

Dipl.-Ing. (FH) Marco Wilke | Mathias Röper, M. Eng. | Dr.-Ing. Stefan Bofinger

Sonnwinn Photovoltaik

Ihre unabhängigen Sachverständigen für Photovoltaik

Blendgutachten

PVA RAGOW

VERSION 1.1

Sachverständiger für Photovoltaik
Mathias Röper, M. Eng.

Achter de Schün 1
25436 Moorrege

+49 (0) 4122 509100
mathias.roeper@sonnwinn.de
www.sonnwinn.de

Moorrege, 27.10.2022

Revisionstabelle

Version	Änderung	Datum	Name
1.0	Erste Fassung	26.09.2022	Mathias Röper
1.1	Angaben zur Anlagengröße angepasst	27.10.2022	Mathias Röper

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellung	3
1.2	Haftungsausschluss	3
1.3	Datengrundlage.....	3
1.4	Methodik	3
2	Anlagenbeschreibung.....	4
3	Zusammenfassung der Ergebnisse	6
4	Grundlagen	8
4.1	Blendwirkung von Modulen	8
4.2	Modellierung der Reflexionen.....	10
5	Umliegende Immissionsorte	11
5.1	Übersicht.....	11
5.2	Ergebnisse	13
5.2.1	Süd-Ausrichtung.....	14
5.2.2	Ost-West-Ausrichtung	16
6	Umliegender Straßenverkehr.....	17
6.1	Übersicht.....	17
6.2	Ergebnisse	19
6.2.1	Süd-Ausrichtung.....	20
6.2.2	Ost-West-Ausrichtung	24
7	Literaturverzeichnis	29
Anhang A:	Annahmen und Limitationen von SGHAT	30

1 Einleitung

Die Mapronea GmbH (Kunde) hat Mathias Röper, Sachverständiger für Photovoltaik, damit beauftragt, die potenzielle Blendwirkung der geplanten Photovoltaikanlage (PVA) „Ragow“ in 15749 Mittenwalde zu analysieren und zu bewerten.

1.1 Fragestellung

Es stellt sich die Frage, ob die Solarmodule der geplanten PVA Sonnenlicht so reflektieren, dass erhebliche Belästigungen durch Lichtimmissionen auf umliegende Gebäude und/oder Beeinträchtigungen durch Blendwirkungen für den umliegenden Straßenverkehr entstehen. Dieses Gutachten dient der Beantwortung dieser Frage und stellt dar, ob und mit welcher Häufigkeit Lichtimmissionen/Blendwirkungen auftreten können.

1.2 Haftungsausschluss

Dieser Bericht wurde für die alleinige Nutzung des Kunden und in dessen Auftrag ausgearbeitet. Die Berechnungen und Auswertungen erfolgten nach bestem Wissen und Gewissen. Irrtümer, Fehler, etc. sind hierbei trotz großer Sorgfalt nicht vollständig auszuschließen. Daher wird für Folgeschäden, die aus der Anwendung des Gutachtens resultieren, keine Haftung übernommen. Die Haftung auf Schadenersatz bei grober Fahrlässigkeit oder Vorsatz bleibt unberührt. Wenn der Bericht an Dritte weitergegeben wird, darf er nicht verändert oder bearbeitet werden. Wenn sich Dritte den Inhalt dieses Berichts zu Nutze machen, ist jegliche Haftung grundsätzlich ausgeschlossen.

1.3 Datengrundlage

Die Modellierung der PVA zur Analyse potenzieller Blendwirkungen basiert auf den vom Kunden bereitgestellten Planungsunterlagen und Angaben. Eine Besichtigung vor Ort fand nicht statt. Zudem wurden Daten zur solaren Einstrahlung aus etablierten Langzeitdatenbanken verwendet [1]. Informationen bzgl. umliegender Gebäude, Straßenverläufe, Vegetation und der lokalen Topografie wurden Satellitenbildern und Karten entnommen (Google Earth Pro, GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie).

1.4 Methodik

Laut der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) hat der Gesetzgeber bisher keine Regelungen zur Bestimmung und Auswertung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen für Lichtimmissionen erlassen [2]. Jedoch hat die LAI mit dem Dokument „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ einen Leitfaden zur Verfügung gestellt (im Folgenden LAI-Leitfaden genannt), welcher in Anhang 2 Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung von PVA-bedingten Blendwirkungen aufführt [2]. Die Methodik des Gutachtens basiert auf dem LAI-Leitfaden und wurde um wissenschaftliche Erkenntnisse und etablierte „Best-Practice“-Methoden erweitert, welche an gegebener Stelle im vorliegenden Bericht referenziert werden.

2 Anlagenbeschreibung

Die geplante PVA Ragow soll auf (aktuell) landwirtschaftlicher Nutzfläche als Freiflächenanlage realisiert werden. Das Anlagengelände befindet sich im (namensgebenden) Ortsteil Ragow der Stadt Mittenwalde (PLZ: 15749). Die PVA soll westlich der Autobahn A 13 errichtet werden (in unmittelbarer Nähe zur Ausfahrt „Nr. 2 Ragow“ sowie nördlich der Landestraße L 40). Insgesamt umfasst das Anlagengelände ca. 4 ha (genutzte PV-Fläche). Zudem befindet sich direkt westlich des PVA-Geländes der Anwendungsbereich des Bebauungsplans „Gewerbegebiet Ragow“.

Die PVA befindet sich in einem frühen Planungsstadium. Um dennoch ein aussagekräftiges Blendgutachten erstellen zu können, wurden verschiedene Ausrichtungsmöglichkeiten der Module (Azimut und Modulneigung) ausgewertet. Berücksichtigt wurde eine Süd- sowie eine Ost-West-Ausrichtung (siehe Abbildung 2 für ein Beispiel einer Ost-West-Anlage) mit Modulneigungswinkeln von je 15°, 20° und 25°. Somit wurden insgesamt sechs unterschiedliche Ausrichtungsvarianten untersucht. Zudem wurde die Annahme getroffen, dass die zur Verfügung stehende Fläche (innerhalb der Baugrenzen, siehe Abbildung 1) maximal mit PV-Modulen belegt wird.

Relevante Anlagenparameter werden in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 1: PVA-Parameter

PVA-Parameter	Wert / Angabe
Nennleistung (Modulleistung gesamt)	ca. 4,8 MWp
Anlagenfläche (genutzte PV-Fläche)	ca. 4 ha
Modulabmessung	2,279 m x 1,334 m
Modultyp	JA Solar – JAM72S30 550/MR
Aufständigung	3 Module im Portrait-Format oder 6 Module im Landscape-Format übereinander
Modulneigung	15°, 20°, 25°
Modulausrichtung (Azimut)	180° Süd, 90°/270° Ost-West
Höhe untere Modulunterkante	0,7 m
Höhe obere Modulkante	3 m bis 4,45 m (je nach Neigungswinkel)
Adresse	15749 Mittenwalde
Flurstücke (ganz oder teilweise)	269, 334, 537, 319, 322, 324, 326 und 328 der Flur 03, Gemarkung Ragow
Geo-Koordinaten des Geländes (Breite, Länge)	52.295237°, 13.556547°

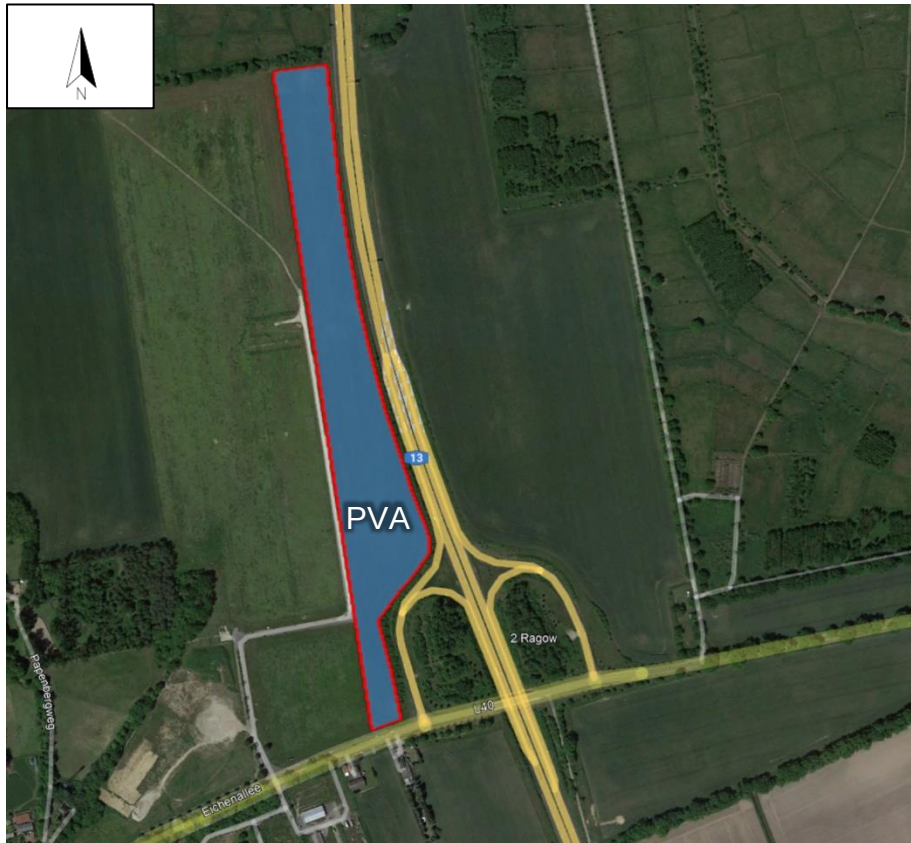


Abbildung 1: Übersicht der Anlagenfläche (Geltungsfläche)
- Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro



Abbildung 2: Beispiel einer Ost-West-Anlage

3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die lokale Vegetation (Bäume und Sträucher) und andere Hindernisse zwischen den Immissionsorten und dem PVA-Gelände wurden nicht berücksichtigt, um eine Worst-Case-Betrachtung zu ermöglichen. Zu einem späteren Zeitpunkt, wenn (ggf.) Maßnahmen zur Reduzierung der Blendwirkungen ausgelegt werden, sollte das Sichtschutzpotenzial der Vegetation (und anderer Hindernisse) untersucht und berücksichtigt werden.

Umliegende Gebäude

Die Simulationsergebnisse für die Observationspunkte (OP) 1 bis 4 (umliegende Häuser) sowie 5 (geplantes Gewerbegebiet) sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenfassung der relevanten Blendzeiträume für die Observationspunkte (umliegende Häuser)

OP	Modulausrichtung	Modulneigung	Max. relevante Blenddauer pro Tag in Minuten	Gesamter relevanter Blendzeitraum pro Jahr in Minuten
1	180° Süd	20°*	0	0
2			0	0
3			0	0
4			4	330
5			15	2460
1	90°, 270° Ost-West		0	0
2			0	0
3			0	0
4			0	0
5			37	4050

**Ergebnisse für 15°, 20° und 25° unterscheiden sich nicht signifikant.*

Umliegende Verkehrswege

Die Simulationsergebnisse für die relevanten Verkehrswege (Straßen) sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Blendzeiträume für den Straßenverkehr

Verkehrsweg	Modul-ausrichtung	Modul-neigung	Max. relevante Blenddauer pro Tag in Minuten	Gesamter relevanter Blendzeitraum pro Jahr in Minuten
A 13 Fahrtrichtung g. Süden	180° Süd	20°*	0	0
A 13 Fahrtrichtung g. Süden Zufahrt		20°*	53	4700
A 13 Fahrtrichtung g. Süden Ausfahrt		20°*	0	0
A 13 Fahrtrichtung g. Norden		15° (bei 20° und 25° finden keine Blendwirkungen statt)	13	300
A 13 Fahrtrichtung g. Norden Zufahrt		20°*	30 (Blendwirkungen bei Schulterblicken nicht mitgezählt)	4650 (Blendwirkungen bei Schulterblicken nicht mitgezählt)
A 13 Fahrtrichtung g. Norden Ausfahrt		20°*	0	0
L 40 (beide Fahrtrichtungen)		20°*	110	12100
A 13 Fahrtrichtung g. Süden	90°, 270° Ost-West	20°*	55	8200
A 13 Fahrtrichtung g. Süden Zufahrt		20°*	0	0
A 13 Fahrtrichtung g. Süden Ausfahrt		20°*	63	15800
A 13 Fahrtrichtung g. Norden		20°*	0	0
A 13 Fahrtrichtung g. Norden Zufahrt		20°*	30 (Blendwirkungen bei Schulterblicken nicht mitgezählt)	5000 (Blendwirkungen bei Schulterblicken nicht mitgezählt)
A 13 Fahrtrichtung g. Norden Ausfahrt		20°*	0	0
L 40 (beide Fahrtrichtungen)		15°	50	4700
		20°**	33	1900

*Ergebnisse für 15°, 20° und 25° unterscheiden sich nicht signifikant.

**Ergebnisse für 20° und 25° unterscheiden sich nicht signifikant.

4 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bestimmung von PVA-bedingter Blendwirkung dargestellt.

4.1 Blendwirkung von Modulen

Ein Photovoltaikmodul besteht aus einer Vielzahl von Solarzellen, welche Sonnenlicht in elektrische Energie umwandeln. Zur Stabilisierung und zum Schutz vor Witterungseinflüssen liegen diese üblicherweise hinter einer Glasscheibe (Modulglas). Das Modulglas ist maßgeblich für die Blendwirkung verantwortlich. Da die Menge der generierten elektrischen Energie proportional zur Einstrahlungsstärke des Sonnenlichts ist, versuchen Modulhersteller Reflexionen am Modul zu minimieren – denn umso geringer die Reflexionen sind, desto höher ist der Ertrag. Aus diesem Grund besitzt das Modulglas i. d. R. eine spezielle Oberflächentexturierung und eine sog. Antireflexionsschicht. Beides sorgt dafür, dass möglichst viel Licht auf die Solarzellen trifft und nicht durch Reflexionen verloren geht [3].

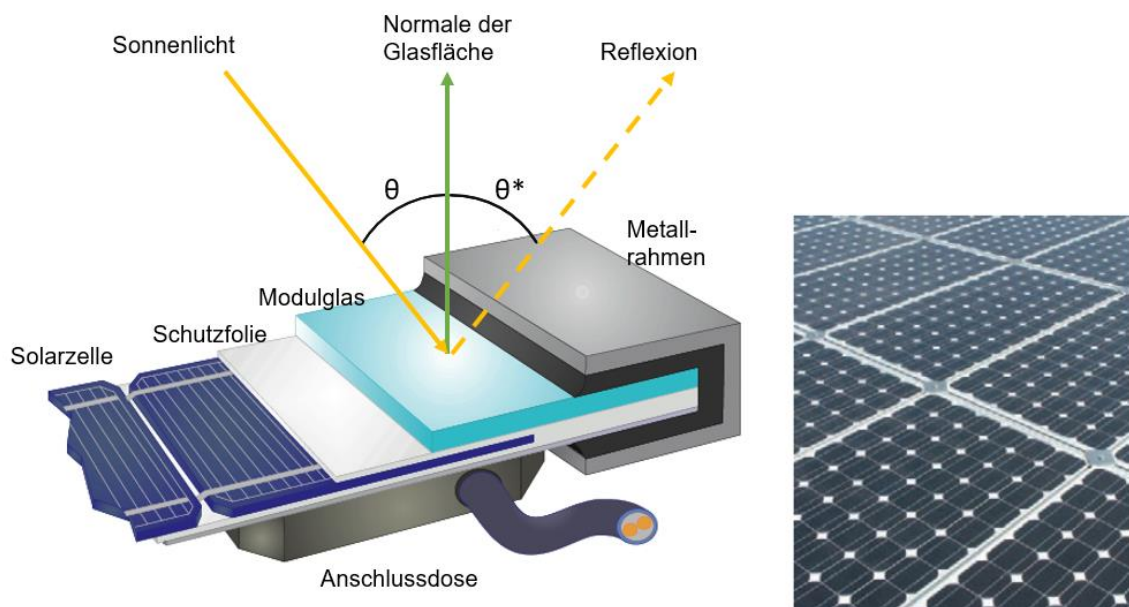


Abbildung 3: Aufbau eines Moduls und Darstellung des Reflexionsgesetzes „Einfallswinkel = Ausfallswinkel“ –
Quelle: [4] (modifiziert)

Aus diesem Grund reflektieren Solarmodule nur einen Bruchteil des Sonnenlichts (ca. 5 %), vorausgesetzt, der Einstrahlungswinkel θ (siehe Abbildung 3) ist klein. Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass trotz Texturierung und Antireflexionsschicht der Anteil des reflektierten Sonnenlichts bei höherem Einstrahlungswinkel exponentiell zunimmt (siehe Abbildung 4).

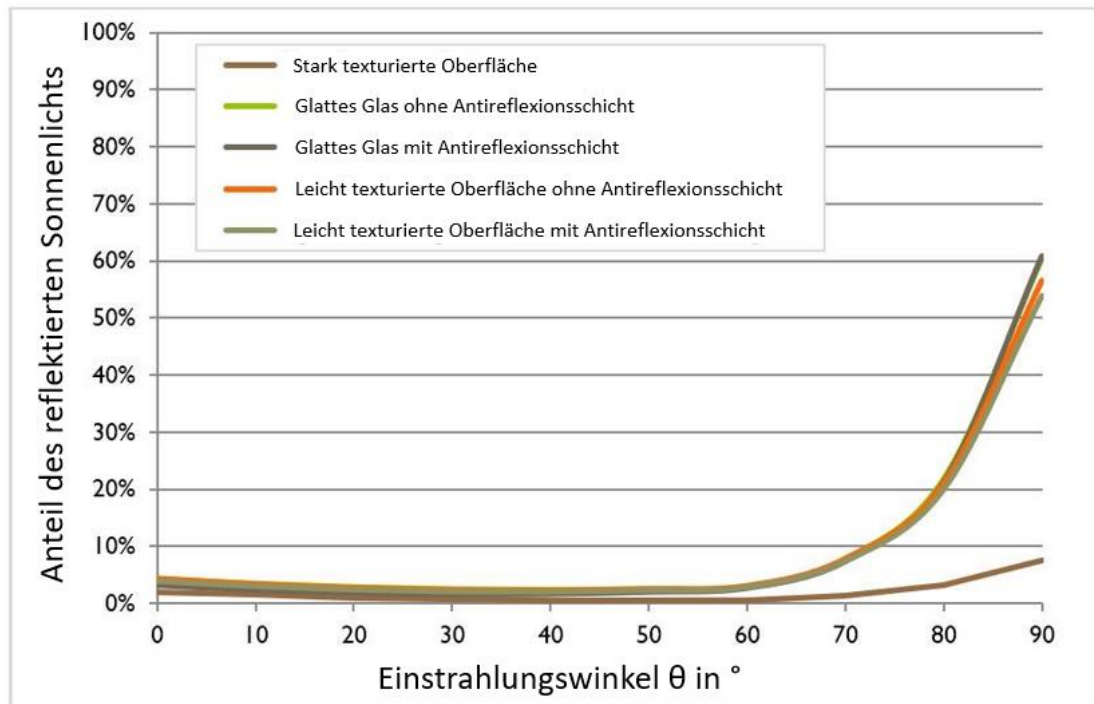


Abbildung 4: Anteil des reflektierten Sonnenlichts in Abhängigkeit zum Einstrahlungswinkel, dargestellt für unterschiedliche Modulglastypen – Quelle: [5], modifiziert

Da bereits Reflexionen von unter 1 % des Sonnenlichts zu einer Absolutblendung führen können [2], müssen alle Einstrahlungswinkel berücksichtigt werden.

Die Oberflächentexturierung von Modulglas führt dazu, dass Sonnenlicht zwar deutlich weniger intensiv, aber dafür gestreut reflektiert wird, d. h. der Immissionsort der Reflexion vergrößert sich. Die Intensität von Reflexionen an Solarmodulen ist somit auch nicht mit Reflexionen an z. B. glatten Fensterscheiben zu vergleichen, wo das Sonnenlicht gerichtet reflektiert wird. Neue PV-Module besitzen i. d. R. eine Antireflexionsschicht sowie zumindest eine leicht texturierte Oberfläche. Dies wird auch für den Modultyp auf der geplanten PVA angenommen.



Abbildung 5: Veranschaulichung der Reflexion an einem texturierten Modulglas (mitte-links) und einem glatten Modulglas (mitte-rechts) – Quelle Aufnahme: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

4.2 Modellierung der Reflexionen

Reflexionen an PV-Modulen können geometrisch hergeleitet werden. Dafür werden die Module, die relevanten Immissionsorte und die Sonne in einem gemeinsamen Koordinatensystem modelliert [2]. Der standortbezogene Sonnenverlauf kann auf Basis mathematischer Funktionen für jeden Zeitpunkt im Jahr bestimmt werden [6]. Durch Winkelbeziehungen und Strahlengesetze kann nachvollzogen werden, wo und wann Blendwirkungen auftreten. Das Einbeziehen von Modulglas-spezifischen Streuwinkeln und Reflexionskoeffizienten ermöglicht eine noch genauere Betrachtung [5].

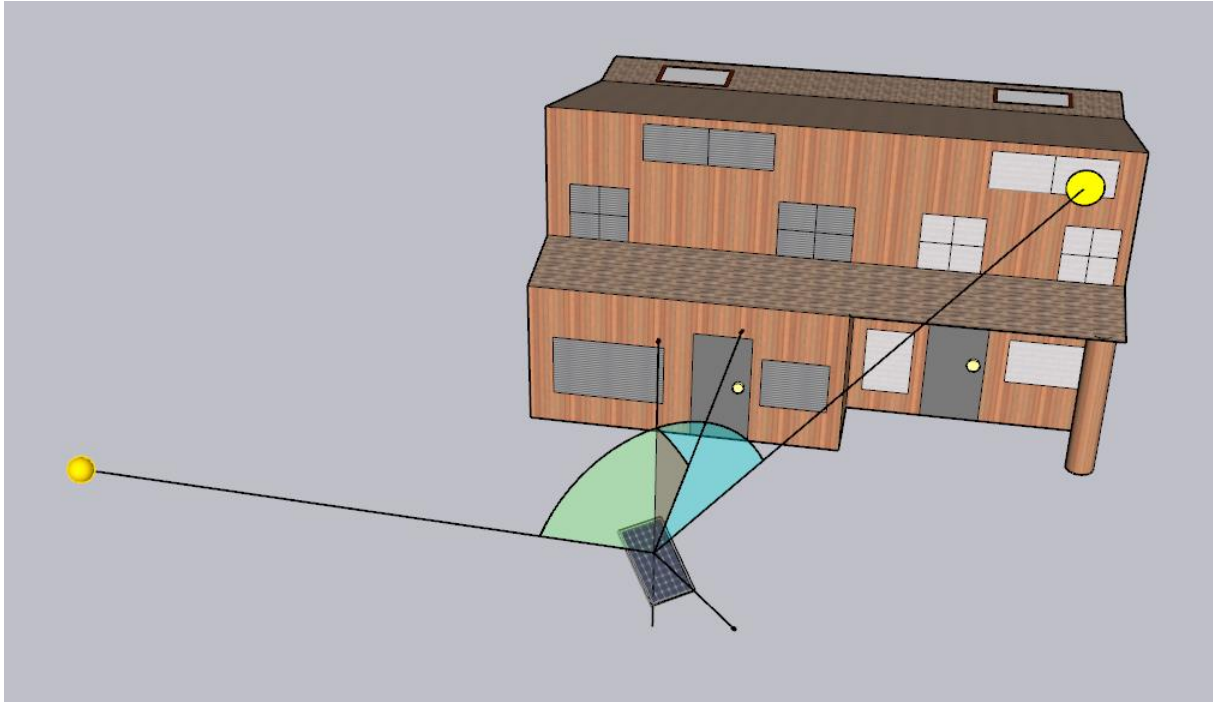


Abbildung 6: Veranschaulichung der geometrischen Herleitung einer Reflexion – Quelle: Eigene Abbildung

Im Rahmen der Simulation wird mit der Software ForgeSolar die Blendwirkung der PVA mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute für ein ganzes Jahr berechnet. Die Software basiert auf dem „Solar Glare Hazard Analysis Tool“ (SGHAT) der Sandia National Laboratories.

In der Simulation wird immer von einem klaren Himmel ausgegangen. Eine erweiterte Liste der Annahmen und Limitationen bzgl. der Simulation können Anhang A entnommen werden.

5 Umliegende Immissionsorte

5.1 Übersicht

Der LAI-Leitfaden benennt als maßgebliche Immissionsorte schutzwürdige Räume, sofern sie zu einer der folgenden Kategorien gehören [2]:

- Wohnräume
- Schlafräume (einschließlich Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten und Bettenräume in Krankenhäusern und Sanatorien)
- Unterrichtsräume in Schulen, Hochschulen und ähnlichen Einrichtungen
- Büroräume, Praxisräume, Arbeitsräume, Schulungsräume und ähnliche Arbeitsräume
- An relevanten Gebäuden anschließende Außenflächen (z. B. Terrassen und Balkone)

In der Umgebung der geplanten PVA befinden sich vereinzelte Wohnhäuser, welche sich auf den Bereich südlich bzw. südwestlich des Anlagengeländes beschränken. Zudem befindet sich direkt westlich des PVA-Geländes der Anwendungsbereich des Bebauungsplans „Gewerbegebiet Ragow“. Laut dem LAI-Leitfaden sollen „unbebaute Flächen [...] auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind“ mitberücksichtigt werden [2]. In einem Gewerbegebiet sind (ggf.) Büroräume zu erwarten, welche entsprechend als schutzwürdig gelten.

Um die Lichtimmissionen der PVA in der Umgebung auswerten zu können, werden sog. Observationspunkte (OP) definiert. Ein OP stellt in der Simulation einen statischen Betrachter mit Blick auf die PVA dar. Da i. d. R. höhergelegene Immissionsorte mehr Blendwirkungen erfahren, wird ein OP bei den existierenden Wohnhäusern stets an einem Fenster im 1. Obergeschoss eines Hauses platziert (auf einer Sichthöhe von 4,5 m, bezogen auf den Boden). Der OP, welcher das geplante Gewerbegebiet (und somit nichtexistierende Gebäude) repräsentiert, wird (entsprechend den Vorgaben des LAI-Leitfadens) „in einer Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Fläche“ positioniert. Insgesamt wurden vier OP an den nächstgelegenen Wohnhäusern (OP 1 bis 4) sowie einer nahe der östlichen Grenze des geplanten Gewerbegebietes (OP 5) definiert (siehe Abbildung 7).

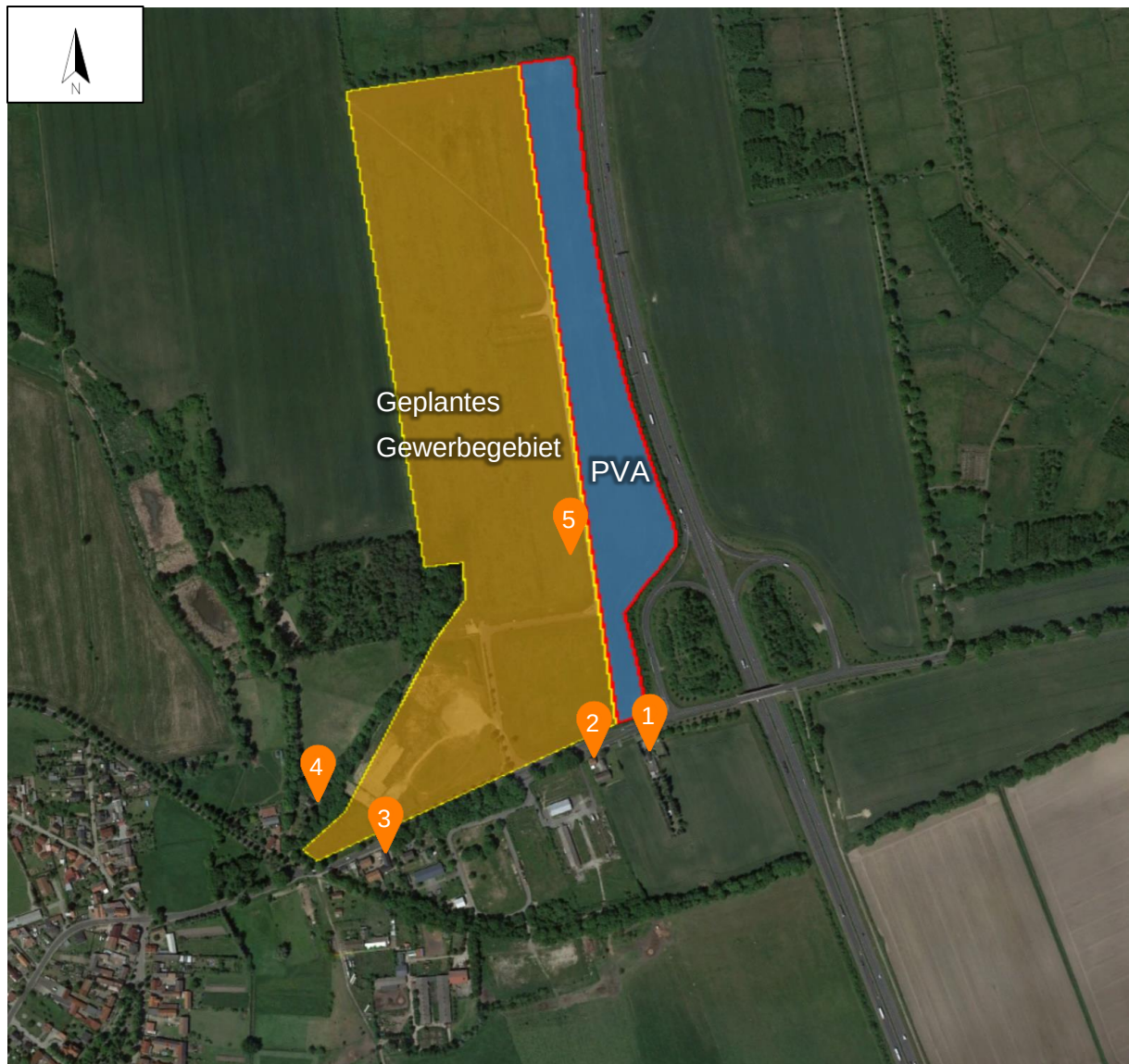


Abbildung 7: Übersicht der Observationspunkte – Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

5.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Lichtimmissionen/Blendwirkungen auf die Observationspunkte (OP) für die unterschiedlichen Anlagenvarianten dargestellt.

Laut dem LAI-Leitfaden findet eine erhebliche Belästigung (durch PVA-bedingte Lichtimmissionen) statt, wenn ein schutzwürdiger Raum mehr als 30 Minuten pro Tag und/oder 30 Stunden pro Jahr Blendwirkungen erfährt [2]. Jedoch sind laut dem Leitfaden für die Ermittlung der Blendzeiträume nicht alle Reflexionen zu berücksichtigen.

Der LAI-Leitfaden schreibt für die Ermittlung der Blendzeiträume ein vereinfachtes Modell vor, das die Solarmodule als ideal verspiegelte Oberflächen darstellt [2]. Eine Spiegeloberfläche reflektiert Sonnenlicht gerichtet – es kommt also zu keiner (bzw. nur einer sehr kleinen) Streuung des Sonnenlichts. In der Simulation wurde jedoch ein realistisches Modell verwendet, welches die oberflächenspezifischen Eigenschaften von realen Solarmodulen berücksichtigt. Um dennoch eine Auswertung nach dem LAI-Leitfaden zu ermöglichen, werden die Blendwirkungen, die mit dem vereinfachten Modell ermittelt werden würden, im Folgenden als sog. „**Kernblendung**“ bezeichnet (die übrigen als sog. „**gestreute Reflexion**“) und stets differenzierbar dargestellt. Es gilt zu beachten, dass auch gestreute Reflexionen zu starken Blendwirkungen führen können.

Außerdem sollen Reflexionen, welche am Immissionsort mit einem **Differenzwinkel von $\leq 10^\circ$** in Relation zur direkten Sonnenstrahlung auftreten, nicht als relevante Blendwirkungen betrachtet werden [2]. Somit wird der Umstand berücksichtigt, dass wenn die Sonne tief und aus nahezu der gleichen Richtung scheint wie die Reflexionen an den Modulen, die PVA-bedingten Blendwirkungen von der Sonne bei weitem überlagert werden. Auch diese Reflexionen werden im Folgenden differenzierbar dargestellt (sofern sie auftreten).

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse wurden berechnet, ohne die lokale Vegetation (und sonstige Hindernisse) zwischen der PVA und den Immissionsorten (wie z. B. Bäume) zu berücksichtigen. Außerdem wurde von einem immer klaren Himmel ausgegangen. Somit stellen die Ergebnisse Worst-Case-Betrachtungen dar.

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

5.2.1 Süd-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen (15° , 20° und 25°) nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von 20° (stellvertretend für alle) dargestellt. Quantitativ verbessert sich die Blendsituation mit zunehmenden Modulneigungswinkel.

5.2.1.1 Observationspunkt 1, 2 und 3

Die Simulation hat ergeben, dass die Observationspunkte 1, 2 und 3 keine Lichtimmissionen erfahren werden.

5.2.1.2 Observationspunkt 4

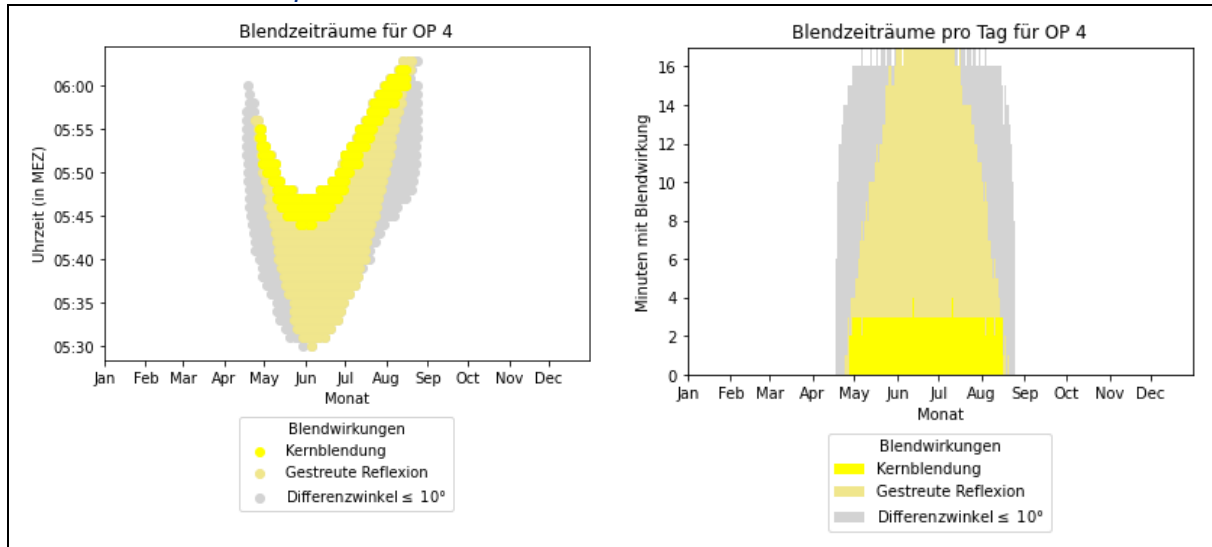


Abbildung 8: Blendwirkungen an OP 4 bei Azimut = 180° und Modulneigung = 20°

OP 4 repräsentiert ein Einfamilienhaus südwestlich des PVA-Geländes.

Pro Tag fänden bei OP 4 maximal 4 Minuten und pro Jahr ca. 330 Minuten (rund 5,5 Std.) relevante Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Laut dem LAI-Leitfaden sind diese Lichtimmissionen nicht als erhebliche Belästigung zu qualifizieren, da kein Grenzwert überschritten wird.

Die Reflexionen gehen vom südlichen, schmalen Abschnitt des PVA-Geländes aus. Es befindet sich jedoch zwischen OP 4 und der PVA eine Vielzahl von Bäumen und später ein Gewerbegebiet (welches sich noch in der Planung befindet), sodass in der Realität kein Sichtbezug auf die Solarmodule bestehen dürfte. Blendwirkungen an OP 4 sind demnach auszuschließen.

5.2.1.3 Observationspunkt 5

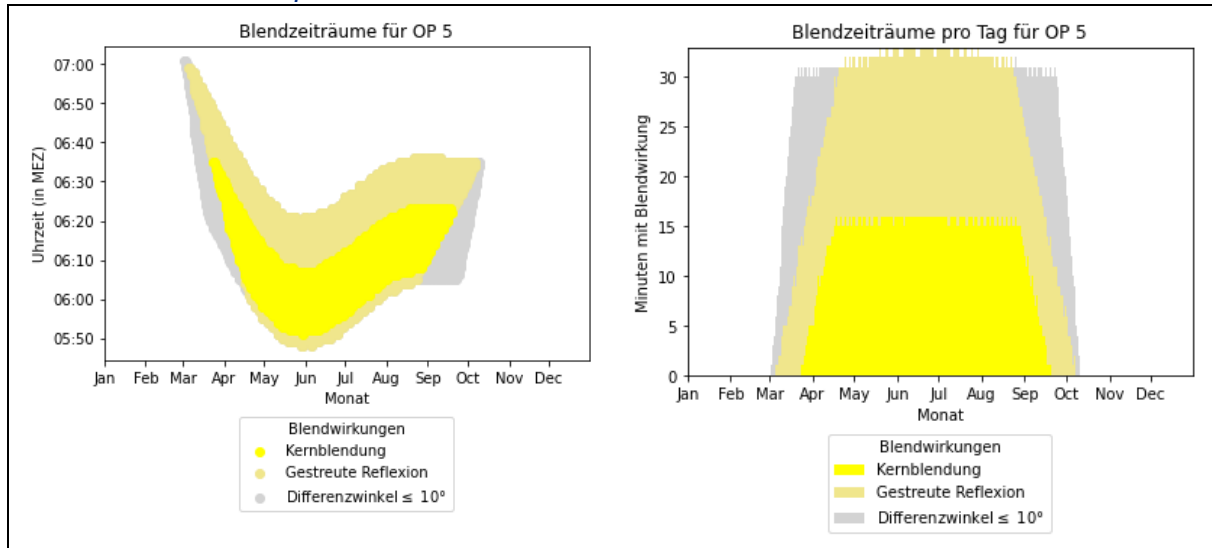


Abbildung 9: Blendwirkungen an OP 5 bei Azimut = 180° und Modulneigung = 20°

OP 5 stellt einen Betrachter an der östlichen Grenze (ca. 25 m vom Anlagenzaun entfernt) des geplanten Gewerbegebiets auf einer Bezugshöhe (Sichthöhe) von 2 m über Grund dar. Die Ergebnisse sind repräsentativ für die gesamte östliche Grenze, wobei sich die Blendzeiträume bei geringerer Entfernung zur PVA und/oder auf einer höheren Bezugshöhe vergrößern.

Pro Tag fänden bei OP 5 maximal 15 Minuten und pro Jahr ca. 2460 Minuten (41 Std.) relevante Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Die Blendwirkungen gehen von den einsehbaren Solarmodulen unmittelbar östlich des OP aus. Laut dem LAI-Leitfaden sind die Lichtimmissionen als erhebliche Belästigung zu qualifizieren, da der Grenzwert für die jährliche Blenddauer (1800 Minuten) überschritten wird. Jedoch setzt diese Auswertung voraus, dass sich an der östlichen Grenze des geplanten Gewerbegebiets tatsächlich schutzwürdige Räume (z. B. Büros) mit Blick auf die PVA befinden werden. Andere Gewerberäume wie z. B. Logistikhallen, Produktionsräume, Pausenräume etc. gelten nicht als schutzwürdig.

5.2.2 Ost-West-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen (15° , 20° und 25°) nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von 20° (stellvertretend für alle) dargestellt. Quantitativ verbessert sich die Blendsituation mit zunehmenden Modulneigungswinkel.

5.2.2.1 Observationspunkt 1, 2, 3 und 4

Die Simulation hat ergeben, dass die Observationspunkte 1, 2, 3 und 4 keine Lichtimmissionen erfahren werden.

5.2.2.2 Observationspunkt 5

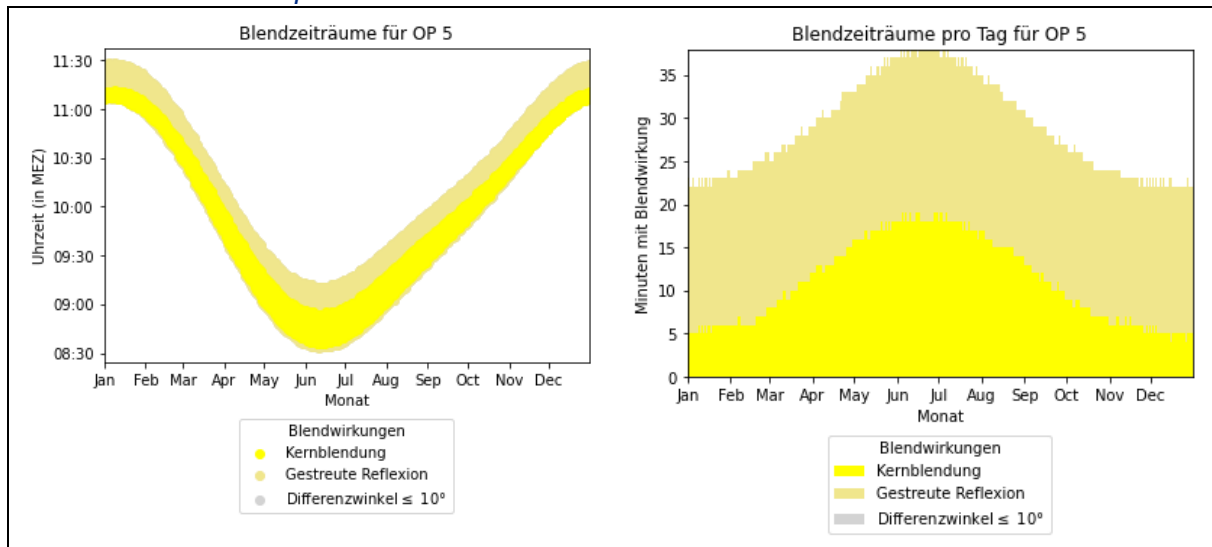


Abbildung 10: Blendwirkungen an OP 5 bei Azimut = 90° , 270° und Modulneigung = 20°

OP 5 stellt einen Betrachter an der östlichen Grenze (ca. 25 m vom Anlagenzaun entfernt) des geplanten Gewerbegebiets auf einer Bezugshöhe (Sichthöhe) von 2 m über Grund dar. Die Ergebnisse sind repräsentativ für die gesamte östliche Grenze, wobei sich die Blendzeiträume bei geringerer Entfernung zur PVA und/oder auf einer höheren Bezugshöhe vergrößern.

Pro Tag fänden bei OP 5 maximal 15 Minuten und pro Jahr ca. 4050 Minuten (67,5 Std.) relevante Blendwirkungen (Kernblendung) statt. Die Blendwirkungen gehen von den einsehbaren Solarmodulen unmittelbar östlich und südöstlich des OP aus. Laut dem LAI-Leitfaden sind die Lichtimmissionen als erhebliche Belästigung zu qualifizieren, da der Grenzwert für die jährliche Blenddauer (1800 Minuten) überschritten wird. Jedoch setzt diese Auswertung voraus, dass sich an der östlichen Grenze des geplanten Gewerbegebiets tatsächlich schutzwürdige Räume (z. B. Büros) mit Blick auf die PVA befinden werden. Andere Gewerberäume, wie z. B. Logistikhallen, Produktionsräume, Pausenräume etc. gelten nicht als schutzwürdig.

6 Umliegender Straßenverkehr

6.1 Übersicht

Im Folgenden werden relevante Verkehrswege (Straßen) aufgeführt, welche aufgrund ihrer Nähe zur PVA bzgl. möglicher Blendwirkungen ausgewertet wurden. Straßen/Wege landwirtschaftlicher oder forstwirtschaftlicher Art (sog. Feldwege) sowie nur sporadisch befahrene Straßen werden als nicht relevant eingestuft und somit nicht weiter betrachtet.

Als relevante Straßen wurden die Autobahn A 13 (inkl. Ab- und Zufahrten) sowie die Landstraße L 40 identifiziert.



Abbildung 11: Übersicht der relevanten Verkehrswege - Quelle Satellitenbild: Google Earth Pro

In der Simulation werden als Verkehrsteilnehmer PKW- und LKW-Fahrer berücksichtigt, welche sich durch ihre Sitzhöhe (und somit Augenhöhe) unterscheiden. Die Augenhöhe von PKW-Fahrern wurde auf 1,20 m und die von LKW-Fahrern auf 2,65 m festgelegt (Annahme).

Reflexionen, welche im peripheren Sichtbereich einer Person emittiert werden, führen i. d. R. zu keiner nennenswerten Blendwirkung. Der relevante (horizontale) Sichtbereich einer fahrenden Person wurde in Anlehnung an [7] auf 80° festgelegt (jeweils 40° zu beiden Seiten der Blickrichtung). Für Fahrzeugführer wird angenommen, dass die Blickrichtung der Fahrtrichtung entspricht. In der Simulation werden daher nur Blendwirkungen berücksichtigt, welche innerhalb des relevanten Sichtfelds emittiert werden (siehe Abbildung 13).

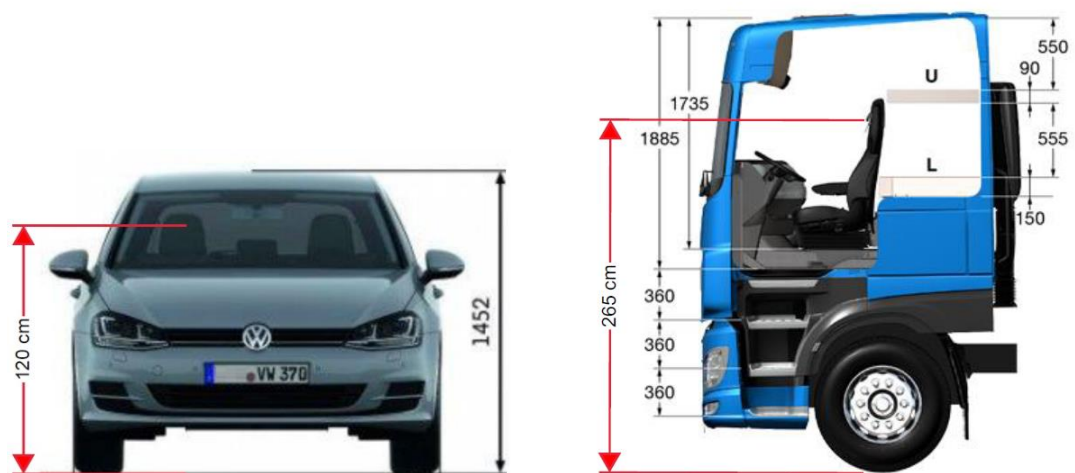


Abbildung 12: Augenhöhe der Straßenverkehrsteilnehmer - Quelle: Volkswagen AG, BTS GmbH & Co. KG, modifiziert

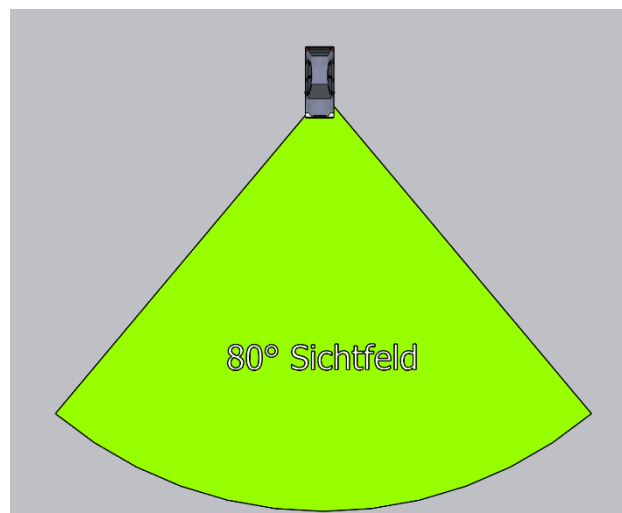


Abbildung 13: Darstellung des für Blendwirkungen relevanten Sichtfeldes von Fahrzeugführern während der Fahrt (anders als dargestellt ist es in der Länge nicht begrenzt) - Quelle: Eigene Abbildung

6.2 Ergebnisse

Im Folgenden sind die Simulationsergebnisse bzgl. der Blendwirkungen auf die relevanten Verkehrswege dargestellt.

Anders als bei der Betrachtung von Lichtimmissionen auf schutzwürdige Räume, werden bei der Betrachtung von Blendwirkungen auf den Straßen alle Reflexionen als relevant angesehen, welche aufgrund ihrer Intensität eine Blendwirkung bewirken könnten und nicht von der Sonne überlagert werden.

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse wurden berechnet, ohne die lokale Vegetation (und sonstige Hindernisse) zwischen der PVA und den Immissionsorten (wie z. B. Bäume) zu berücksichtigen. Außerdem wurde von einem immer klaren Himmel ausgegangen. Somit stellen die Ergebnisse Worst-Case-Betrachtungen dar.

Das sog. „Blendwirkungsdiagramm“ zeigt für jede Minute pro Jahr, in der eine Blendwirkung auftritt, die dazugehörige Sonnenhöhe sowie den Differenzwinkel zwischen direkter Sonnenstrahlung und Reflexion, bezogen auf das Sichtfeld des Betrachters, dar. Steht die Sonne tiefer als ca. 5° , kann sie in einem Fahrzeug nicht mehr mit einer Blende verdeckt werden (Annahme). Beträgt der Differenzwinkel zur gleichen Zeit $\leq 10^\circ$, so kann (in Anlehnung an [2]) angenommen werden, dass die Sonne die PVA-bedingte Blendwirkung überlagert. PVA-bedingte Blendwirkungen, die stattfinden, wenn die zwei genannten Kriterien zutreffen, werden im Folgenden differenzierbar dargestellt und als nicht relevant betrachtet.

Zeitangaben (Uhrzeiten) sind stets in der mitteleuropäischen Normalzeit (UTC+1) dargestellt.

6.2.1 Süd-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen (15° , 20° und 25°) in meisten Fällen nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von 20° (stellvertretend für alle) dargestellt. Davon ausgenommen sind die Blendwirkungen auf der A 13 bei Fahrtrichtung gen Norden. Hier konnten nur bei einem Neigungswinkel von 15° Reflexionen im relevanten Sichtfeld identifiziert werden.

6.2.1.1 A 13 – Fahrtrichtung gen Süden (inkl. Ausfahrt)

Die Simulation hat ergeben, dass auf der A 13 bei Fahrtrichtung gen Süden (inkl. Ausfahrt) keine Reflexionen im relevanten Sichtbereich von Fahrzeugführern auftreten werden.

6.2.1.2 A 13 – Fahrtrichtung gen Süden Zufahrt

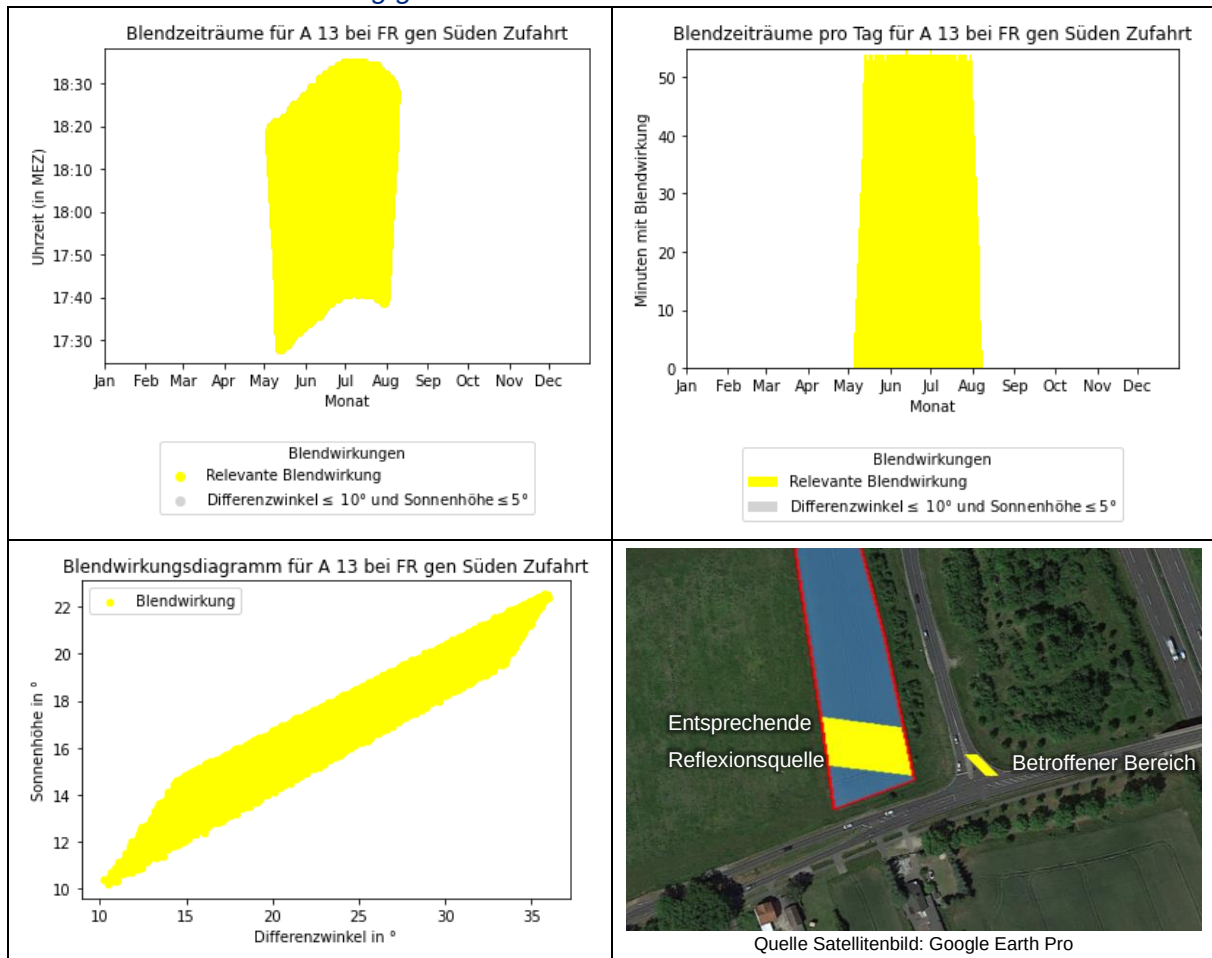
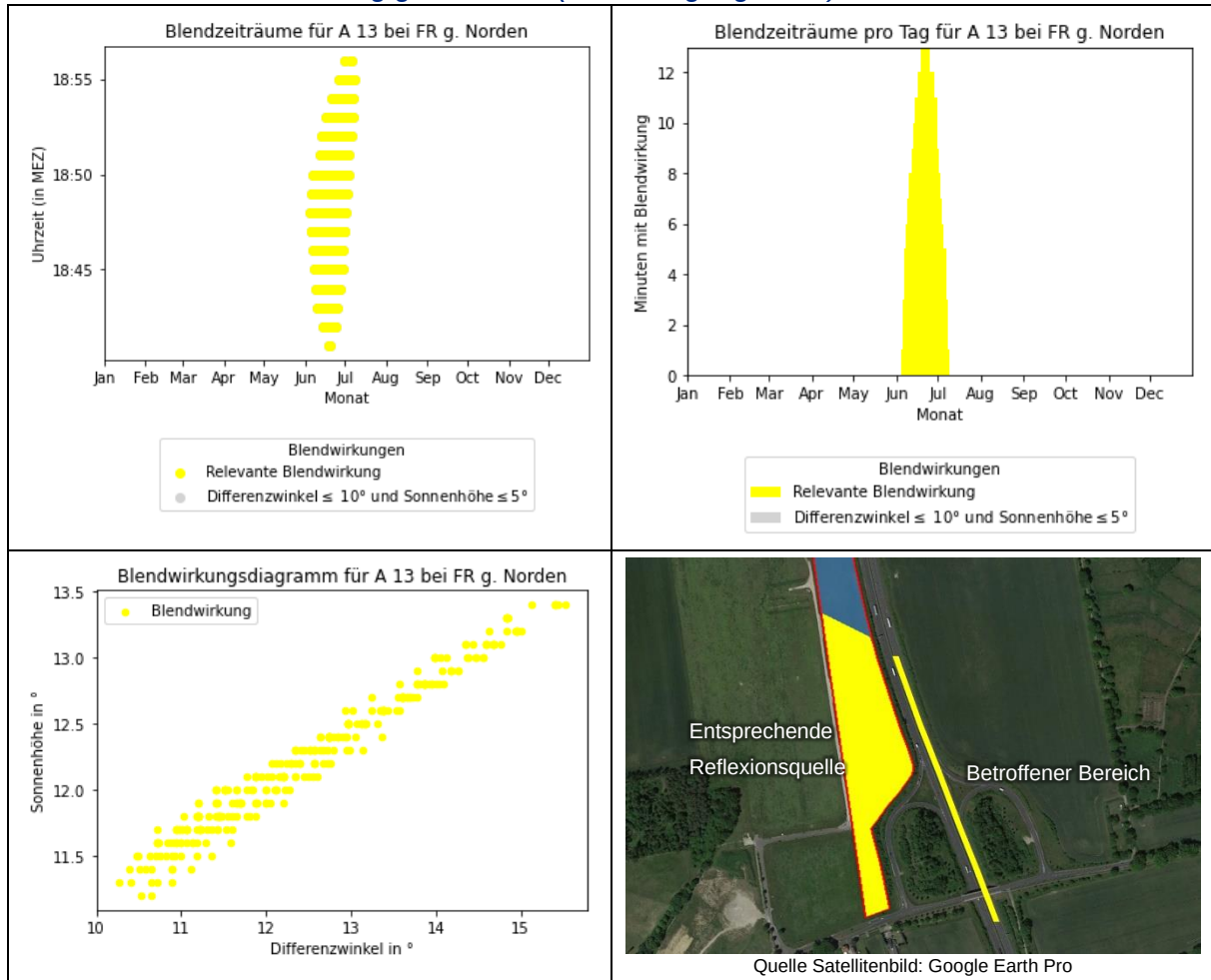


Abbildung 14: Blendwirkungen auf der Zufahrt zur A 13 Richtung Süden - bei Azimut = 180° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der Zufahrt auf die A 13 in Fahrtrichtung gen Süden fänden statt, wenn kurz nach der Kreuzung von der L 40 auf die Zufahrt seitlich auf die Modulreihen im südlichen Anlagenteil geblickt wird und die Sonne gerade tief im Westen steht.

Pro Tag fänden auf der Zufahrt maximal ca. 53 Minuten und pro Jahr ca. 4700 Minuten (rund 78 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

6.2.1.3 A 13 – Fahrtrichtung gen Norden (Modulneigung = 15°)



Blendwirkungen auf der A 13 bei Fahrtrichtung gen Norden konnten (von den betrachteten Modulneigungen) nur bei einer Modulneigung von 15° ermittelt werden.

Pro Tag fänden auf der Autobahn bei Fahrtrichtung gen Norden maximal ca. 13 Minuten und pro Jahr ca. 300 Minuten (5 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicht vom betroffenen Bereich der Autobahn auf die reflektierenden Solarmodule von umliegender Vegetation eingeschränkt ist.

6.2.1.4 A 13 – Fahrtrichtung gen Norden Zufahrt

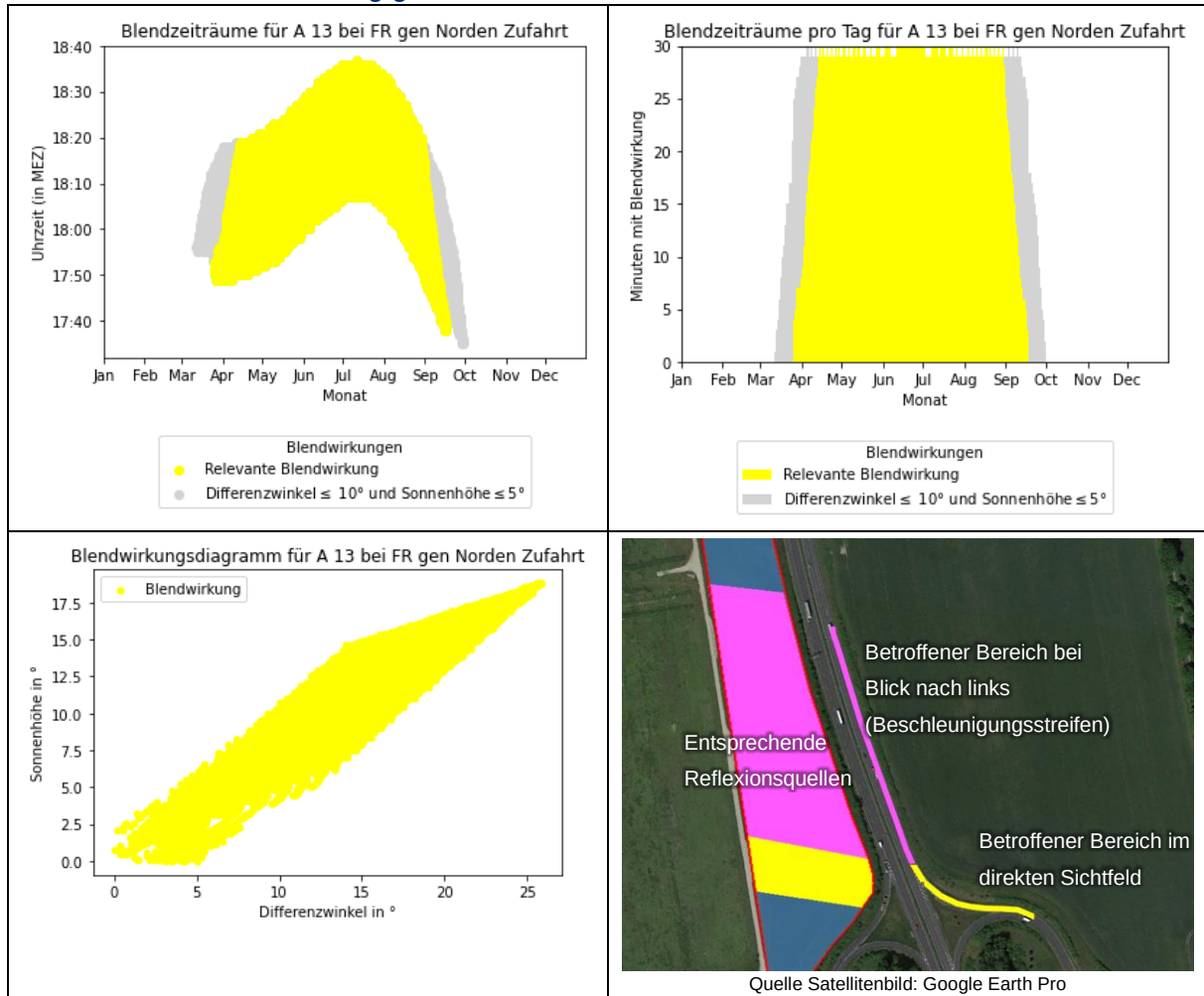


Abbildung 16: Blendwirkungen auf der Zufahrt zur A 13 Richtung Norden - bei Azimut = 180° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der Zufahrt auf die A 13 in Fahrtrichtung gen Norden fänden statt, wenn seitlich auf die Modulreihen geblickt wird und die Sonne gerade tief im Westen steht. Im direkten Sichtfeld ($\pm 40^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) könnten Blendwirkungen nur in der Kurve zum Beschleunigungsstreifen auftreten. Auf dem Beschleunigungsstreifen selbst können Blendwirkungen stattfinden, wenn Fahrzeugführer nach links (Westen) blicken, was jedoch bei Schulterblicken im Rahmen des Spurwechsels in diesem Abschnitt zu erwarten ist.

Pro Tag fänden auf der Zufahrt maximal ca. 30 Minuten und pro Jahr ca. 4650 Minuten (77,5 Std.) relevante Blendwirkungen statt (Blendwirkungen bei Schulterblicken auf dem Beschleunigungsstreifen nicht mitgezählt).

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicht vom betroffenen Bereich der Autobahn auf die reflektierenden Solarmodule von umliegender Vegetation eingeschränkt ist.

6.2.1.5 A 13 – Fahrtrichtung gen Norden Ausfahrt

Die Simulation hat ergeben, dass auf der Ausfahrt von der A 13 bei Fahrtrichtung gen Norden keine Reflexionen im relevanten Sichtbereich von Fahrzeugführern auftreten werden.

6.2.1.6 L 40 – beide Fahrtrichtungen

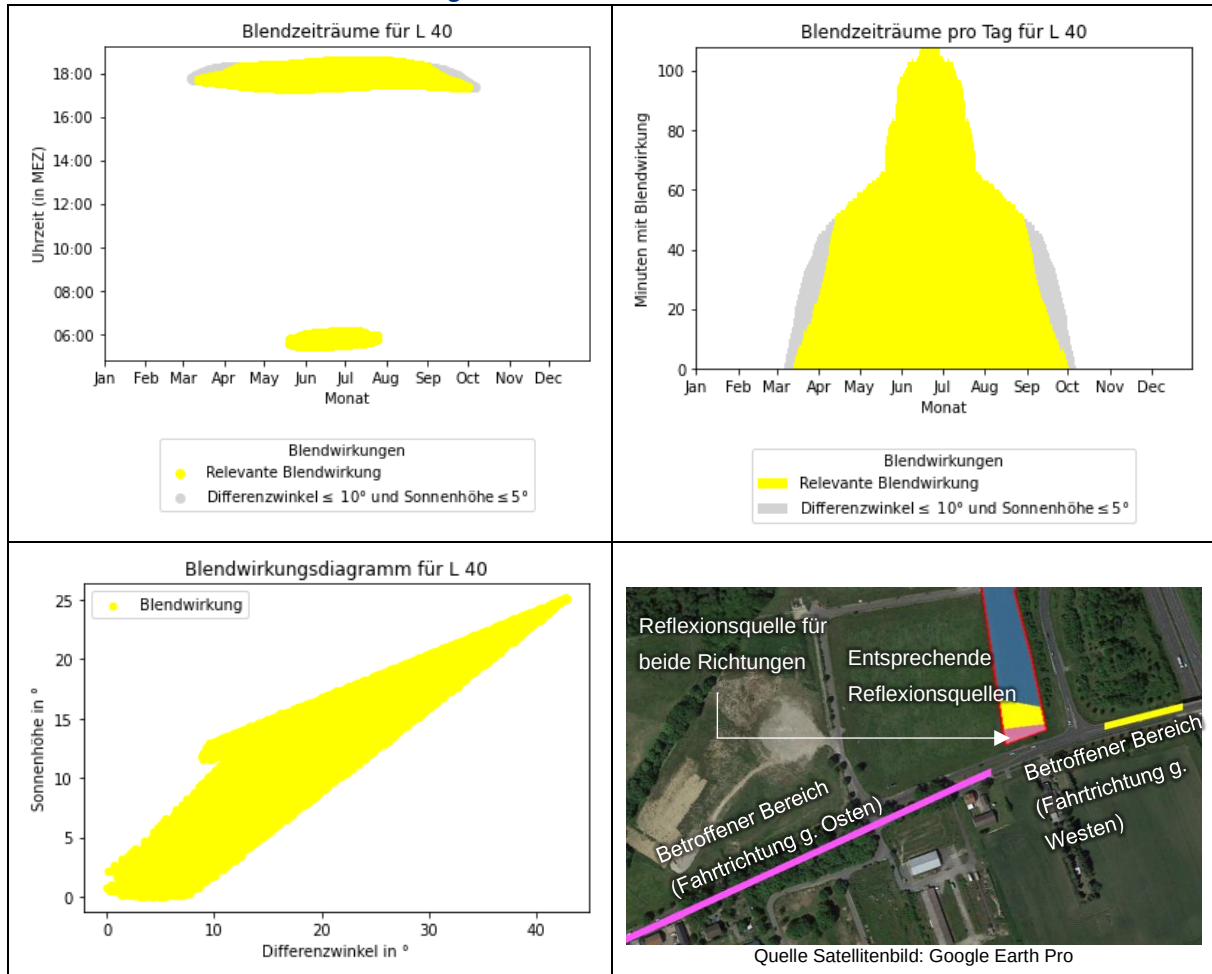


Abbildung 17: Blendwirkungen auf der L 40 (beide Fahrtrichtungen) -
Azimut = 180° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der L 40 fänden statt, wenn auf die südlichen Modulreihen geblickt wird.

Pro Tag fänden maximal ca. 110 Minuten und pro Jahr ca. 12100 Minuten (rund 202 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

Es ist jedoch zu beachten, dass zwischen der L 40 und der PVA teilweise Bäume existieren, welche den Sichtbezug von Fahrzeugführern auf die Solarmodule einschränken. Zudem hat die Simulation ergeben, dass die Blendwirkungen, welche bei Fahrtrichtung gen. Osten auftreten, von der Intensität her (relativ) schwach ausfallen.

6.2.2 Ost-West-Ausrichtung

Es wurde festgestellt, dass sich die Ergebnisse bzgl. der Blendwirkungen bei unterschiedlichen Modulneigungen (15° , 20° und 25°) in meisten Fällen nicht signifikant unterscheiden. Demnach werden im Folgenden lediglich die Ergebnisse für einen Modulneigungswinkel von 20° (stellvertretend für alle) dargestellt. Davon ausgenommen sind die Blendwirkungen auf der L 40, welche bei einem Modulneigungswinkel von 15° deutlich stärker ausfallen und demnach noch zusätzlich dargestellt werden.

6.2.2.1 A 13 – Fahrtrichtung gen Süden

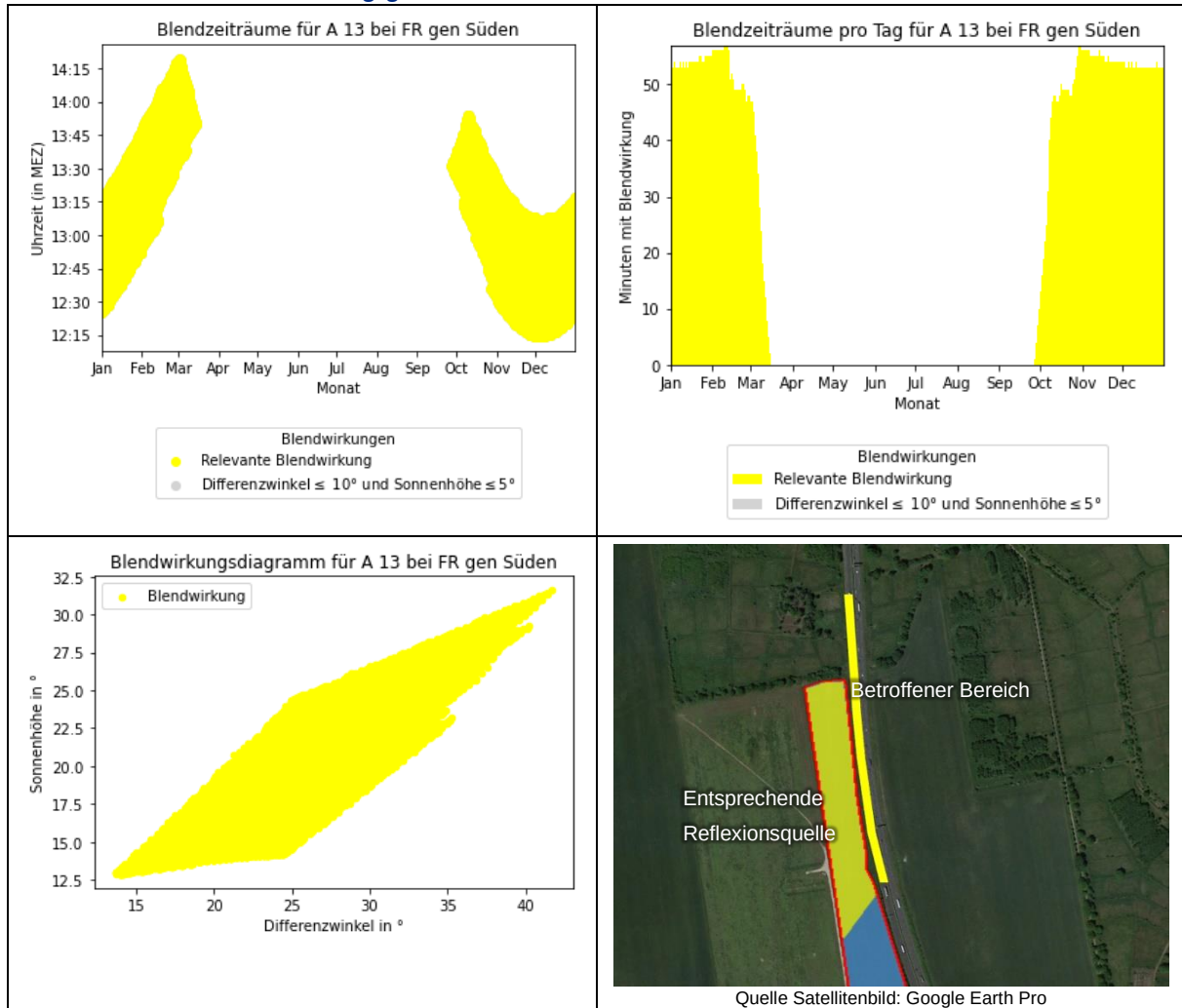


Abbildung 18: Blendwirkungen A 13 bei Fahrtrichtung gen Süden - bei Azimut = 90° , 270° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der A 13 in Fahrtrichtung gen Süden fänden statt, wenn im nördlichen Bereich der PVA auf die nach Osten ausgerichteten Module geblickt wird.

Pro Tag fänden auf der Zufahrt maximal ca. 55 Minuten und pro Jahr ca. 8200 Minuten (rund 137 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicht vom betroffenen Bereich der Autobahn auf die reflektierenden Solarmodule von umliegender Vegetation eingeschränkt ist.

6.2.2.2 A 13 – Fahrtrichtung gen Süden Zufahrt

Die Simulation hat ergeben, dass auf der Zufahrt zur A 13 nach Süden keine Reflexionen im relevanten Sichtbereich von Fahrzeugführern auftreten werden.

6.2.2.3 A 13 – Fahrtrichtung gen Süden Ausfahrt

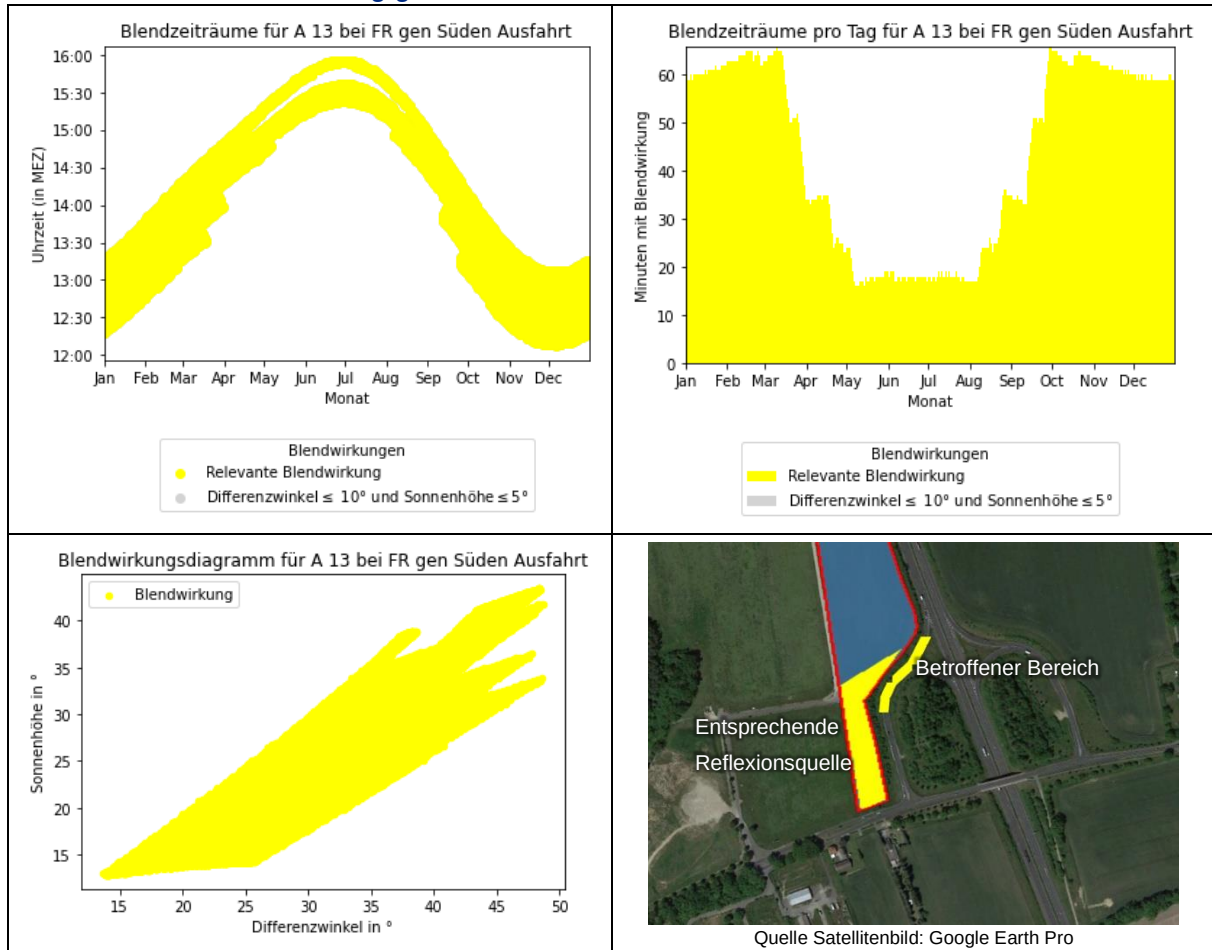


Abbildung 19: Blendwirkungen auf Ausfahrt von der A 13 bei Fahrtrichtung gen Süden - bei Azimut = 90°, 270° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der Ausfahrt von der A 13 bei Fahrtrichtung gen Süden fänden statt, wenn in der Kurve auf die Modulreihen im südlichen Anlagenteil geblickt wird.

Pro Tag fänden auf der Zufahrt maximal ca. 63 Minuten und pro Jahr ca. 15800 Minuten (rund 263 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicht vom betroffenen Bereich der Autobahn auf die reflektierenden Solarmodule von umliegender Vegetation eingeschränkt ist.

6.2.2.4 A 13 – Fahrtrichtung gen Norden (inkl. Ausfahrt)

Die Simulation hat ergeben, dass auf der A 13 bei Fahrtrichtung gen Norden (inkl. Ausfahrt) keine Reflexionen im relevanten Sichtbereich von Fahrzeugführern auftreten werden.

6.2.2.5 A 13 – Fahrtrichtung gen Norden Zufahrt

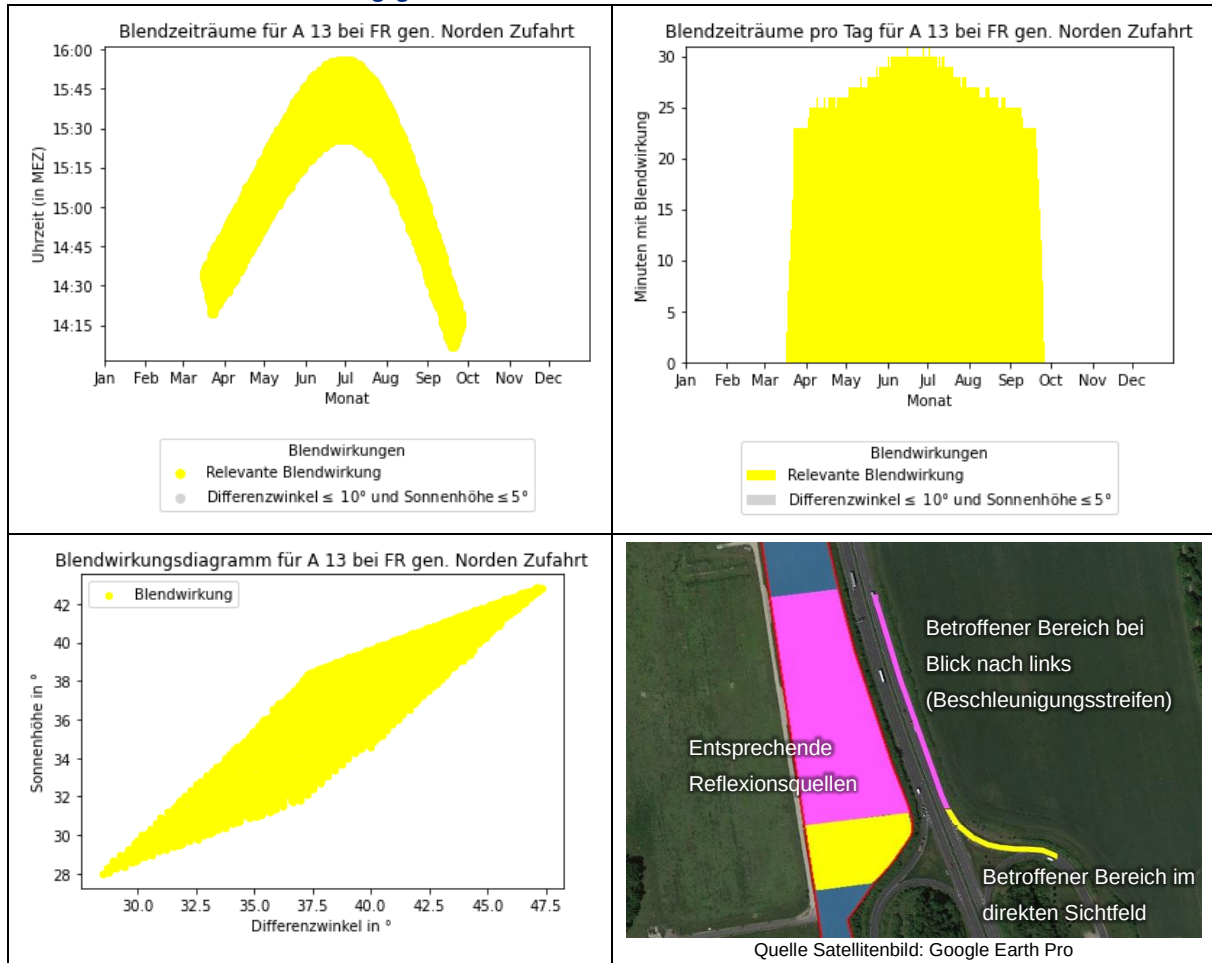


Abbildung 20: Blendwirkungen auf der Zufahrt zur A 13 Richtung Norden - bei Azimut = 90°, 270° und Modulneigung = 20°

Blendwirkungen auf der Zufahrt auf die A 13 in Fahrtrichtung gen Norden fänden statt, wenn seitlich auf die nach Osten ausgerichteten Module geblickt wird. Im direkten Sichtfeld ($\pm 40^\circ$ bezogen auf die Fahrtrichtung) könnten Blendwirkungen nur in der Kurve zum Beschleunigungsstreifen auftreten. Auf dem Beschleunigungsstreifen selbst können Blendwirkungen stattfinden, wenn Fahrzeugführer nach links (Westen) blicken, was jedoch bei Schulterblicken im Rahmen des Spurwechsels in diesem Abschnitt zu erwarten ist. Wird über 90° nach links über die Schulter geblickt, können Blendwirkungen (anders als abgebildet) im ganzen Jahr auftreten.

Pro Tag fänden auf der Zufahrt maximal ca. 30 Minuten und pro Jahr ca. 5000 Minuten (rund 83 Std.) relevante Blendwirkungen statt (Blendwirkungen bei Schulterblicken auf dem Beschleunigungsstreifen nicht mitgezählt).

Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicht vom betroffenen Bereich der Autobahn auf die reflektierenden Solarmodule von umliegender Vegetation eingeschränkt ist.

6.2.2.6 L 40 – Fahrtrichtung gen Westen (Modulneigung = 15°)

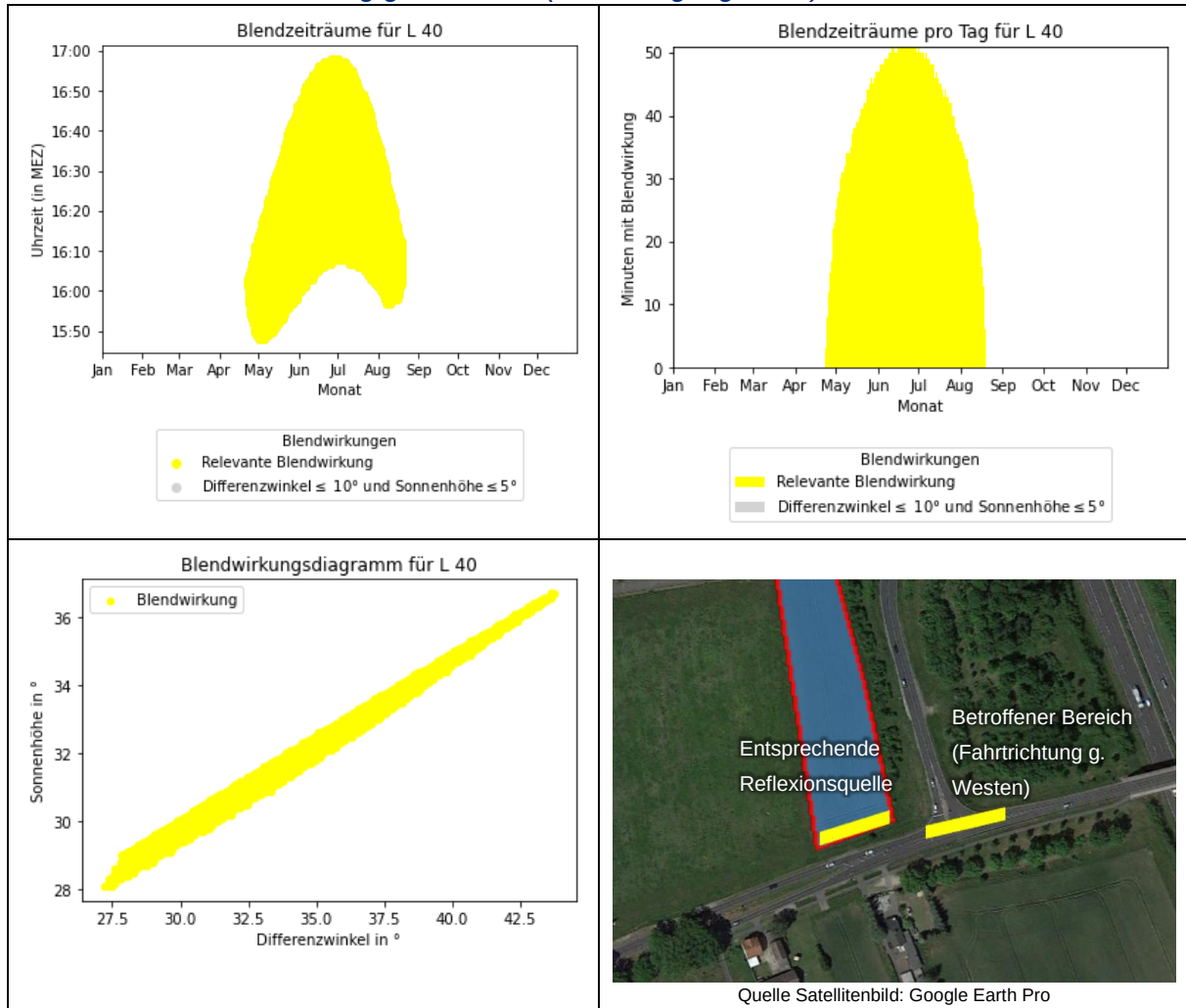
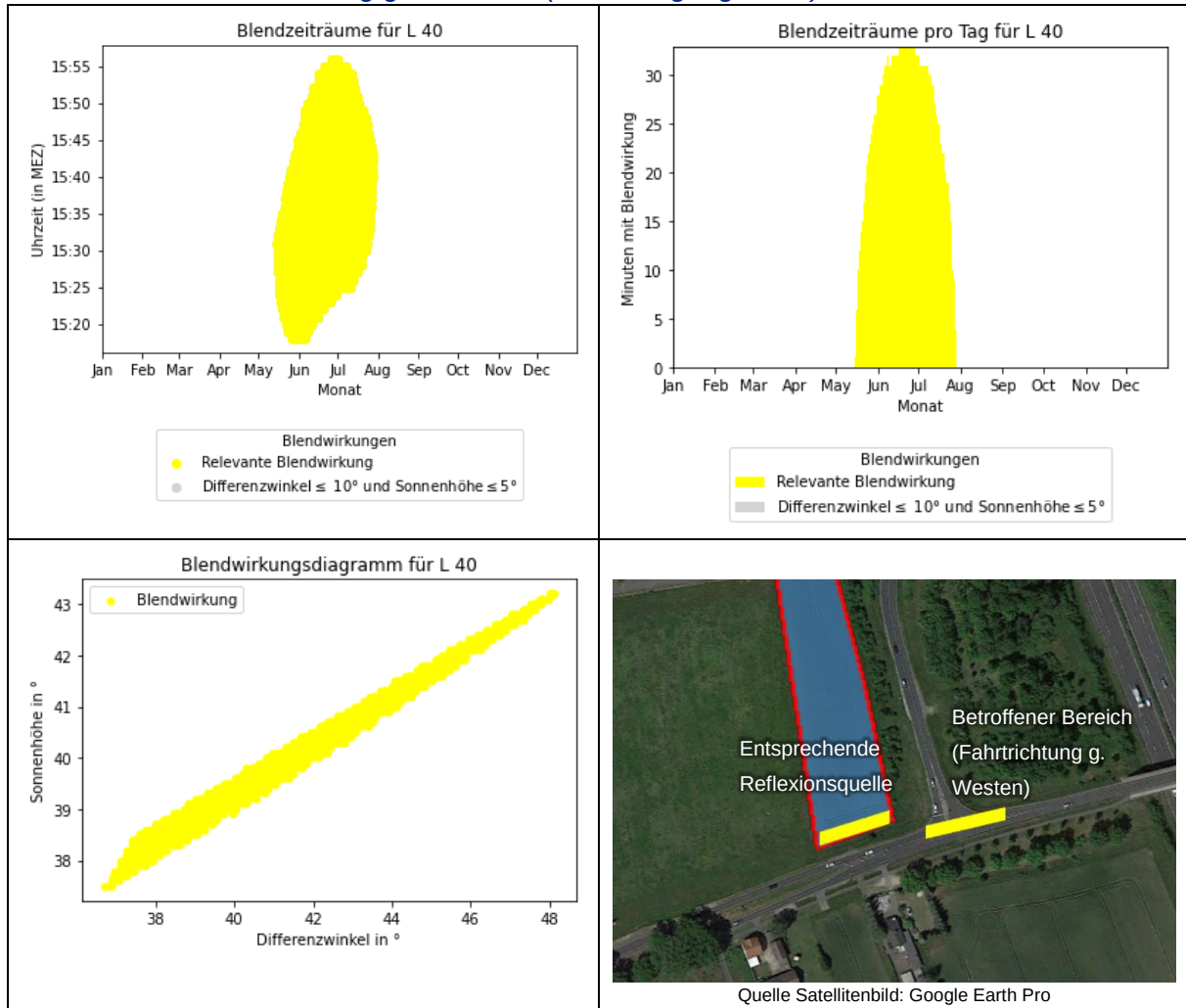


Abbildung 21: Blendwirkungen auf der L 40 (beide Fahrrichtungen) - Azimut = 90°, 270 und Modulneigung = 15°

Blendwirkungen auf der L 40 bei Fahrtrichtung gen Westen fänden statt, wenn auf die südlichsten, nach Osten ausgerichteten Solarmodule geblickt wird.

Pro Tag fänden maximal ca. 50 Minuten und pro Jahr ca. 4700 Minuten (rund 78 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

6.2.2.7 L 40 – Fahrtrichtung gen Westen (Modulneigung = 20°)



Blendwirkungen auf der L 40 bei Fahrtrichtung gen Westen fänden statt, wenn auf die südlichsten, nach Osten ausgerichteten Solarmodule geblickt wird.

Pro Tag fänden maximal ca. 33 Minuten und pro Jahr ca. 1900 Minuten (rund 32 Std.) relevante Blendwirkungen statt.

6.2.2.8 L 40 – Fahrtrichtung Osten Westen

Laut der Simulation finden auf der L 40 bei Fahrtrichtung gen Osten keine Blendwirkungen statt.

7 Literaturverzeichnis

- [1] B. CATTANEO, „Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)“, *EU Science Hub - European Commission*, 15. Juni 2018. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> (zugegriffen 17. April 2021).
- [2] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (Leitfaden)*. 2012. [Online]. Verfügbar unter: https://www.lai-immissionsschutz.de/documents/lichthinweise-2015-11-03mit-formelkorrektur_aus_03_2018_1520588339.pdf
- [3] K. Mertens, *Photovoltaik: Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis*, 5. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2020.
- [4] Volker Quaschnig, *Regenerative Energiesysteme: Technologie - Berechnung - Simulation*, 9. Aufl. Carl Hanser Verlag München, 2015.
- [5] J. Yellowhair und C. K. Ho, „Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts“, San Diego, California, USA, Juni 2015, S. V002T11A003. doi: 10.1115/ES2015-49481.
- [6] J. A. Duffie und W. A. Beckman, „Solar Engineering of Thermal Processes“, Bd. 4, 2013.
- [7] R. Jurado-Piña und J. M. P. Mayora, „Methodology to Predict Driver Vision Impairment Situations Caused by Sun Glare“, *Transportation Research Record*, Bd. 2120, Nr. 1, S. 12–17, Jan. 2009, doi: 10.3141/2120-02.

Anhang A: Annahmen und Limitationen von SGHAT



4. Assumptions and Limitations

Below is a list of assumptions and limitations of the models and methods used in SGHAT:

- The software currently only applies to flat reflective surfaces. For curved surfaces (e.g., focused mirrors such as parabolic troughs or dishes used in concentrating solar power systems), methods and models derived by Ho et al. (2011) [1] can be used and are currently being evaluated for implementation into future versions SGHAT.
- SGHAT does not rigorously represent the detailed geometry of a system; detailed features such as gaps between modules, variable height of the PV array, and support structures may impact actual glare results. However, we have validated our models against several systems, including a PV array causing glare to the air-traffic control tower at Manchester-Boston Regional Airport and several sites in Albuquerque, and the tool accurately predicted the occurrence and intensity of glare at different times and days of the year.
- SGHAT assumes that the PV array is aligned with a plane defined by the total heights of the coordinates outlined in the Google map. For more accuracy, the user should perform runs using minimum and maximum values for the vertex heights to bound the height of the plane containing the solar array. Doing so will expand the range of observed solar glare when compared to results using a single height value.
- SGHAT does not consider obstacles (either man-made or natural) between the observation points and the prescribed solar installation that may obstruct observed glare, such as trees, hills, buildings, etc.
- The variable direct normal irradiance (DNI) feature (if selected) scales the user-prescribed peak DNI using a typical clear-day irradiance profile. This profile has a lower DNI in the mornings and evenings and a maximum at solar noon. The scaling uses a clear-day irradiance profile based on a normalized time relative to sunrise, solar noon, and sunset, which are prescribed by a sun-position algorithm [2] and the latitude and longitude obtained from Google maps. The actual DNI on any given day can be affected by cloud cover, atmospheric attenuation, and other environmental factors.
- The ocular hazard predicted by the tool depends on a number of environmental, optical, and human factors, which can be uncertain. We provide input fields and typical ranges of values for these factors so that the user can vary these parameters to see if they have an impact on the results. The speed of SGHAT allows expedited sensitivity and parametric analyses.
- Single- and dual-axis tracking compute the panel normal vector based on the position of the sun once it is above the horizon. Dual-axis tracking does not place a limit on the angle of rotation, unless the sun is below the horizon. For single-axis tracking, a maximum angle of rotation can be applied to both the clockwise and counterclockwise directions.

Ausschnitt wurde dem SGHAT-Handbuch (Solar Glare Hazard Analysis Tool) entnommen. Das vollständige Handbuch kann unter folgendem Link gefunden werden:

https://forgesolar.com/static/docs/SGHAT3-GlareGauge_user_manual_v1.pdf