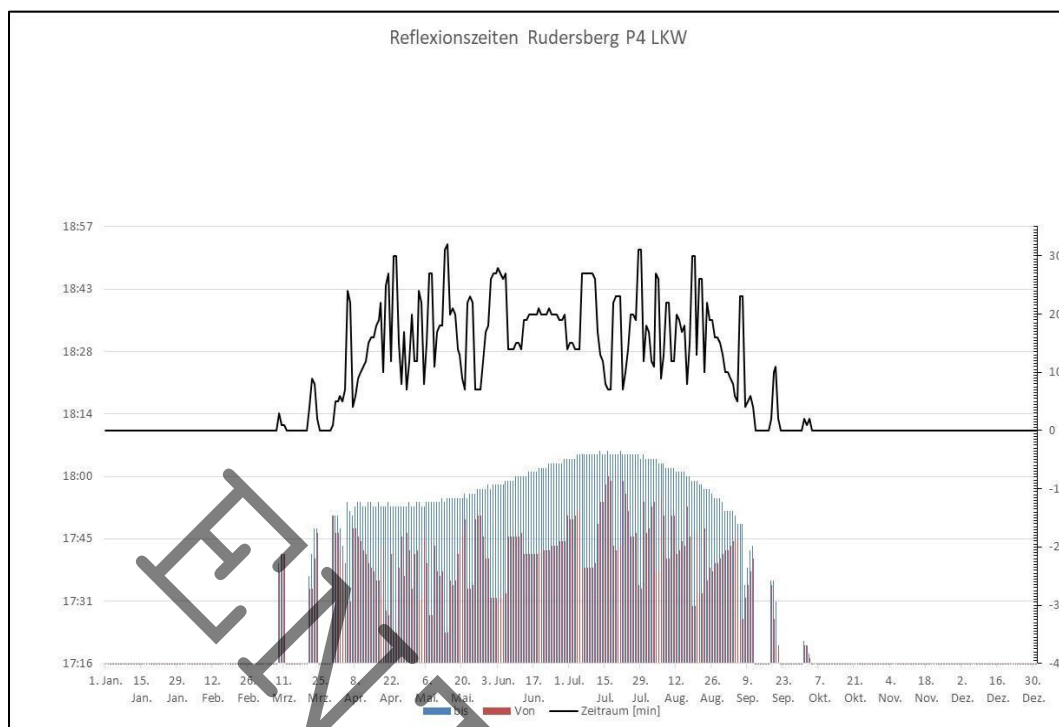
Verbindungsstraße Punkt 2



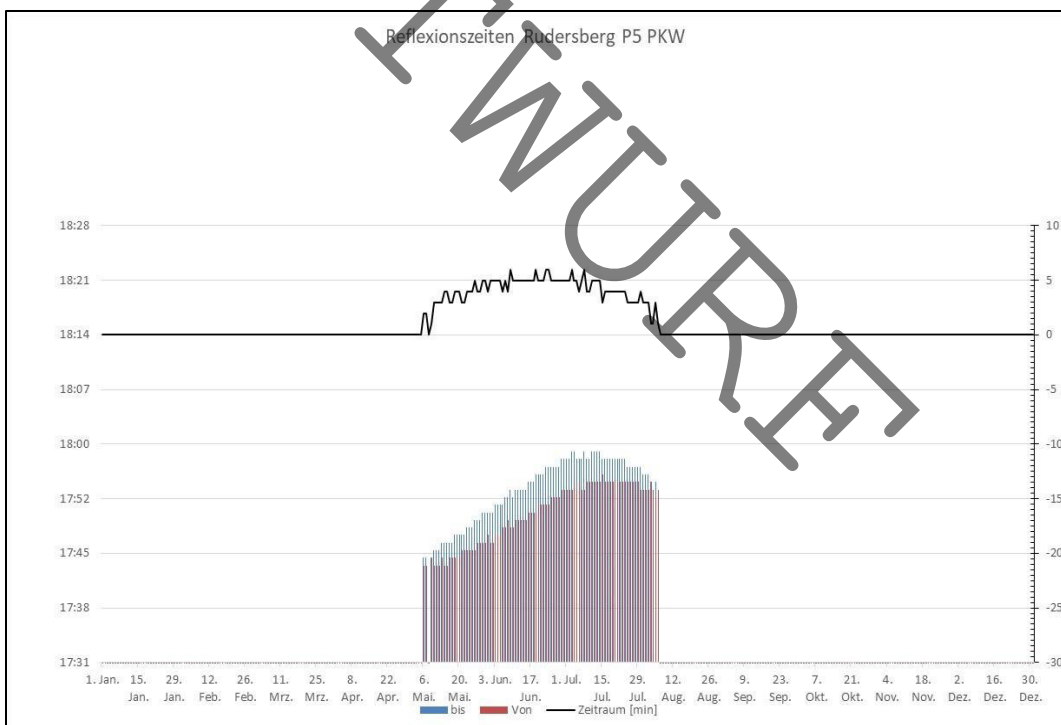
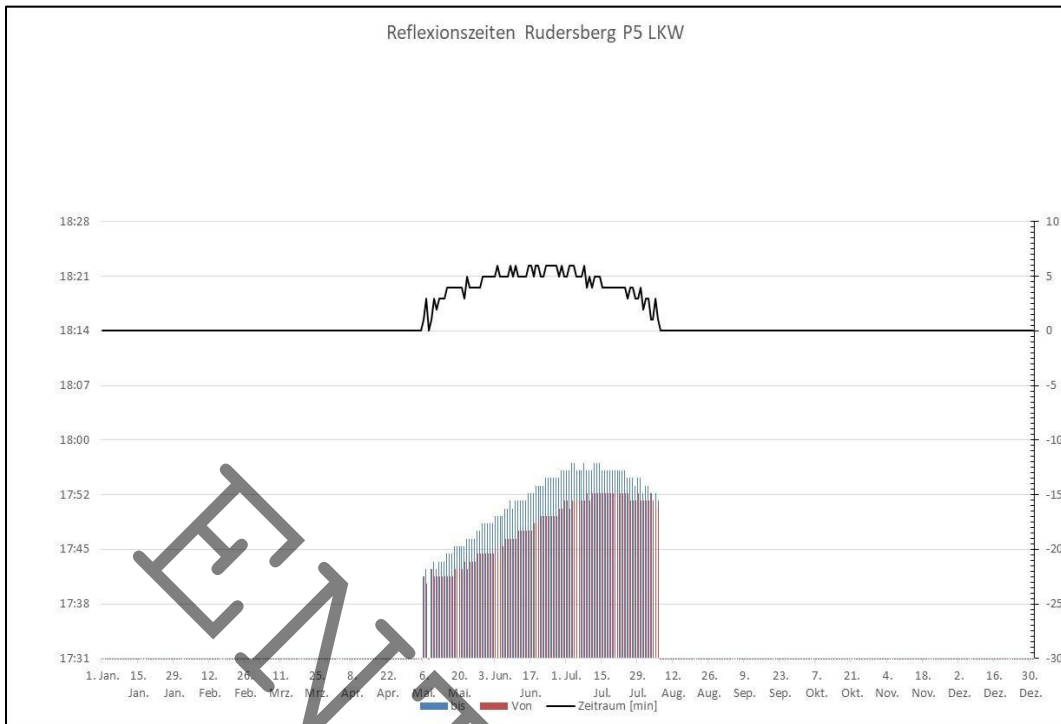
Verbindungsstraße Punkt 3



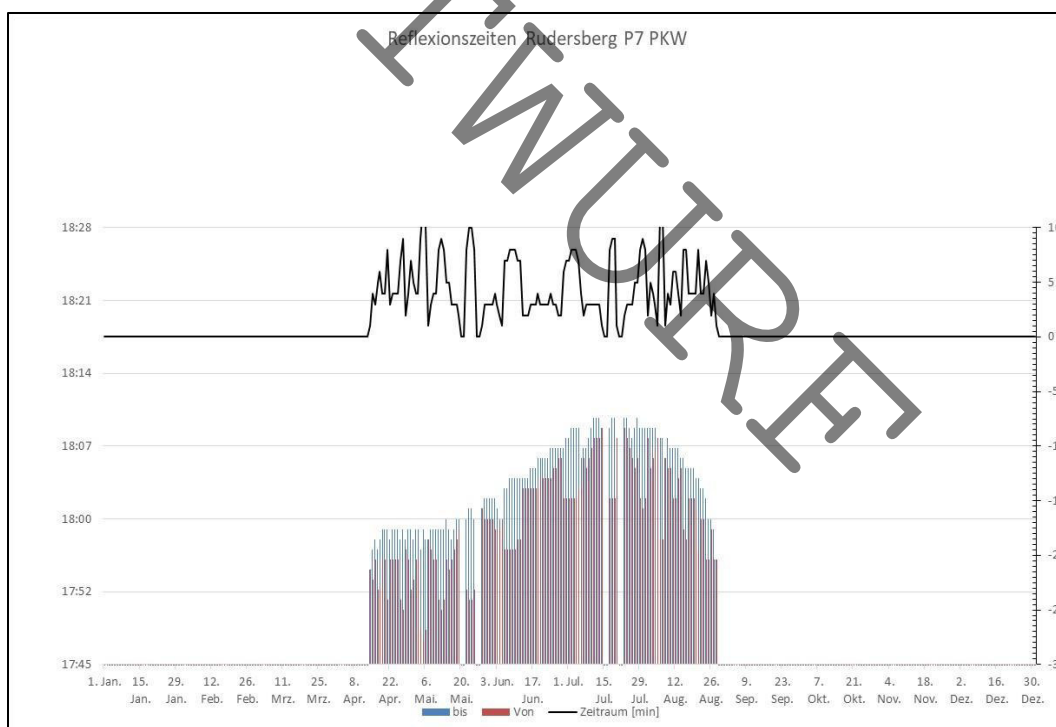
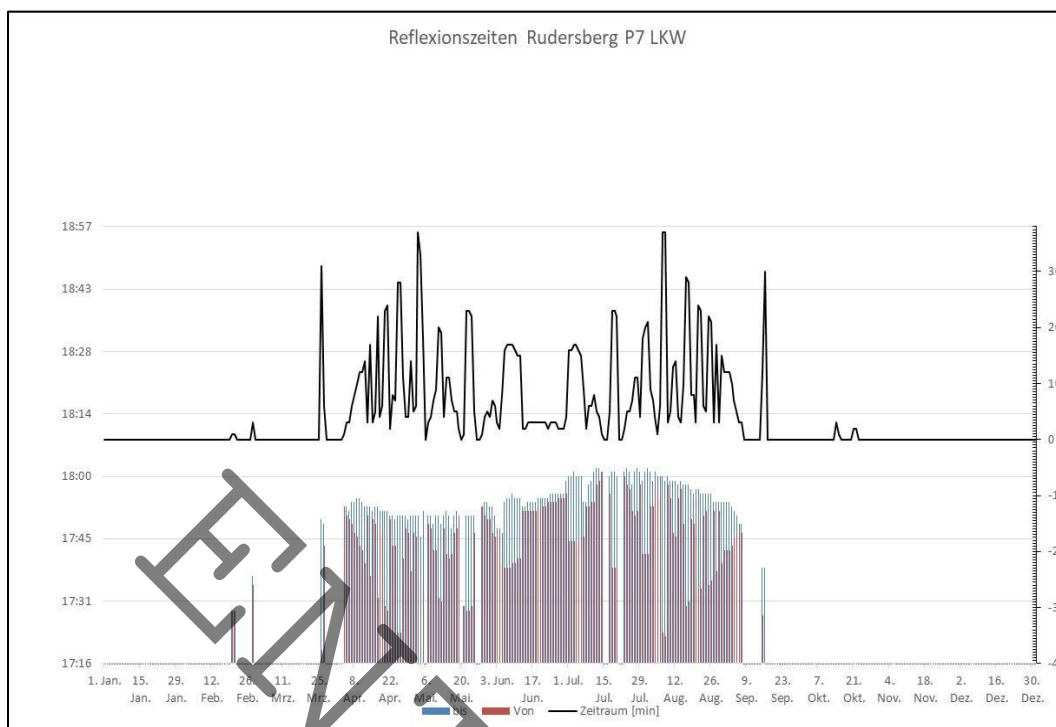
Verbindungsstraße Punkt 4



Verbindungsstraße Punkt 5



Verbindungsstraße Punkt 7

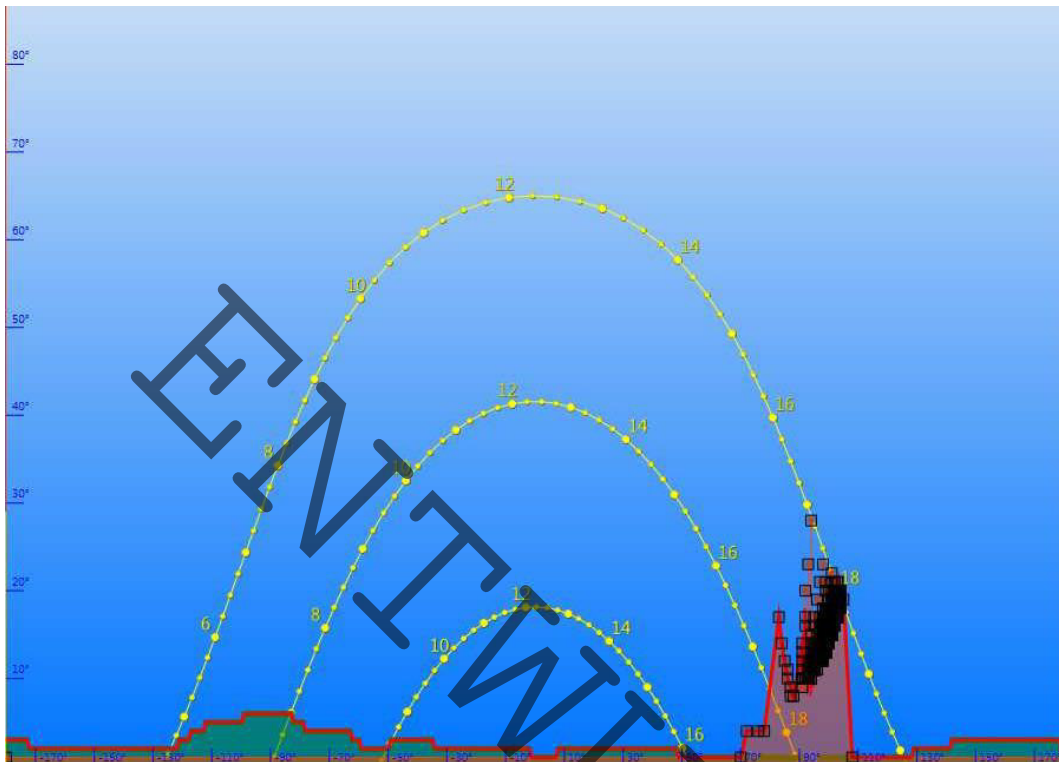


F.2. Reflexionszeiten im Sonnenverlaufdiagramm

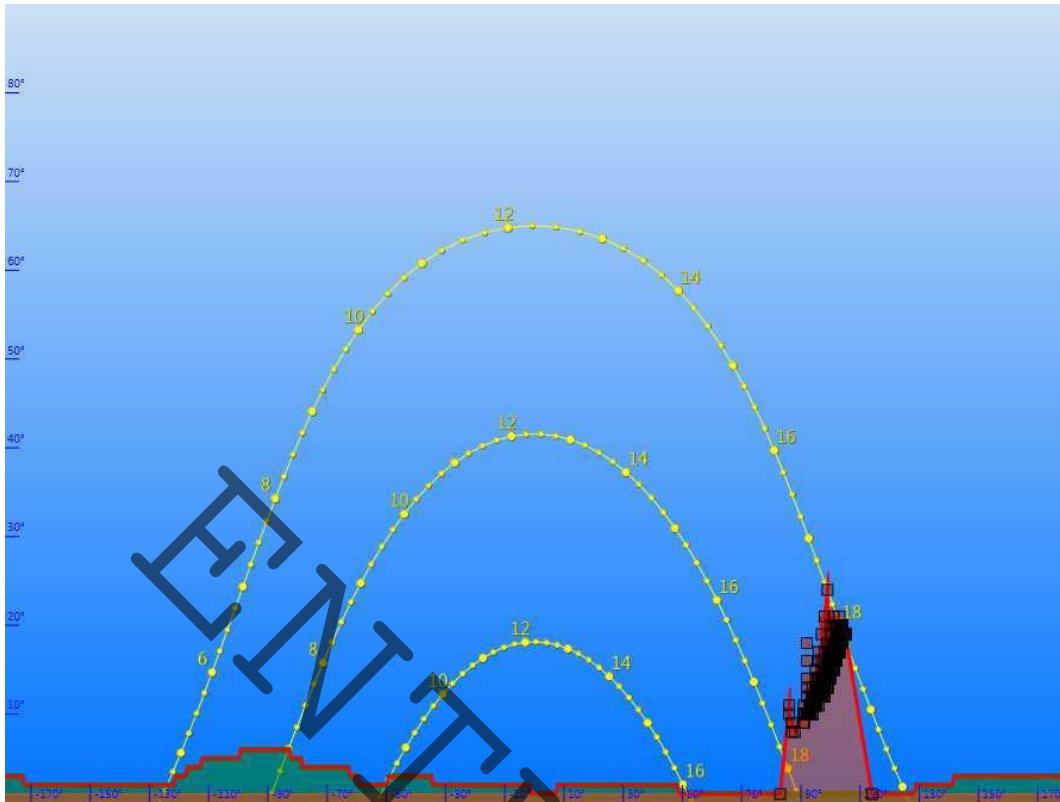
Verbindungsstraße Punkt 1 und Punkt 6

Keine Reflexionsereignisse feststellbar.

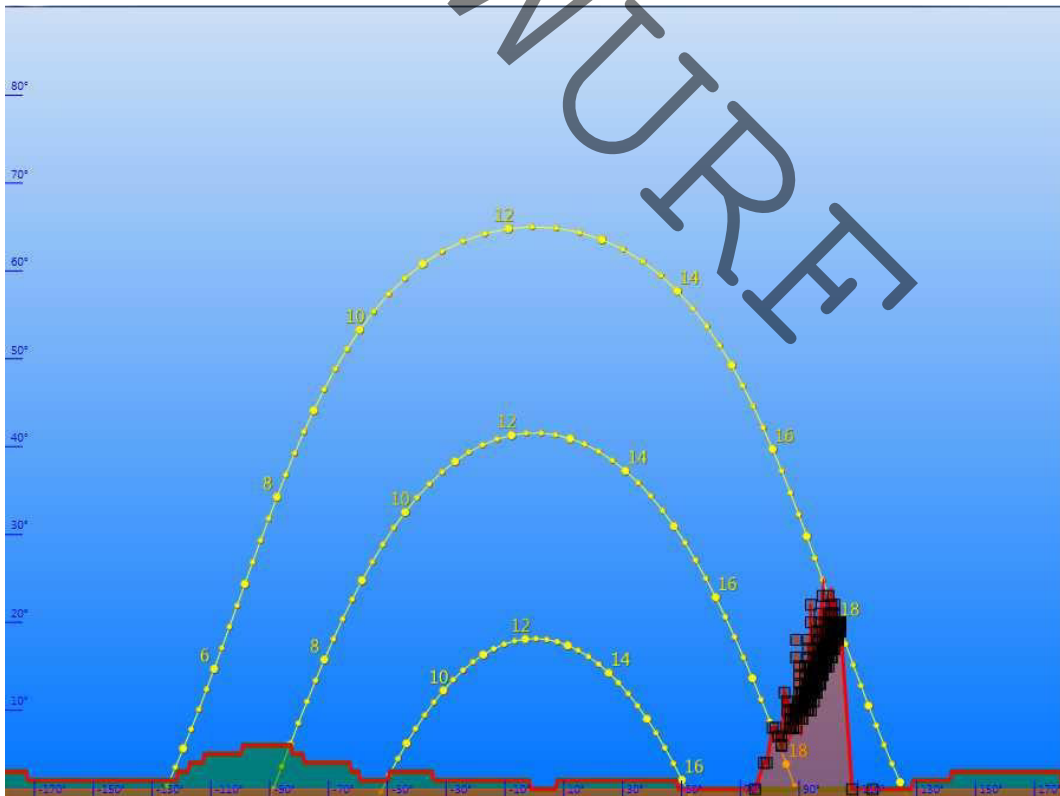
Verbindungsstraße Punkt 2



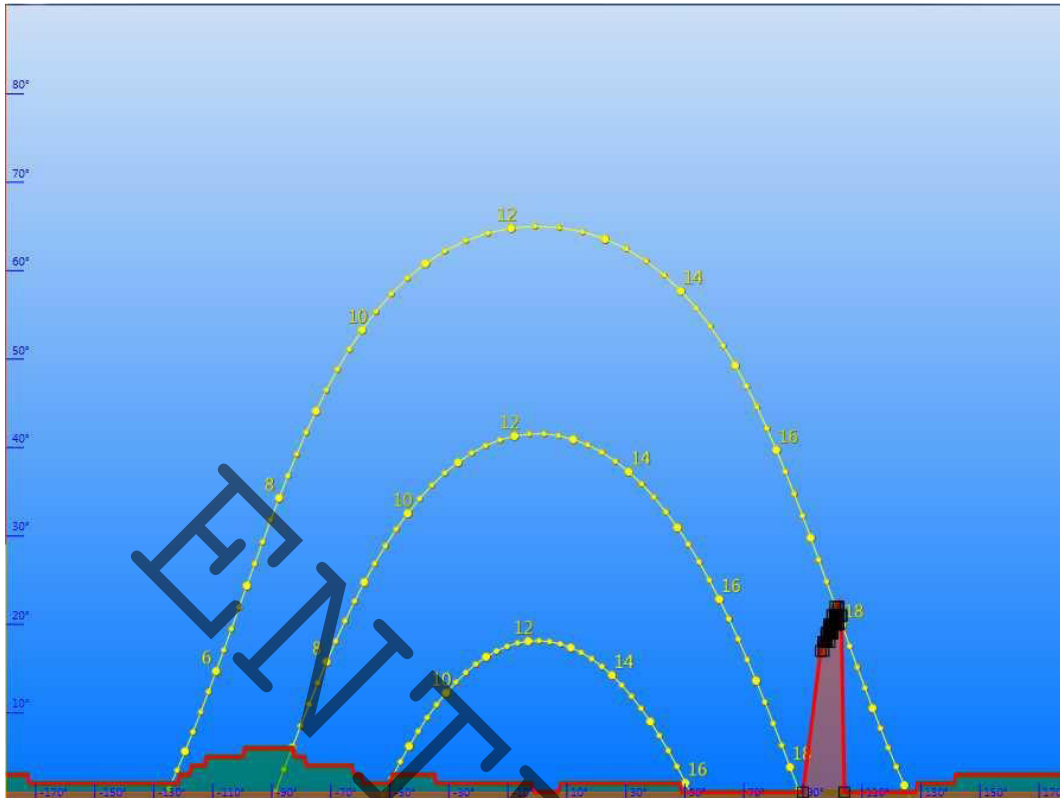
Verbindungsstraße Punkt 3



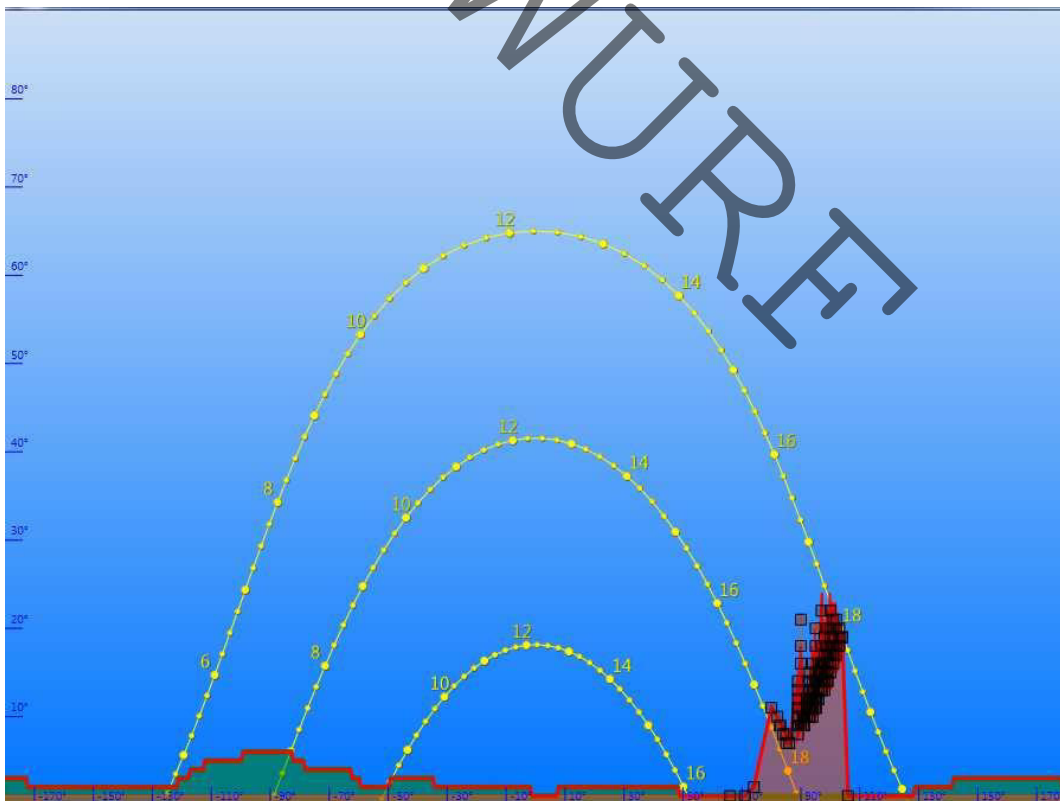
Verbindungsstraße Punkt 4



Verbindungsstraße Punkt 5



Verbindungsstraße Punkt 7



F.3. Vergleich Sichtfeld Fahrzeugführer mit Blickfeld in Richtung Module

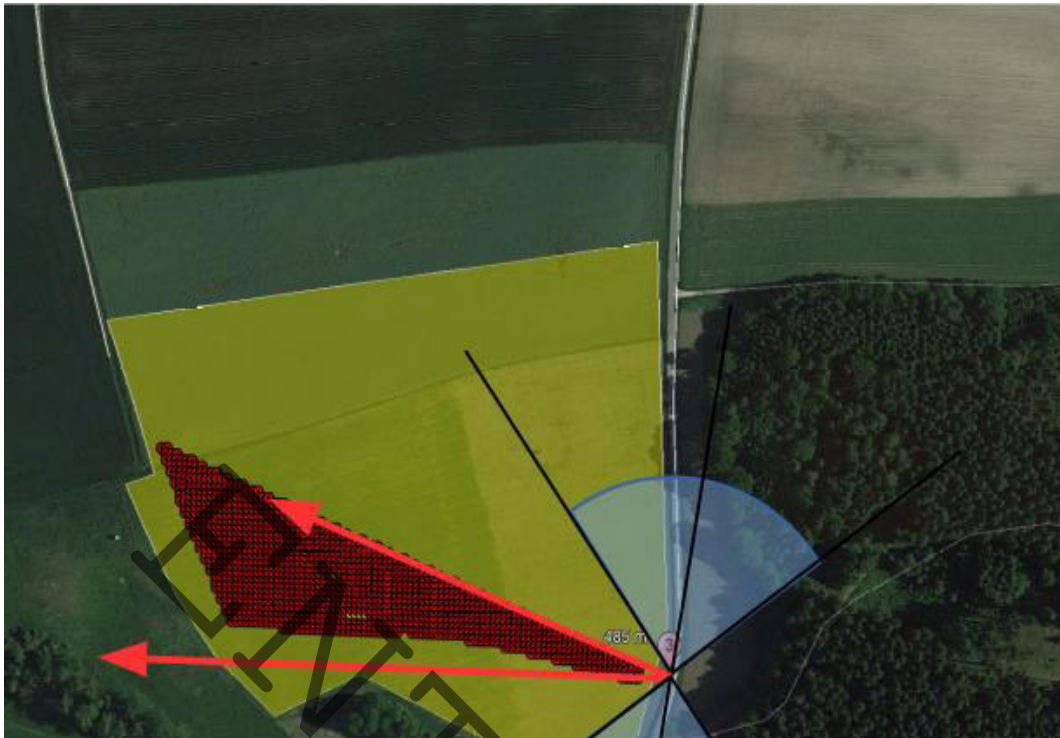
Verbindungsstraße Punkt 1 und Punkt 6

Keine Reflexionsereignisse feststellbar.

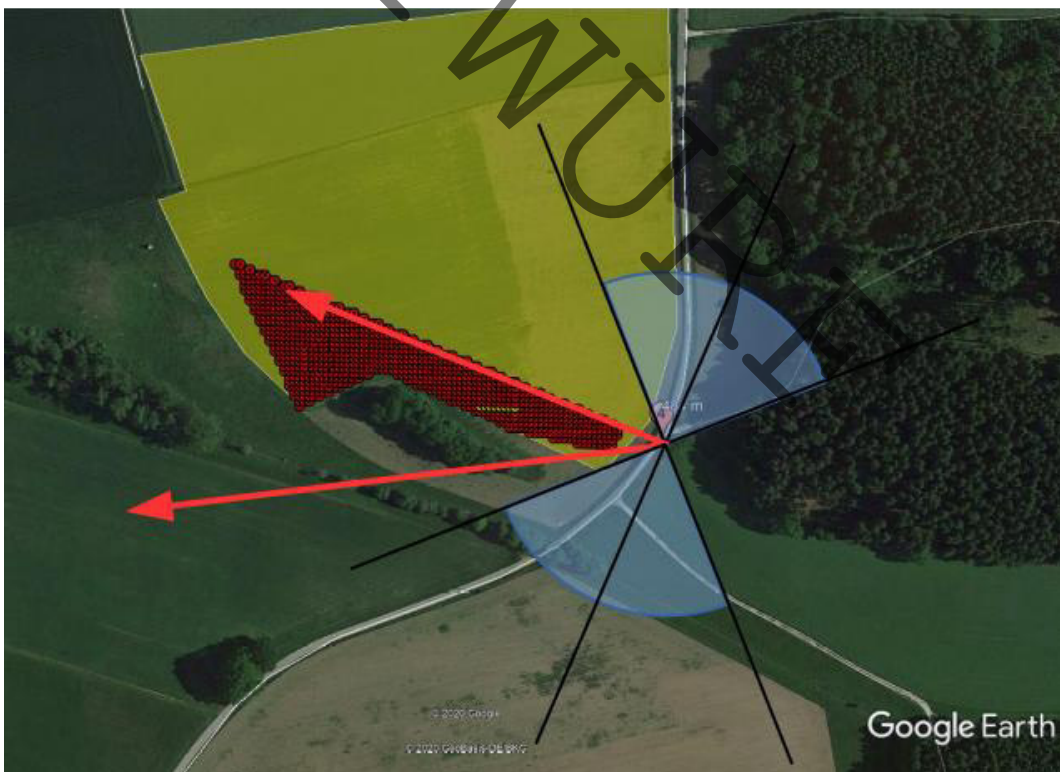
Verbindungsstraße Punkt 2



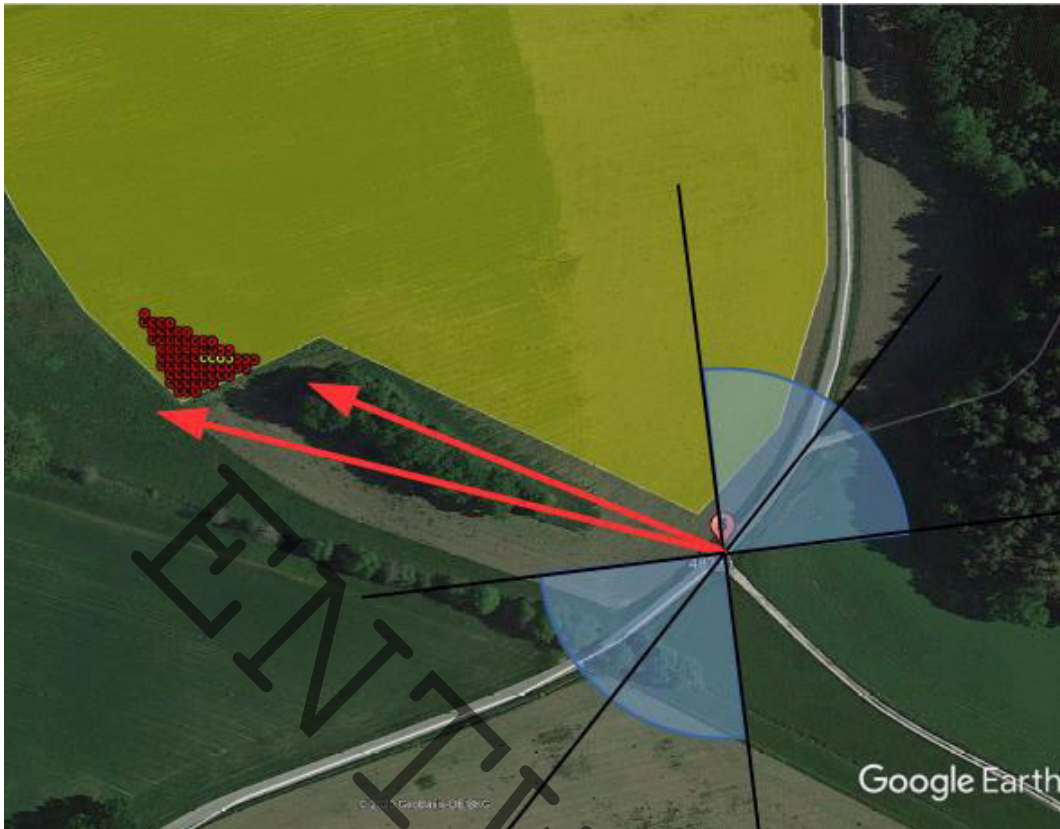
Verbindungsstraße Punkt 3



Verbindungsstraße Punkt 4



Verbindungsstraße Punkt 5



Verbindungsstraße Punkt 7

