

Blendgutachten „Freiflächen- Photovoltaikanlage Samtens II“

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

SolRenta Betriebs GmbH & Co. KG
Herr Jörg Meding
Walther-Rathenau-Straße 45
14558 Nuthetal

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-396
E-Mail: ralfschmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 29.01.2024

Berichtsnummer: P240002-01



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	<i>Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen</i>	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.1.3	Straßenverkehrsgesetze	7
3.1.4	Richtlinien der FGSV	7
3.2	<i>Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen</i>	8
3.3	Blendung	9
3.3.1	Blendung allgemein	9
3.3.2	Blendung im Verkehr	9
3.3.3	Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich	11
4	Berechnungsmethodik	12
4.1	Verwendete Azimut-Winkelangaben	12
4.2	Reflexionsberechnung	12
4.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte	13
4.4	Lichttechnische Aspekte	14
4.5	Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen	14
4.5.1	Straßen- und Schienenverkehr	14
4.5.2	Schützenswerte Räume	15
5	Situation vor Ort	17
5.1	PV-Anlage	17
5.2	Potenzielle Immissionsorte	19
5.2.1	Vorbetrachtung	19
5.2.2	Potenzielle Blendrichtungen bei Ausrichtung der Module nach Osten	19
5.2.3	Potenzielle Blendrichtungen bei Ausrichtung der Module nach Westen	21
5.2.4	Auswahl der zu prüfenden Blickpunkte	23



6	Berechnungsergebnisse.....	26
6.1	Bahnstrecke Stralsund-Sassnitz in Richtung Stralsund.....	26
6.1.1	Blickpunkt Bahn_01.....	26
6.1.2	Blickpunkt Bahn_02.....	27
6.2	L 296 in Richtung Samtens.....	29
6.2.1	Blickpunkt L296_01.....	29
6.2.2	Blickpunkt L296_02.....	30
6.3	B 96 in Richtung Samtens.....	31
6.3.1	Blickpunkt B96_01.....	31
6.3.2	Blickpunkt B96_02.....	32
6.4	Abfahrt von der B 96 zur L 296 Richtung Samtens.....	33
6.4.1	Blickpunkt Abfahrt_01.....	33
7	Bewertung der Blendrisiken.....	34
7.1	Astronomischer Nachführbetrieb der PV-Anlage	34
7.2	Backtrackingbetrieb der PV-Anlage	34
7.3	Parkposition des Trackersystems.....	34
7.3.1	Mehrtägige und ungeplante Anlagenstillstände.....	34
7.3.2	Geplante Anlagenstillstände für landwirtschaftliche Arbeiten	35
8	Verwendete Materialien.....	36
8.1	Dokumente vom Auftraggeber	36
8.2	Literatur.....	36
9	Abbildungsverzeichnis.....	38
10	Tabellenverzeichnis	40



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es ist zu prüfen, ob von den PV-Modulen der in Samtens auf der Insel Rügen geplanten Freiflächen-Photovoltaikanlage „Samtens II“ Sonnenlicht auf den Schienen- oder Straßenverkehr reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls verkehrsbeeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten PV-Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten.



Abbildung 1: Lage der geplanten Freiflächen-Photovoltaikanlage „Samtens II“ (PV-Modulreihen in blau und grün eingezeichnet)



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass es im astronomischen Nachführungsbetrieb des Trackersystems zu keinen potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer und schützenswerte Nutzungen im Umfeld der geplanten PV-Anlage Samtens II kommen.

Es wird festgestellt, dass es in den Phasen des Backtrackings nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang, in denen die PV-Module mit einem gegenüber einer astronomische Nachführung geringerem Neigungswinkel ausgerichtet werden, ab einem Neigungswinkel von 5° zu keinen blendenden Reflexionen auf die Teilnehmer des Straßen- und Schienenverkehrs kommen kann.

Es wird festgestellt, dass bei einer Parkposition des Trackersystems für unvorhergesehene und ganztägige Anlagenstillstände vorgesehen ist, mit einer Modulausrichtung nach Osten bei einer Neigung von 5° keine Sonnenlichtreflexionen auf Fahrzeugführenden im Straßen- und Schienenverkehr gerichtet sein können, die eine Beeinträchtigung der Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs bewirken. Auf Grund ihrer geringen Beleuchtungsstärke und des geringen Abstandswinkels zur vielfach helleren Sonne verursachen auch die in das zentrale Blickfeld von Fahrzeugführenden möglichen Sonnenlichtreflexionen keine eigenständige oder zusätzlich Blendung.

Empfehlungen:

- Im Backtrackingbetrieb sollten Neigungswinkel $< 5^\circ$ ausgeschlossen werden.
- Die Parkposition der Anlage sollte auf 5° bis 6° Ost eingestellt werden.
- Für geplante landwirtschaftliche Arbeiten, die einen großen Neigungswinkel (55° bis 60°) der PV-Module erfordern, sollte organisatorisch sichergestellt werden, dass die PV-Module vormittags bis 12:00 nach Westen und danach nach Osten ausgerichtet werden.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Freiflächen-Photovoltaikanlage Samtens II bei Umsetzung der Empfehlungen als genehmigungsfähig einzustufen.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Errichter der Anlage bzw. dessen Rechtsnachfolger, beim Auftraggeber sowie zur Klärung genehmigungsrechtlicher Fragen bei den entsprechenden Behörden. Darunter fällt auch die Weitergabe des Berichts als Bestandteil des Bebauungsplanes (B-Plan) durch die Gemeinde an berechnigte Interessenten nach dem Informationsfreiheitsgesetz. Eine Weitergabe an sonstige Dritte oder eine Veröffentlichung des Berichtes unabhängig vom B-Plan als Ganzes oder in Teilen ist nur in Absprache mit der Solarpraxis Engineering GmbH zulässig.

3.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Das Raumordnungsgesetz (ROG) in der seit Februar 2023 wirksamen Fassung beruht u. a. auf dem Grundsatz, den „räumlichen Erfordernissen für eine kostengünstige, sichere und umweltverträgliche Energieversorgung [...] Rechnung zu tragen.“

Das Baugesetzbuch (BauGB) gibt den Rahmen für die Bauleitplanung vor. Bauleitpläne im Sinne des Gesetzes sind nach § 1 Abs. 2 „der Flächennutzungsplan (vorbereitender Bauleitplan) und der Bebauungsplan (verbindlicher Bauleitplan)“. Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Mit dem Gesetz zur sofortigen Verbesserung der Rahmenbedingungen für die erneuerbaren Energien vom 4. Januar 2023 werden bestimmte Solaranlagen in die Liste der privilegierten Vorhaben des § 35 Abs. 1 BauGB aufgenommen:

- Solaranlagen in, an und auf Dach- und Außenwandflächen von zulässigerweise genutzten Gebäuden, wenn die Anlage dem Gebäude baulich untergeordnet ist
- Solaranlagen auf einer Fläche längs von Autobahnen oder Schienenwegen des übergeordneten Netzes im Sinne des § 2b des Allgemeinen Eisenbahngesetzes mit mindestens zwei Hauptgleisen und in einer Entfernung zu diesen von bis zu 200 Metern, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn
- Solaranlagen bis zu einer Größe von 25.000 m² im Rahmen eines landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betriebs

Durch die Privilegierung steht eine bloße Beeinträchtigung öffentlicher Belange dem Vorhaben nicht mehr entgegen und die Realisierung des Vorhabens wird in der Schutzgüterabwägung gegenüber anderen öffentlichen Belangen gestärkt. Durch die Zuweisung eines überragenden öffentlichen Interesses an der Errichtung und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2023) setzen sich diese in der Regel gegen andere öffentliche Belange durch.

Die Privilegierung von Solaranlagen entlang von Autobahnen und Schienenwegen führt auch zu einer Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens. Im Regelfall ist keine zeitaufwändige Bauleitplanung mehr erforderlich. Es kann direkt ein Bauantrag gestellt werden, dessen Bewilligung



nicht mehr von der Zustimmung des Gemeinderats abhängt. Bei Genehmigungsfähigkeit der Anlage besteht ein Anspruch auf Erteilung der Baugenehmigung. Zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit fordern die stellungnehmenden Autobahn- und Schienenwegbetreiber im Regelfall ein Blendgutachten ein.

3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen, darunter auch Lichtimmissionen, schützen und deren Entstehung vorbeugen. Nach den Vorschriften des BImSchG sind sowohl genehmigungspflichtige als auch nicht genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen, sonstige Gefahren sowie erhebliche Nachteile und Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft vermieden werden.

Derzeit gibt es keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Diese Aufgabe übernimmt die „Richtlinie zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen“ (Licht-Richtlinie) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz, einem Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz. Die Licht-Richtlinie gibt im Anhang 2 (Stand 3.11.2015) Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von großflächigen Freiflächen-Photovoltaikanlagen im Rahmen von Baugenehmigungsverfahren.

3.1.3 Straßenverkehrsgesetze

Das Straßenverkehrsrecht ist ein Sicherheitsrecht und darauf ausgerichtet, die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten (§ 6 Abs. 1 StVG). Es dient dem Zweck, die spezifischen Gefahren, Behinderungen und Belästigungen auszuschalten oder wenigstens zu mindern, die mit der Straßenbenutzung verbunden sind und liefert damit die Bewertungsgrundlage für Blendrisiken im Straßenverkehr. Im Bundesfernstraßengesetz (FstrG) regelt §9 Absatz 3, dass die Zustimmung für Baugenehmigungen entlang der Verkehrswege außerhalb der Anbauverbotszonen nur versagt werden darf, wenn die Sicherheit oder Leichtigkeit des Verkehrs dadurch beeinträchtigt wird.

3.1.4 Richtlinien der FGSV

Die Richtlinien für die Anlage von Land- und Stadtstraße der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) sind technische Regelwerke, die unter anderem die Anforderungen an freizuhaltende Sichtfelder im Verkehrswesen regeln.



3.2 Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus den Hauptkomponenten Montagegestell, Wechselrichter und Photovoltaik-Modul (PV-Modul). Auf Grund der großen zusammenhängenden Fläche kann das von den Deckgläsern der Module reflektierte Sonnenlicht eine Blendung von Anwohnern und Vorbeifahrenden bewirken. Potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten. Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ erreicht, muss auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($> 10^5 \text{ cd/m}^2$) bei Beobachtern gerechnet werden.

Für Deckgläser von PV-Modulen wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen und damit den Lichteinfall auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert. Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahlichten sichtbaren Lichtes reflektiert wird, während bei einem Einfallswinkel von 65° ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert wird. Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und der Transmission des Lichts durch das Glas.

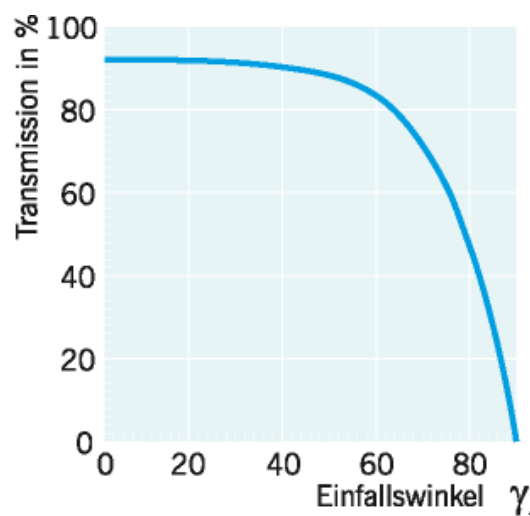


Abbildung 2: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Antireflexbeschichtungen von Solarmodulen entfalten Ihre größte Wirksamkeit bei senkrechtem Lichteinfall. Bei flacheren Einfallswinkeln sinkt die reflexionsmindernde Wirkung, so dass sie bei den potenziell blendwirksamen Reflexionen mit flachen Einfallswinkeln zur reflektierenden Ebene den gewünschten Blendschutz in der Regel nicht erreichen.



3.3 Blendung

3.3.1 Blendung allgemein

Blendung wird in der DIN EN 1266 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist die Lichtstärke pro Fläche (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche dar. Zu große Leuchtdichteunterschiede oder ungünstige Leuchtdichteverteilungen im Gesichtsfeld können zu einem unangenehmen Gefühl (psychologische Blendung) oder einer tatsächlich messbaren Herabsetzung der Sehleistung (physiologische Blendung) führen. Ab einer Leuchtdichte von 10^4 bis $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ kann die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten werden. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹

Abbildung 3 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen². Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.



Abbildung 3: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

3.3.2 Blendung im Verkehr

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die physiologische Blendung an, die die Sehleistung herabzusetzen vermag. Dagegen spielt die psychologische Blendung in diesem Zusammenhang kaum eine Rolle. Ein nur kurz auftretendes subjektives Unbehagen aufgrund von kurzzeitiger Blendung im Vorbeifahren führt noch nicht zu einer Beeinträchtigung der Fahrleistung.

Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine äquivalente Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch

¹ Wittlich 2010

² Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Wahrnehmung des menschlichen Auges nicht direkt mit einer Fotografie vergleichbar ist. Die hier gezeigten Aufnahmen dienen ausschließlich der Verdeutlichung des Sachverhaltes.



die Kontrasterkennung vermindert. Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend sind die Beleuchtungsstärken am Auge von Verkehrsteilnehmern, die Blendquellengröße im Gebrauchsblickfeld, der Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle sowie die jeweils mögliche Einwirkzeit. Das Gebrauchsblickfeld umfasst den Bereich, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können. In der Literatur wird dieser Bereich mit $+25^\circ/-40^\circ$ vertikal und 30° Rechts- und Linksblick definiert.

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen. Bei Sehaufgaben, wie Autofahren, verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden nur Änderungen bis zu einem horizontalen Abstandswinkel von 10° zur Blickachse aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet.^{3 4}

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 4 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)

Funktion	Benennung im Text	horizontal	vertikal
Für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
Maximaler Fixierungsbereich	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

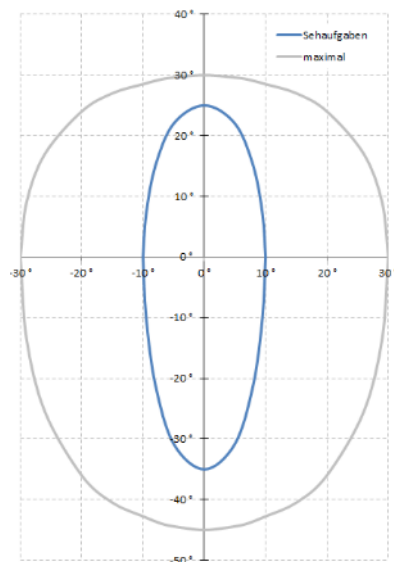


Abbildung 4: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



Für die Beurteilung von Blendwirkungen wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen wird durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge ermöglicht, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Fovea (Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rund um die Blickachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbempfindlichen Zapfen haben ihre größte Dichte in der Fovea. Ihre hohe Dichte ermöglicht bei ausreichender Helligkeit auch die höchste Sehschärfe nahe der Sehachse.

Zu Blendung unter Tageslichtbedingungen gibt es so gut wie keine Untersuchungen. Die Unterschiedlichkeit der Sehvorgänge, eigene Beobachtungen, Informationen von Betroffenen und Diskussionen mit anderen Sachverständigen in diesem Bereich legen es nahe, unter Tageslichtbedingungen den Bereich des fovealen Sehens als entscheidend anzusehen. Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Tagesblendung von Fahrzeugführenden wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von $\pm 5^\circ$ neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von $\pm 10^\circ$ als kritisch angesehen. Zwischen $\pm 10^\circ$ und $\pm 20^\circ$ werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken zwischen den Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage und direktem, gestreutem oder diffusem Sonnenlicht gestellt, da sich die äquivalente Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält. Zwischen $\pm 20^\circ$ und $\pm 30^\circ$ kann es bei einem abrupten Anstieg der Helligkeit zu einer Adaptionsblendung der Fahrzeugführenden kommen. Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ werden generell als physiologisch unerheblich bewertet.

3.3.3 Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich

Die Licht-Richtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz definiert schutzwürdige Räume und Flächen und beschreibt eine Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume unter der Annahme einer punktförmigen Sonne und ideal gerichteter Reflexion. Aufgrund der Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von 0,56° können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Hinsichtlich der Beurteilung sieht die Licht-Richtlinie einen Anhaltspunkt für eine erhebliche Belästigung im Sinne des BImSchG, wenn die berechneten Immissionszeiten bei mindestens 30 min/d oder 30 h/a liegen. Dabei sind nur Immissionszeiten zu berücksichtigen, in denen sich die Blickrichtung zur Sonne und die auf das reflektierende Modul um $\geq 10^\circ$ unterscheiden. Die Richtlinie schränkt den Wertungsmaßstab insofern ein, dass damit nur ein erster Anhaltspunkt für die Beurteilung gegeben wird, dessen Übertragbarkeit im Einzelfall begründet werden muss. Begründete abweichende Bewertungen sind ausdrücklich zulässig.

In der Rechtsprechung wird die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von bis zu einer Stunde werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).



4 Berechnungsmethodik

4.1 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Für die Ausrichtung der PV-Module, in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen wird die geodätische Azimutangabe verwendet: Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270° .

4.2 Reflexionsberechnung

Für die Reflexionsberechnungen wird der im Regelfall in einem UTM-Koordinatensystem erstellte Belegungsplan der geplanten Solaranlage auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und zum Ausgleich der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Plangrundlage werden die Azimutausrichtung und die Neigung der Module unter Berücksichtigung etwaiger Querneigungen bestimmt.

Anschließend werden die Reflexionsrichtungen nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) unter Annahme einer punktförmigen Sonne berechnet. Die Reflexionsberechnung erfolgt mit den Sonneneinfallswinkeln am Standort der Anlage in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Sie liefert den Azimut und den Höhenwinkel des von der reflektierenden Fläche ausgehenden Lichtstrahls. Die Reflexionsrichtungen werden mit dem Azimut als x-Wert und Höhenwinkel als y-Wert anschaulich in einem Reflexionsdiagramm dargestellt. Abbildung 5 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

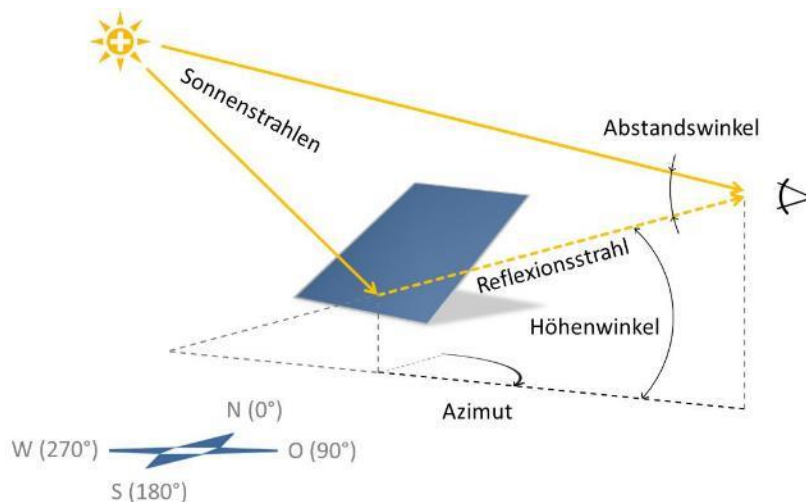


Abbildung 5: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

⁵ Berechnung nach Eicker 2001



Abbildung 6 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm für PV-Module an einem gegebenen Standort, die eine Azimutausrichtung (senkrecht zur reflektierenden Ebene) von 180° und einen Neigungswinkel von 18° aufweisen. Der Standort der PV-Anlage, die Bezeichnung der reflektierenden Ebene (hier: „Ebenes Gelände“), der Zeitabstand zwischen zwei Reflexionspunkten, die Azimutausrichtung und die Modulneigung werden im Kopfbereich des Diagramms dokumentiert.

Im Diagramm werden die Reflexionsrichtungen mit ihrem Azimut- und Höhenwinkel als Tagesganglinien für den 21. jeden Monats mit gleichfarbigen Markierungspunkten dargestellt. Die roten Punkte markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen die am 21. Dezember. Zwischen den Markierungspunkten liegt ein Zeitraum von 6 min. Eine graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass der Abstandswinkel zwischen Reflexions- und Sonnenstrahlen bei weniger als 10° liegt und damit im Allgemeinen die Blendwirkung der Sonne dominierend ist.

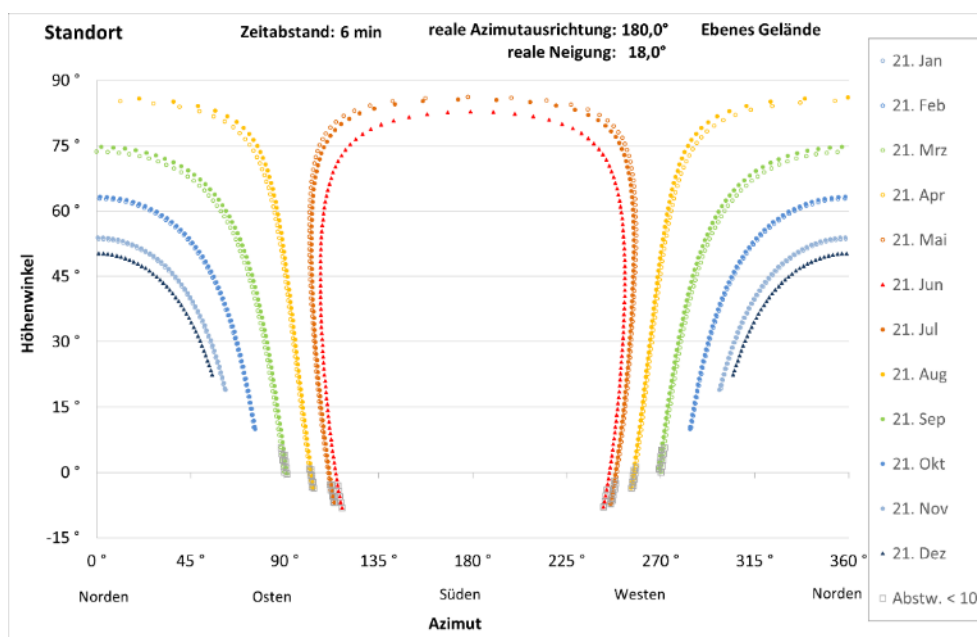


Abbildung 6: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes für PV-Module mit einer Azimutausrichtung von 180° (Süd) und einer Neigung von 18° auf ebenem Gelände an einem gegebenen Standort mit Umrandung der Reflexionszeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel zur Sonne kleiner als 10° ist

Ein potenzieller Immissionsort kann nur von blendenden Sonnenlichtreflexionen der untersuchten PV-Anlage betroffen sein, wenn gleichzeitig die Azimutrichtung und der Höhenwinkel der Reflexionen auf diesen gerichtet sind. Aus den Höhendifferenzen und der Entfernung zwischen PV-Anlage und Immissionsort lässt sich in einem ersten Schritt der blendrelevante Höhenwinkelbereich eingrenzen. Bei Freiflächenanlagen können in der Regel nur Reflexionen bis zu einem maximalen Höhenwinkel von 3° bis 5° auf die umliegenden Immissionsorte treffen. Aus der Eingrenzung des blendrelevanten Höhenwinkelbereichs ergibt sich ein blendrelevanter Azimutbereich der Reflexionen.

4.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Als Reflexionspunkte werden die für die Blendanalyse ausgewählten Punkte auf der reflektierenden Oberfläche der PV-Module bezeichnet. Diese werden so gewählt, dass sie den gesamten Bereich der



PV-Anlage repräsentieren, der in Richtung der im blendrelevanten Azimutbereich liegenden Immissionsorte reflektieren kann. Die x-y-Koordinaten der Reflexionspunkte werden der nach geographisch Nord ausgerichteten Karte mit dem Belegungsplan der PV-Anlage entnommen. Die z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante am Reflexionspunkt und der Höhe über Grund der Unter- und Oberkanten der PV-Module.

Für die zu prüfenden Immissionsorte (Verkehrswege und schützenswerte Räume oder Flächen) werden repräsentative Blickpunkte im blendrelevanten Azimutbereich der Reflexionen festgelegt. Diese werden in die Plangrundlage aufgenommen und mit ihren x-y-Koordinaten in die Berechnungen übernommen. Die z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante zuzüglich den Höhen über Gelände am Blickpunkt. Dazu werden im Straßenverkehr gemäß den Richtlinien der FGSV die Augenpunkthöhen der Fahrzeugführenden mit 1 m (PKW) und 2,5 m (LKW) angesetzt, im Schienenverkehr mit 2 m bis 4 m und bei Gebäude die Höhe des Fenstermittelpunkts. Die minimale und maximale Höhe eines Blickpunkts mit gleichen x-y-Koordinaten werden im Reflexionsdiagramm mit „min“ und „max“ markiert. Für Verkehrswege wird eine Blickrichtung festgelegt, die der Fahrtrichtung entspricht.

4.4 Lichttechnische Aspekte

Zur Beurteilung der Blendwirkung auf Verkehrswege wird auch das Verhältnis der Beleuchtungsstärken am menschlichen Auge zwischen den Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage und dem Umgebungslicht (direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Sonnenlicht) herangezogen.

Zur Ermittlung der Beleuchtungsstärken durch das Umgebungslicht wird der Sonnenhöhenwinkel im untersuchten Reflexionszeitpunkt bestimmt und anschließend die horizontale Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht berechnet. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten. Die horizontale Beleuchtungsstärke beträgt nach DIN 5034 an sonnigen Tag in Mitteleuropa bei einer Sonnenhöhe von 60° (mittags, Sommer) 90.000 lx und bei einer Sonnenhöhe von 16° (mittags, Winter) 20.000 lx.

Die Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen am Blickpunkt wird durch die Multiplikation der zum Reflexionszeitpunkt auf das PV-Modul treffenden Beleuchtungsstärke mit dem für den Auftreffwinkel hinterlegten Reflexionsgrad berechnet. Sollten keine modulspezifischen Reflexionsgrade vorliegen, wird der in Abschnitt 3.2 gezeigte Reflexionsgrad herangezogen, der als worst-case anzusehen ist.

4.5 Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen

4.5.1 Straßen- und Schienenverkehr

In einem Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu den Fahrzeugführenden werden die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel eines Blickpunkts aus Sicht der modellierten Reflexionspunkte dargestellt. Die Blickfelder werden durch ein graues (maximales Gebrauchsblickfeld) und ein blaues (zentrales Blickfeld) Oval dargestellt. Weil das Diagramm aus Sicht der



Reflexionspunkte erstellt wird, muss das Blickfeld der Fahrzeugführenden um 180° gedreht entgegen der Blickrichtung eingezeichnet werden.

Das Reflexionsdiagramm dient zum Abgleich, ob ein Reflexionspunkt der PV-Anlage im Jahresverlauf Reflexionen auf einen Blickpunkt richten kann. Bei gleicher Azimutausrichtung und Modulneigung weist jeder einzelne Punkt der Moduloberfläche die gleiche Reflexionscharakteristik auf, aber aus Sicht jedes einzelnen Reflexionspunkts unterscheiden sich Azimut- und Höhenwinkel zu ein und demselben Immissionsort. Um zu einem aussagekräftigen Diagramm zu gelangen, werden die Kugelkoordinaten des Blickpunkts aus Sicht aller modellierten Reflexionspunkte berechnet und in das Reflexionsdiagramm eingetragen. Liegen diese innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs, d.h. zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni (rote Dreiecke) und den 21. Dezember (dunkelblaue Dreiecke), dann sind Reflexionen auf diesen Punkt möglich und der Zeitpunkt und die Dauer der potenziell blendenden Reflexionen können abgeschätzt werden.

Abbildung 7 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen zu einem Blickpunkt im Straßenverkehr. Das Reflexionsdiagramm für diesen Blickpunkt zeigt, dass von den PV-Modulen von Anfang Mai bis Mitte August morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Reflexionen.

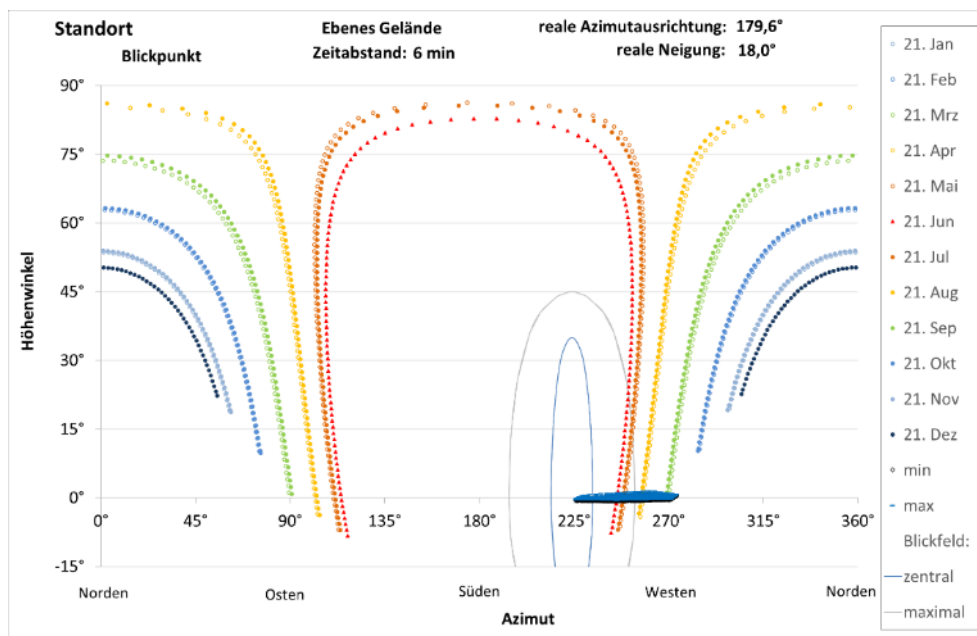


Abbildung 7: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für nach 179,6° Süd ausgerichtete PV-Module auf ebenem Gelände für einen Blickpunkt im Straßenverkehr

4.5.2 Schützenswerte Räume

Abbildung 8 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehungen zu einem schützenswerten Raum (oberes Diagramm) und eine Detailansicht mit dreiminütiger Auflösung der Tagesganglinien (unteres Diagramm), bei der der potenzielle Immissionszeitraum innerhalb eines Jahres durch eine rote Linie umgrenzt wird. Die graue Umrandung der Reflexionspunkte



kennzeichnet die Zeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel der Reflexionsstrahlen zur Sonnenstrahlung $< 10^\circ$ ist, und die damit nicht als Lichtimmissionen im Sinne der maßgeblichen Licht-Richtlinie zu werten sind. Im gezeigten Beispiel beträgt die maximale tägliche Immissionsdauer 5 Minuten (etwas weniger als 2 Reflexionszeitpunkte mit dreiminütigem Abstand auf der Tagesganglinie vom 21. April bzw. August in der Detailansicht). Die maximale jährliche Immissionsdauer, umgrenzt durch die rote Linie in der Detailansicht, beträgt 5 Stunden.

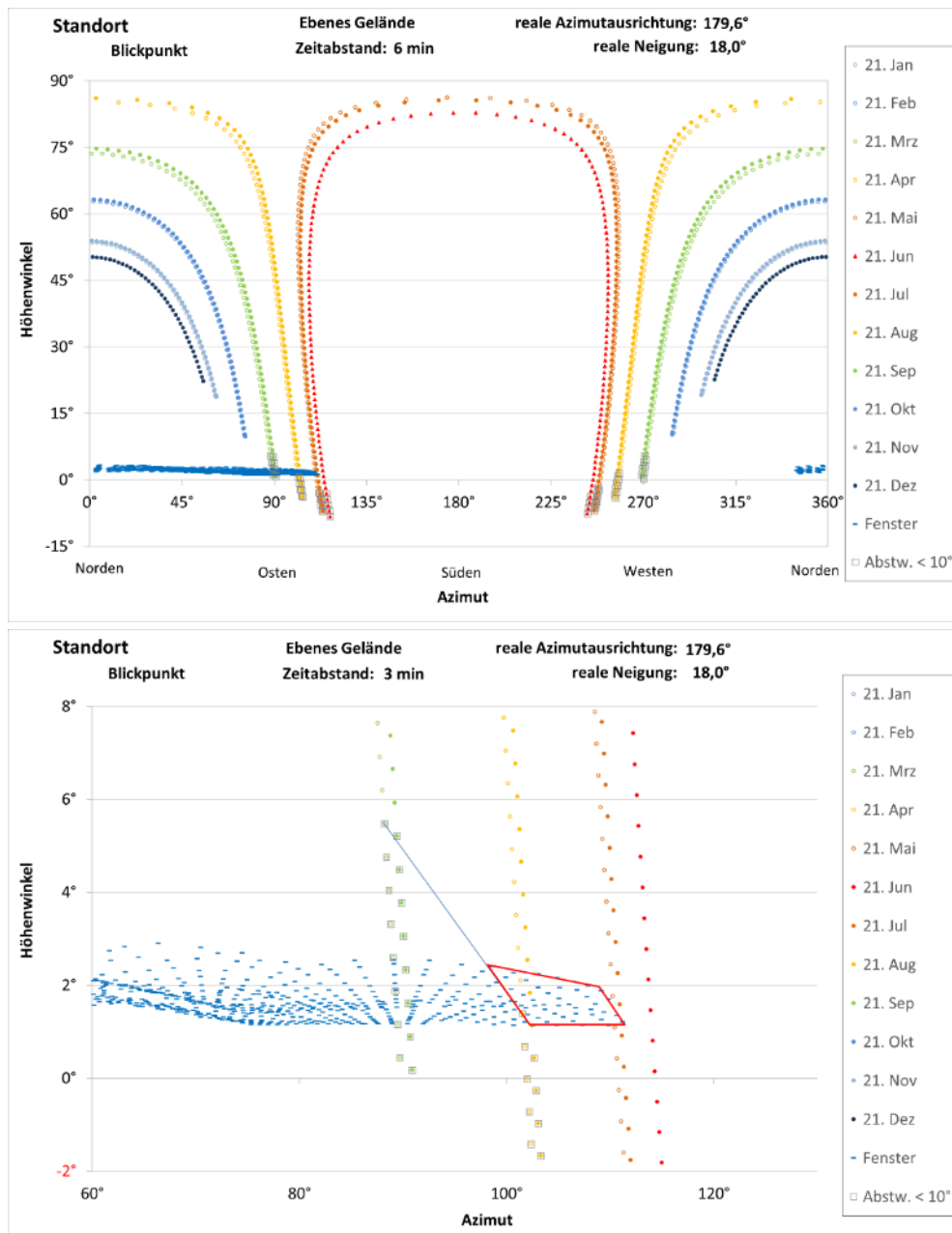


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Räume (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und Eingrenzung des maximalen Immissionszeitraums durch eine rote Linie (unten)

5 Situation vor Ort



5.1 PV-Anlage

Die Freiflächen-Photovoltaikanlage „Samtens II“ soll auf der Flur 4 in der Gemarkung Plüggentin nordöstlich von Samtens auf Rügen errichtet werden. Die PV-Module werden auf ein einachsiges horizontales Trackersystem montiert, dessen Achse in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet ist.

Das Baufeld der Anlage liegt zwischen der Bundesstraße B 96 und der Landesstraße L 296 östlich der Zufahrt auf die B 96 in Richtung Bergen. Das Baufeld steigt von 8 m Höhe üNN im südwestlichen Bereich auf 11 m üNN im mittleren Bereich, um dann zum nordwestlichen Rand wieder auf 10 m üNN zu fallen. Die Bahnlinie Stralsund-Sassnitz und die L 296 verlaufen am südwestlichen Rand auf 9 m üNN und steigen Richtung Nordosten leicht an. Die B 96 und ihre Zubringer liegen höher als das Baufeld. Die Höhendaten wurden dem Geoportal Mecklenburg-Vorpommern entnommen. Abbildung 9 zeigt die geplante Freiflächen-Photovoltaikanlage und deren unmittelbare Umgebung.

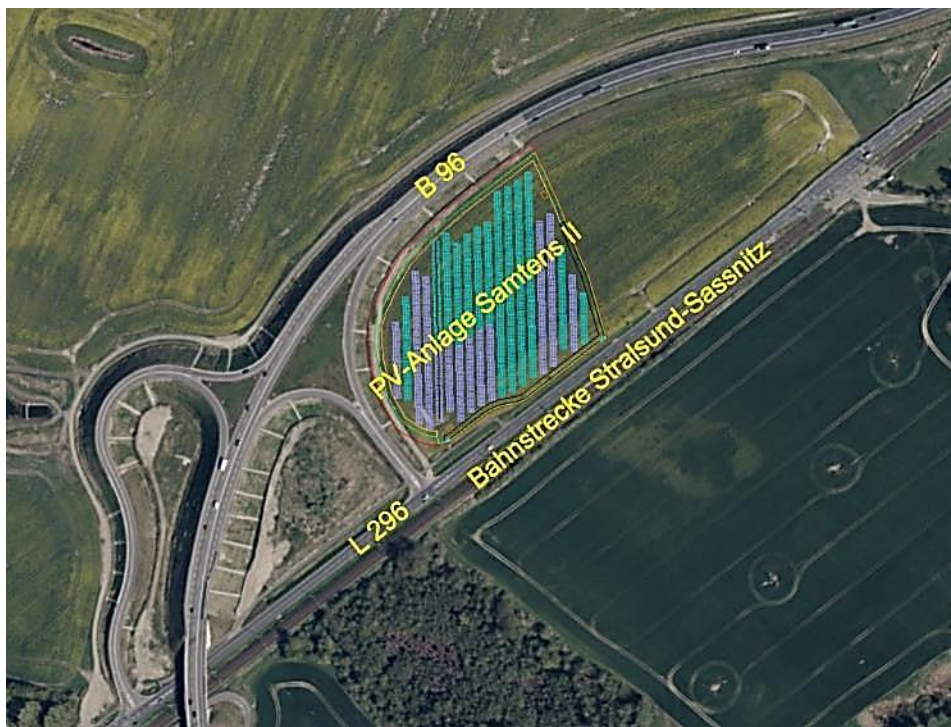


Abbildung 9: Belegungsplan der geplanten PV-Anlage Samtens II (Modultischreihen in grün und blau) vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

Nach den Systemangaben werden die PV-Module auf einachsige horizontale Trackersysteme montiert. Die Achse des Nachführsystems verläuft in Nord-Süd-Richtung. Die PV-Module werden vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen ausgerichtet. Die Nachführung des Trackersystems kann kurz nach Sonnenaufgang und kurz vor Sonnenuntergang durch einen Backtracking-Algorithmus geregelt werden, um die gegenseitige Verschattung der Module zu begrenzen. Die Module werden dann morgens mit Ausrichtung nach Osten aus geringer Neigung bis auf die maximale Neigung von 55° - 60° gedreht. Spätestens ab einem Höhenwinkel der Sonne



von 30° greift eine astronomische Nachführung nach der Sonnenhöhe, bei der die Neigung der PV-Module durch die Nachführung wieder vermindert wird, bis die Module nach dem Erreichen des höchsten Sonnenstandes im weiteren Tagesverlauf nach Westen gedreht werden. Nachmittags werden die Module über die Nachführung der Sonnenhöhe folgend bis auf 55° Neigung bei Westausrichtung gedreht. Zum Sonnenuntergang hin kann dann wieder ein Backtracking erfolgen.

Bei 55° Neigung liegen die Unterkanten der PV-Module mindestens 80 cm und die Oberkanten höchstens 4 m über der Geländeoberkante. Die Achse liegt auf einer Höhe von 2,4 m. Im Zuge von Wartungsarbeiten und bei Störungen der Anlage wird das Trackersystems in eine vorab definierte Parkposition gebracht. Diese ist zur Reduzierung der Windlast mit einer geringen Neigung von 5° bis 10° mit Ausrichtung nach Osten geplant. Abbildung 10 zeigt den Aufbau des Trackersystems.

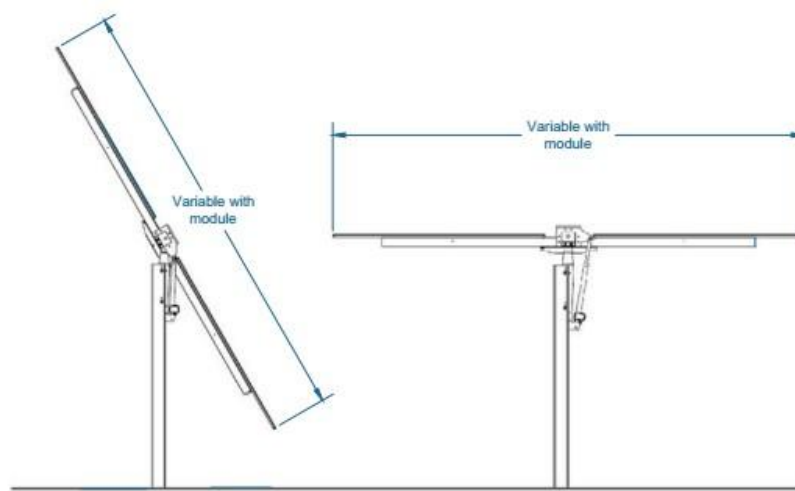


Abbildung 10: Aufbau des einachsigen Trackersystems zur Nachführung der PV-Module; Quelle: Kundenmaterial

Der Belegungsplan der PV-Anlage ist in einem UTM-Koordinatensystem erstellt, das eine Meridiankonvergenz von $-1,37^\circ$ zu geographisch Nord aufweist. Diese führt zu einer realen Azimutausrichtung der PV-Module von $88,6^\circ$ Ost und $268,6^\circ$ West. Die geringe Hangneigung des Baufelds kann durch das Befestigungssystem teilweise ausgeglichen werden und ist hinsichtlich der Blendrichtungen vernachlässigbar.

Tabelle 2 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage zusammen.

Tabelle 2: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Samtens II

PV-Anlage:	Freiflächen-Photovoltaikanlage Samtens II
Standort:	Gemarkung Plüggentin, Flur 4 (Breite.: $54,36^\circ$, Länge: $13,31^\circ$)
UTM-Meridiankonvergenz:	$-1,37^\circ$
Azimutausrichtungen:	$88,6^\circ$ Ost und $268,6^\circ$ West°
Höhe des Baugrunds:	8 m üNNH bis 11 m üNNH
Planneigung der Module:	Nachführungsbereich: 0° bis 60°
Querneigung der PV-Tische:	Zu vernachlässigen ($< 1^\circ$)
Höhe der Achse des Trackers:	2,4 m über GOK
Parkposition:	Ausrichtung: $88,6^\circ$ Neigung: 5° bis 10°



5.2 Potenzielle Immissionsorte

5.2.1 Vorbetrachtung

Auf Grund der Topografie der Umgebung liegen die potenziellen Immissionsorte im Süden und Osten nur geringfügig niedriger oder höher als die PV-Module. Im Westen und Norden liegen die B 96 und der Auf- und Abfahrtsbereich mit der L 296 um mehrere Meter höher als die PV-Module. In der östlichen Hemisphäre können nur Sonnenlichtreflexionen mit positiven Höhenwinkeln $< 8^\circ$ auf Verkehrsteilnehmer gerichtet sein, in der westlichen nur solche mit Höhenwinkeln zwischen -5° und 5° .

Die Anlage ist mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, das im astronomischen Nachführregime die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand nachführt und damit verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb können nur Betriebszustände außerhalb der astronomischen Nachführung zu potenziell blendenden Reflexionen führen. Diese Zustände umfassen die Parkposition des Trackersystems und die Backtrackingregelung zu Sonnenaufgang und -untergang. Es ist zu prüfen, ob bei geringen Neigungswinkeln der PV-Module vormittags potenziell blendwirksame Reflexionen in die östliche Hemisphäre und nachmittags potenziell blendwirksame Reflexionen in die westliche Hemisphäre gerichtet sein können. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob in der Parkposition zu einem beliebigen Zeitpunkt potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer gerichtet sein können.

Für landwirtschaftliche Arbeiten auf der Fläche unter den PV-Modulen ist es zur besseren Befahrbarkeit und Bestellung erforderlich, dass das Trackersystem auf die maximale Neigung von 55° bis 60° eingestellt werden. Es ist zu prüfen, zu welchen Zeitpunkten und bei welcher Ausrichtung eine solche Orientierung ohne das Risiko von blendenden Reflexionen realisiert werden kann.

5.2.2 Potenzielle Blendrichtungen bei Ausrichtung der Module nach Osten

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module mit einer Ausrichtung nach Osten bei 5° Neigung in Abbildung 11 (oberes Diagramm) zeigt für den Vormittag (rechte Hälfte des Reflexionsdiagramms), dass keine blendwirksamen Reflexionen mit Höhenwinkeln kleiner 8° auf die Verkehrswege in der westlichen Hemisphäre gerichtet sein können. Die in der linken Hälfte des Diagramms gezeigten Reflexionsrichtungen können hingegen nur außerhalb des Nachführungsregimes auftreten. Bei einer Nutzung einer ostausgerichteten Anlagenorientierung mit einer Modulneigung von 5° Neigung als Parkposition liegt der blendrelevante Azimutbereich zwischen 20° und 120° .

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module mit einer Ausrichtung nach Osten bei 10° Neigung in Abbildung 11 (unteres Diagramm) veranschaulicht, dass auch bei diesem Neigungswinkel keine Reflexionen mit Höhenwinkeln $< 8^\circ$ in die westliche Hemisphäre gerichtet sein können. Bei einer Nutzung einer ostausgerichteten Anlagenorientierung mit einer Modulneigung von 10° Neigung als Parkposition liegt der blendrelevante Azimutbereich zwischen 15° und 115° .

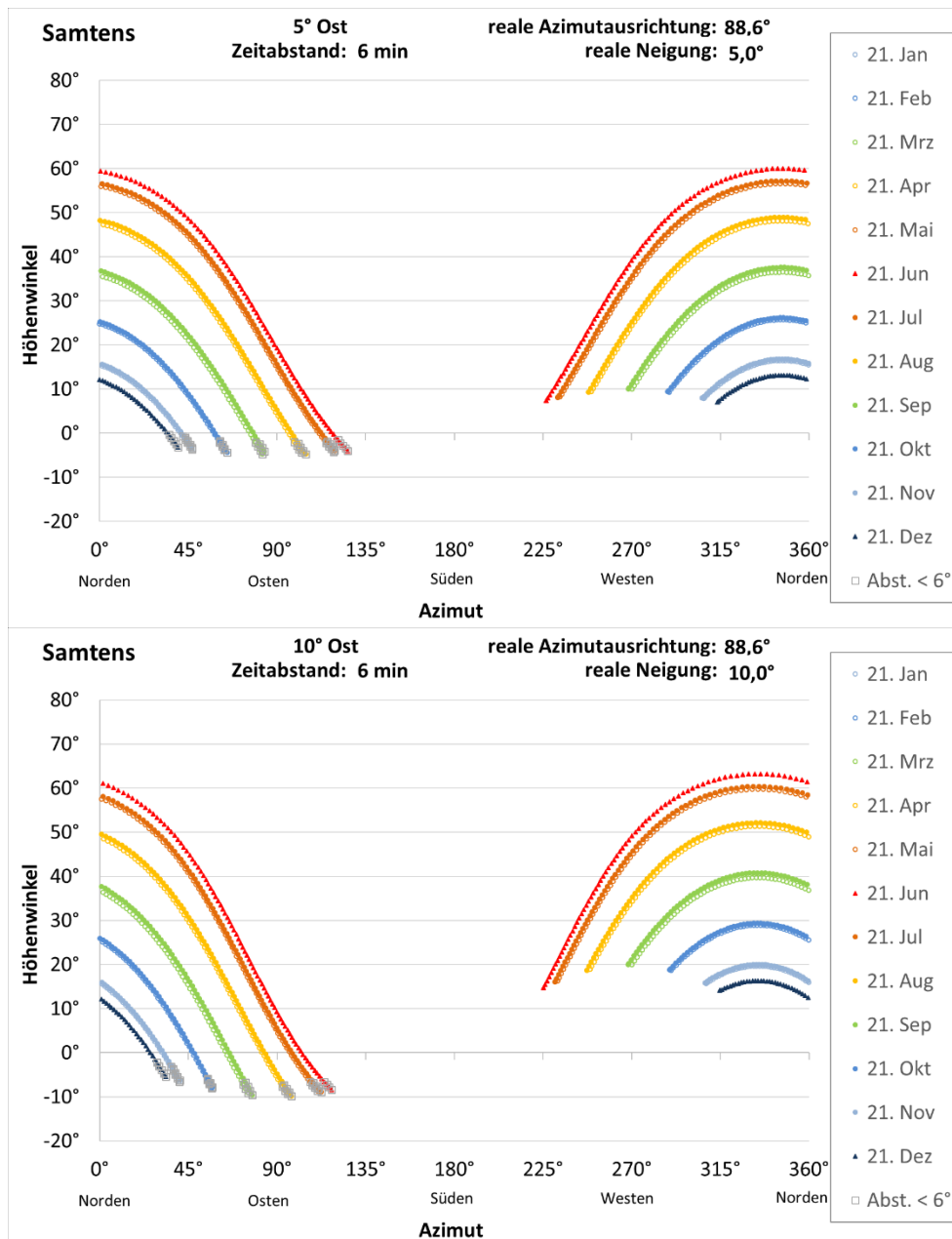


Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 10° Neigung (unten)

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit der maximalen Neigung von 60° in Abbildung 12 zeigt, dass bei dieser Anlagenorientierung potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen mit positiven Höhenwinkeln < 8° in einen nordöstlichen Azimutbereich von 12° bis 68° gerichtet sein können. Die Berechnungen ergeben, dass die blenderelevanten Reflexionen ganzjährig ausschließlich zwischen 10:25 und 11:40 auftreten können, wobei die täglichen kritischen Reflexionszeiträume maximal 40 Minuten umfassen.

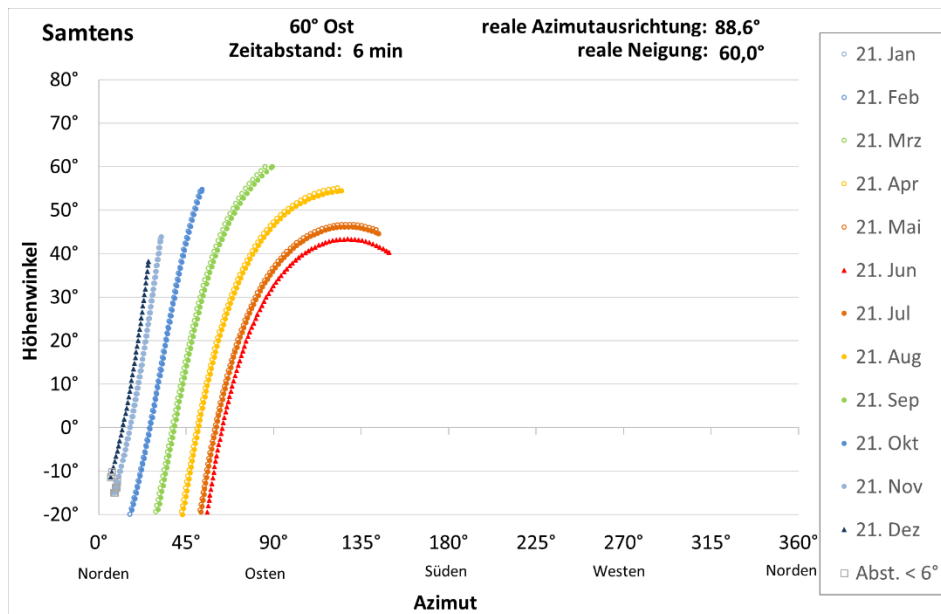


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 60° Neigung

5.2.3 Potenzielle Blendrichtungen bei Ausrichtung der Module nach Westen

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete Module mit der maximalen Neigung von 60° in Abbildung 13 zeigt, dass bei dieser Anlagenorientierung potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen mit Höhenwinkeln zwischen -5° und 5° in einen nordwestlichen Azimutbereich von 291° bis 347° gerichtet sein können. Die Berechnungen ergeben, dass die blendrelevanten Reflexionen ganzjährig ausschließlich zwischen 12:05 und 15:35 auftreten können, wobei die täglichen blendrelevanten Reflexionszeiträume maximal 45 Minuten umfassen.

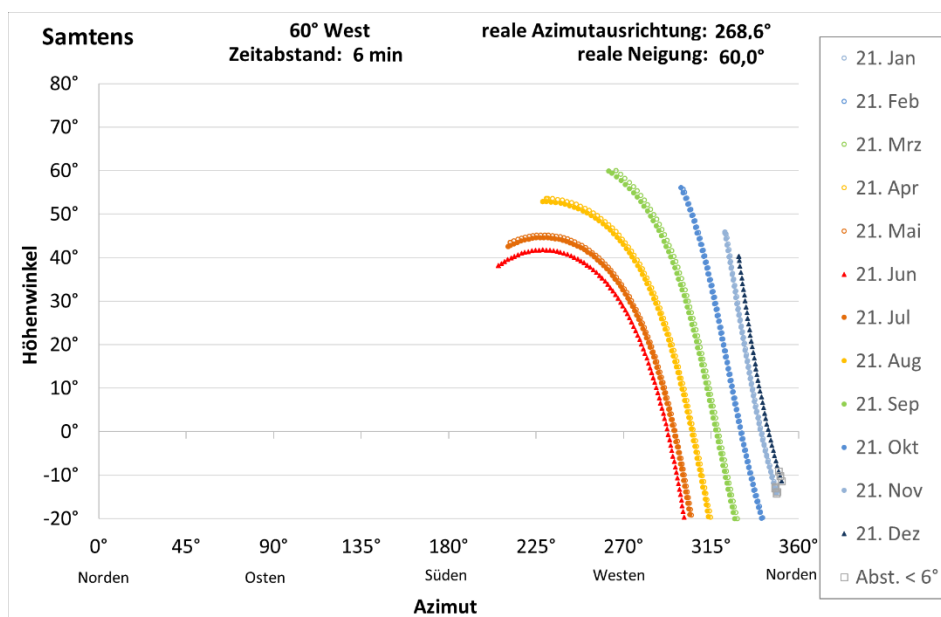


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 60° Neigung



Die Reflexionsdiagramme für PV-Tische mit einer Ausrichtung nach Westen und einer Neigung von 5° (oben) und 10° (unten) in Abbildung 14 zeigen für den Nachmittag (linke Hälfte des Reflexionsdiagramms), dass keine blendwirksamen Reflexionen mit Höhenwinkeln von weniger als 8° auf die Verkehrswege in der östlichen Hemisphäre gerichtet sein können. Die in der rechten Hälfte des Diagramms gezeigten Reflexionsrichtungen können nur außerhalb des Nachführungsregimes auftreten.

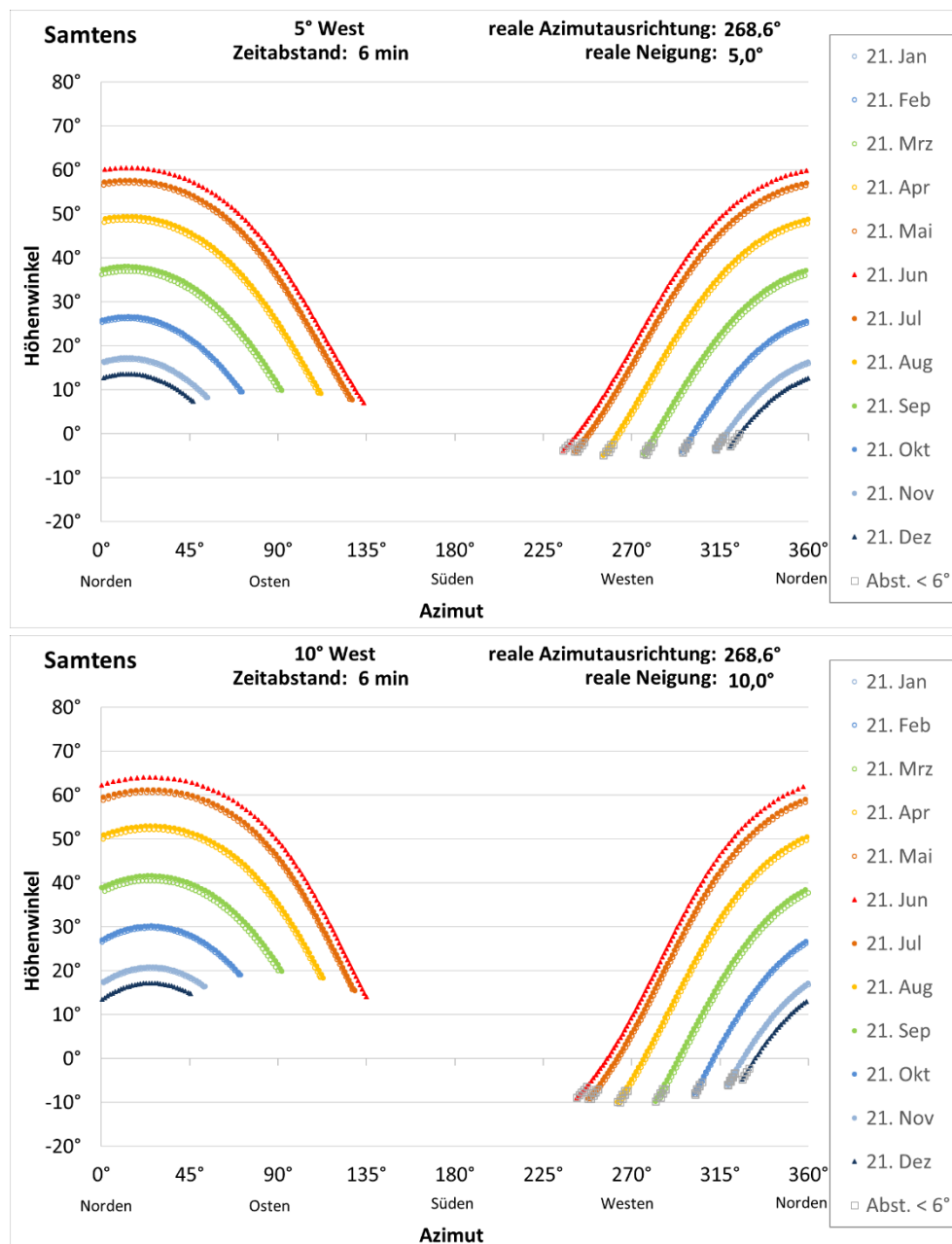


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 10° Neigung (unten)



5.2.4 Auswahl der zu prüfenden Blickpunkte

Im Regelbetrieb des Trackersystems der geplanten Anlage sind die PV-Module morgens nach Osten und abends nach Westen ausgerichtet, so dass keine potenziell blendenden Reflexionen auf Verkehrswege oder Anlieger gerichtet sein können. Blendende Reflexionen auf Anlieger und Verkehrswege können nur außerhalb des Nachführungsregimes, während der stationären Parkposition der Anlage, auftreten. Auf Grund der Topografie der Umgebung sollte diese in Richtung Osten ausgerichtet werden, da die Immissionsorte in der östlichen Hemisphäre nur von Reflexionen mit geringeren Höhenwinkeln erreicht werden können.

Abbildung 15 zeigt den blendrelevanten Azimutbereich der Reflexionen für eine ostausgerichtete Parkposition mit einem Neigungswinkel von 6° (zwischen den gelben Linien) und 9° (zwischen den magentafarbenen Linien) und die Lage der für die Blendanalyse ausgewählten Blickpunkte für den Verkehr aus Richtung Bergen. Zusätzlich wird noch der höchstgelegene westlicher Blickpunkt auf der Abfahrt von der B96 auf die L 296 untersucht.

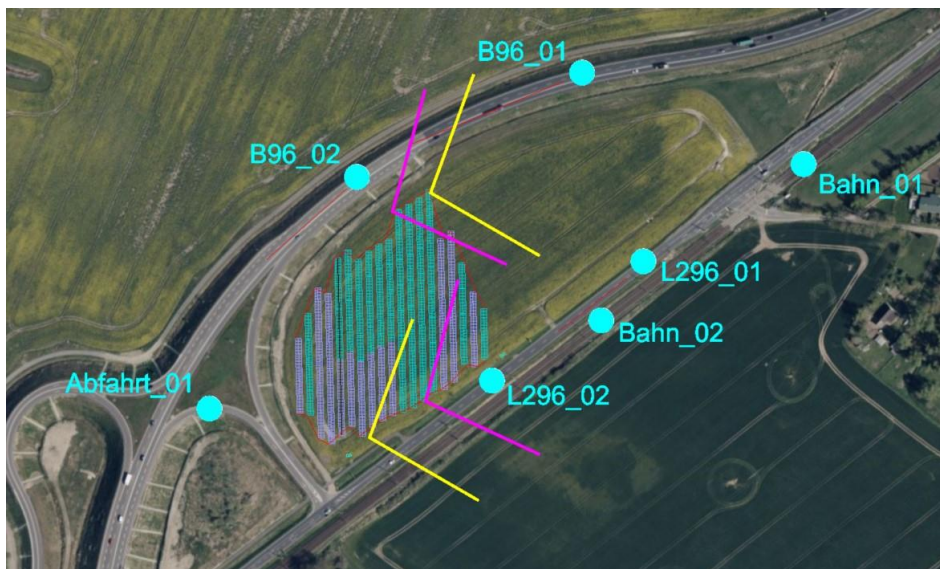


Abbildung 15: Blendrelevanter Azimutbereich für eine ostausgerichtete Parkposition mit 6° (gelbe Linien) und 9° (magentafarbene Linien), angetragen an ausgewählte Reflexionspunkte der PV-Anlage

Die B 96 verläuft aus Richtung Bergen auf die Anlage zu. Etwa 400 m vor deren nordöstlichen Rand beginnt eine leichte Rechtskurve, die ca. 300 vor der Anlage in eine langgezogene Linkskurve übergeht. Mit dem Durchfahren der Linkskurve steigt die Höhe der Fahrbahndecke von 12 m üNN auf 15 m üNN am nordöstlichen Rand der Anlage, um dann im weiteren Verlauf wieder zu sinken. Die Hauptblickrichtung der Fahrzeugführenden ändert sich im Kurvenverlauf von 248° am Blickpunkt B96_01 zu 228° am Blickpunkt B96_02. Abbildung 16 zeigt den Streckenverlauf.



Abbildung 16; Blick aus 2,9 m Höhe in Fahrtrichtung PV-Anlage auf der B 96 in 300 m (links) und 150 m (rechts) Entfernung zum Baufeld der PV-Anlage; Quelle: Google Street View

Die L 296 und die Bahnstrecke Sassnitz-Stralsund verlaufen aus Richtung Bergen mit einer Azimutrichtung von 232° auf das Baufeld der PV-Anlage zu und führen an dessen südlichen Rand entlang. Etwas mehr als 200 m vor dem südöstlichen Rand der geplanten PV-Anlage befindet sich ein Abzweig von der L 296 zu einem landwirtschaftlichen Betrieb, der über einen unbeschränkten Bahnübergang führt. Unmittelbar dahinter liegt ein Bahnhauptsignal. Die Höhe der Fahrbahndecke der L 296 steigt zwischen dem Abzweig und dem Baufeld der Anlage von 9,5 m üNNH auf 11 m üNNH. Der Bahndamm steigt im gleichen Streckenabschnitt von 9 m üNNH auf 10 m üNNH. Abbildung 17 zeigt die Position des Bahnsignals und den Blick von der L 296 kurz vor dem unbeschränkten Bahnübergang in Fahrtrichtung Samtens.

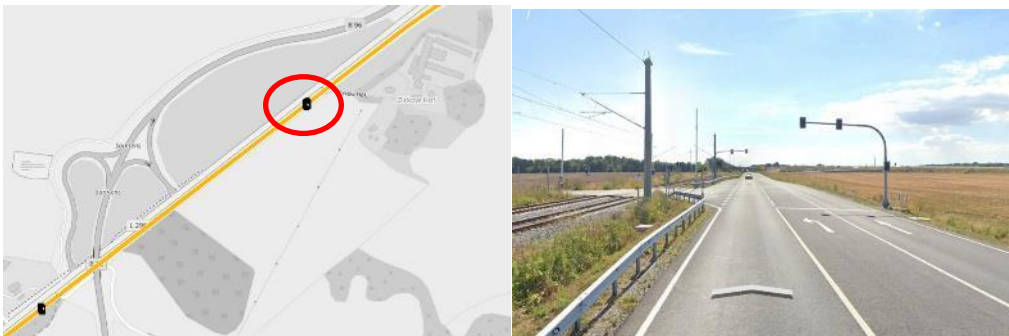


Abbildung 17: Lage von Bahnsignalen im Umfeld der geplanten PV-Anlage (links, kritische Signalanlage rot umkreist) und Blick in Fahrtrichtung Baufeld aus 2,9 m Höhe kurz vor dem unbeschränkten Bahnübergang (rechts); Quellen: openrailwaymap.org (links) und Google Street View (rechts)

Abbildung 18 zeigt die zur Prüfung der Blendwirkung modellierten Reflexions- und Blickpunkte mit Angabe der Höhen am Blickpunkt und der Hauptblickrichtung (Blickachse) in der x-y-Ebene.

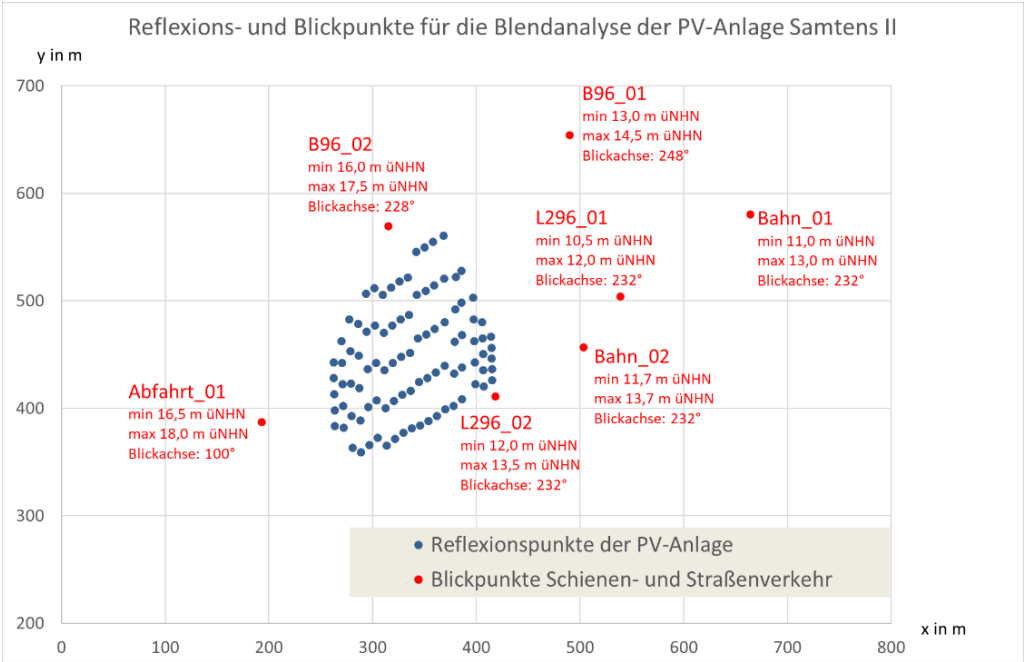


Abbildung 18: Modellerte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene

6 Berechnungsergebnisse



6.1 Bahnstrecke Stralsund-Sassnitz in Richtung Stralsund

6.1.1 Blickpunkt Bahn_01

Der Blickpunkt Bahn_01 liegt in 275 m Entfernung zur PV-Anlage. Für die Zugführenden muss der unbeschränkte Bahnübergang und das dahinter befindliche Hauptsignal klar einsehbar bleiben. Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 19 veranschaulicht, dass Ende Februar und Mitte Oktober abends, kurz vor Sonnenuntergang, für ca. 3 Minuten Reflexionen der geplanten PV-Anlage in das zentrale Blickfeld der Zugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Zugführenden beträgt 6° bei einer Beleuchtungsstärke der Reflexionen von 500 lx. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer Höhe von $< 8,7^\circ$ um $0,4^\circ$ näher an der Blickachse der Zugführenden und bewirkt eine Beleuchtungsstärke von 16.000 lx für senkrecht angestrahlt Flächen.

Im März und von Mitte September bis Mitte Oktober können Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das maximale Gebrauchsblickfeld gerichtet sein und dort eine maximale Beleuchtungsstärke von 700 lx bei einer Sonnenhöhe von bis zu 10° bewirken.

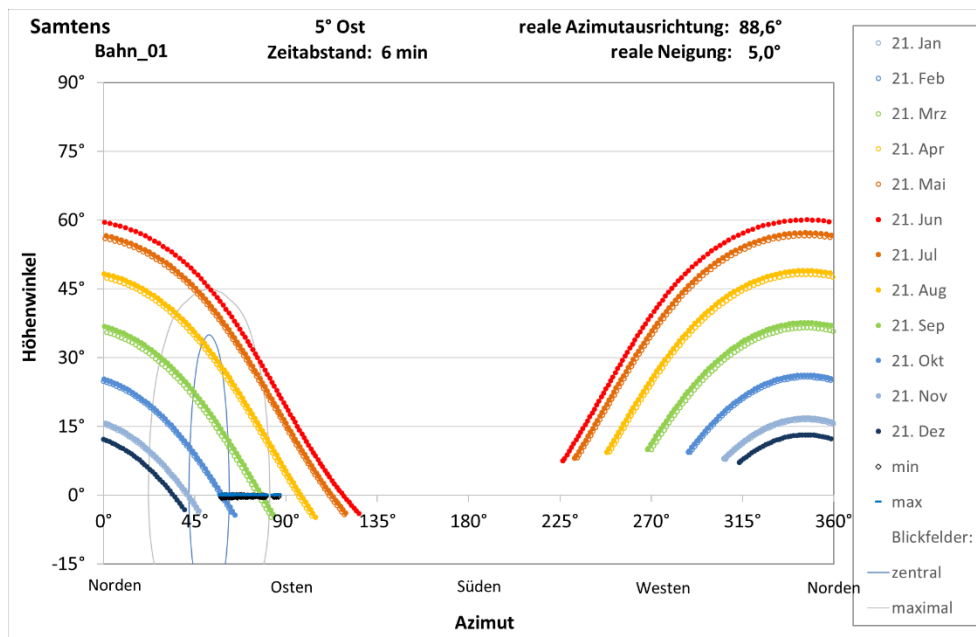


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt Bahn_01

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition mit 10° Neigung in Abbildung 20 zeigt, dass bei dieser Orientierung Ende März und Mitte September abends für ca. 3 min Sonnenlichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt 6°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 1.700 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 18,9^\circ$.

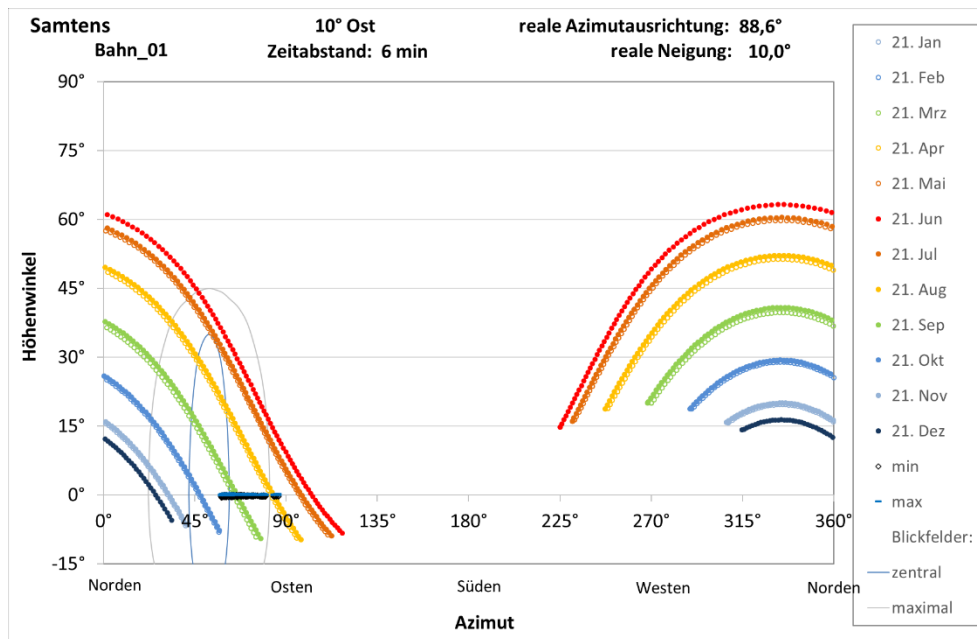


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt Bahn_01

6.1.2 Blickpunkt Bahn_02

Der Blickpunkt Bahn_02 liegt in 90 m Entfernung zur PV-Anlage. In Fahrtrichtung Samtens befinden sich keine Bahnübergänge oder Signaleinrichtungen.

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 21 (oben) veranschaulicht, dass das zentrale Blickfeld der Zugführenden jederzeit frei von Reflexionen der PV-Anlage bleibt. Im März und von Mitte September bis Mitte Oktober können Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das maximale Gebrauchsblickfeld gerichtet sein. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Zugführenden beträgt 12,3° bei einer Beleuchtungsstärke der Reflexionen von 680 lx. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer Höhe von 9,7° um 0,4° näher an der Blickachse der Zugführenden und bewirkt eine Beleuchtungsstärke von 18.000 lx für senkrecht angestrahlt Flächen.

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 10° Neigung in Abbildung 21 (unten) veranschaulicht, dass sich mit zunehmender Neigung der PV-Module der Zeitraum, in dem Reflexionen in das Blickfeld gerichtet sein können, zum Sommer hin verschiebt. Damit einher gehen ein höherer Sonnenstand und eine größere Beleuchtungsstärke.

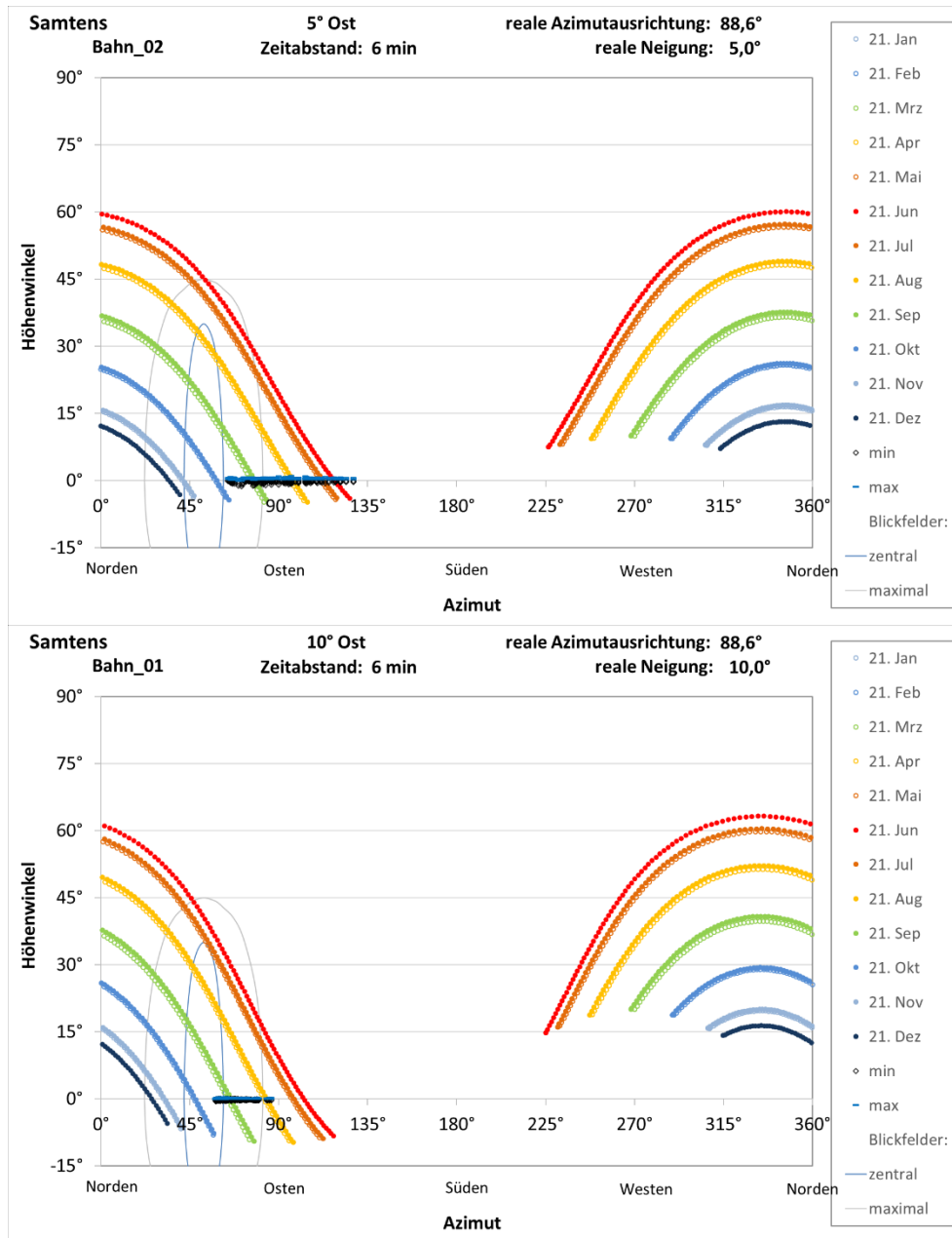


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 5° (oben) und 10° (unten) Neigung am Blickpunkt Bahn_02



6.2 L 296 in Richtung Samtens

6.2.1 Blickpunkt L296_01

Der Blickpunkt L296_01 liegt in 275 m Entfernung zur PV-Anlage. Der Streckenverlauf ist gradlinig. Die PV-Module sind rechts der Straße sichtbar.

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 22 veranschaulicht, dass Ende Februar und Mitte Oktober abends, kurz vor Sonnenuntergang, für ca. 2 Minuten Reflexionen der geplanten PV-Anlage in das zentrale Blickfeld der Zugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden beträgt 5,6° bei einer Beleuchtungsstärke der Reflexionen von 500 lx. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer Höhe von < 8,5° um 0,3° näher an der Blickachse und bewirkt eine Beleuchtungsstärke von 16.000 lx für senkrecht angestrahlt Flächen.

Im März und von Mitte September bis Mitte Oktober können Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das maximale Gebrauchsblickfeld gerichtet sein und dort eine maximale Beleuchtungsstärke von 700 lx bei einer Sonnenhöhe von bis zu 10° bewirken.

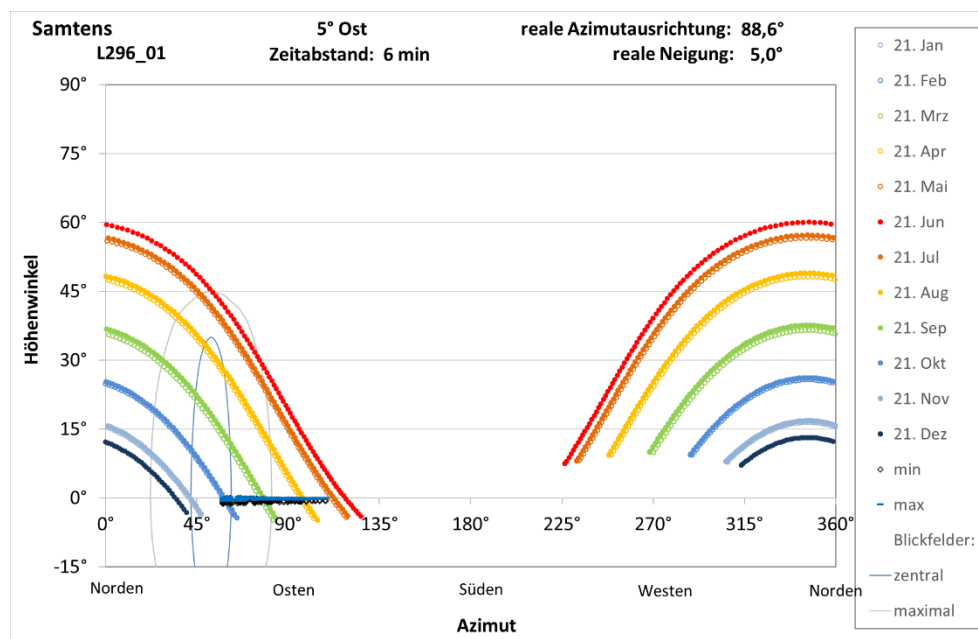


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt L296_01

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition mit 10° Neigung in Abbildung 23 zeigt, dass bei dieser Orientierung Ende März und Mitte September abends für ca. 3 min Sonnenlichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt 6°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht dabei 1.700 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 18,6^\circ$.

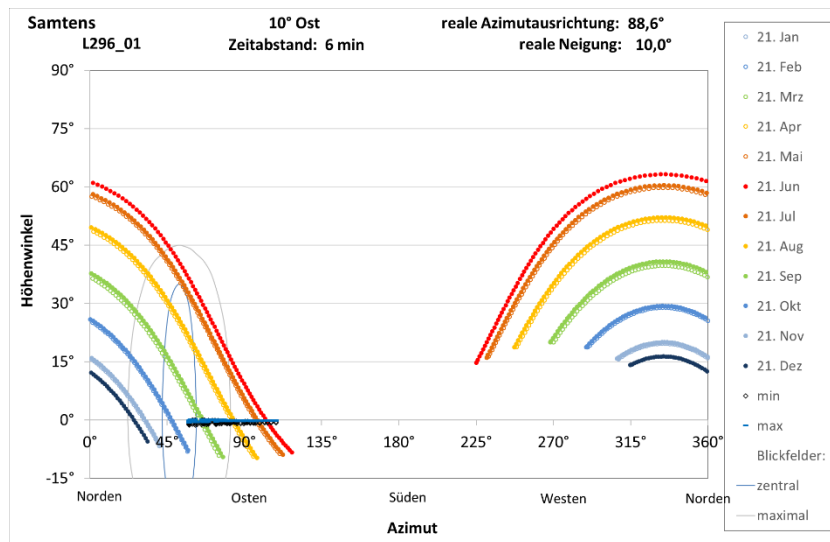


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt L296_01

6.2.2 Blickpunkt L296_02

Der Blickpunkt L296_02 liegt in 15 m Entfernung zur PV-Anlage. Das Reflexionsdiagramm für eine ostausgerichtet Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 24 zeigt, dass das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Reflexionen bleibt. Im März und von Mitte September bis Mitte Oktober können Reflexionen der PV-Anlage in das maximale Gebrauchsblickfeld gerichtet sein. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden beträgt 14,5° bei einer Beleuchtungsstärke von 760 lx. Die Sonne steht dabei auf einer Höhe von 10,3° um 0,3° näher an der Blickachse und bewirkt eine Beleuchtungsstärke von 18.000 lx für senkrecht angestrahlt Flächen. Mit zunehmender Neigung der PV-Module verschiebt sich der Zeitraum, in dem Reflexionen in das Blickfeld gerichtet sein können, zum Sommer hin. Damit einher gehen ein höherer Sonnenstand und eine größere Beleuchtungsstärke.

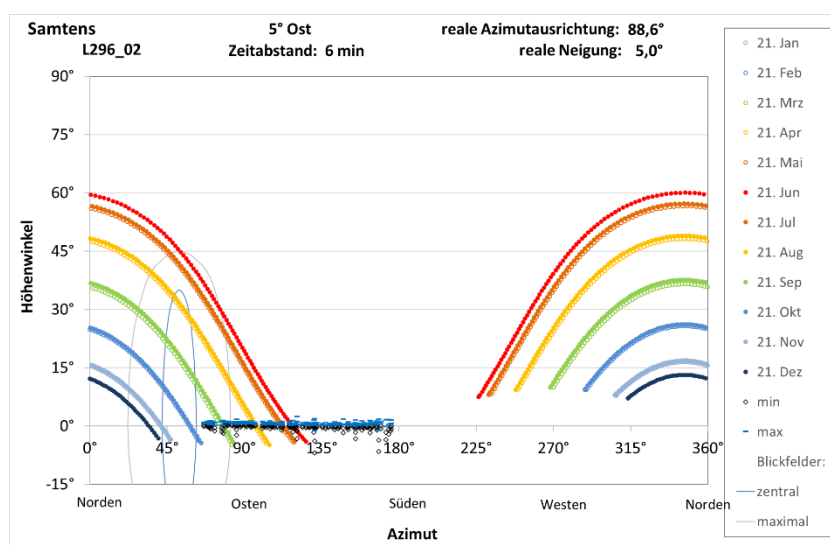


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt L296_02



6.3 B 96 in Richtung Samtens

6.3.1 Blickpunkt B96_01

Der Blickpunkt B96_01 liegt in 150 m Entfernung zur PV-Anlage. Die PV-Module sind links der Straße sichtbar.

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 25 zeigt, dass das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Reflexionen bleibt. Von Ende Oktober bis Mitte Februar können abends, kurz vor Sonnenuntergang, für weniger als 5 Minuten Reflexionen der geplanten PV-Anlage in das maximale Gebrauchsblickfeld gerichtet sein. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden beträgt 14,1° bei einer Beleuchtungsstärke von 620 lx. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer Höhe von < 9° um 0,4° weiter von der Blickachse der Fahrzeugführenden entfernt und bewirkt eine Beleuchtungsstärke von 17.000 lx für senkrecht angestrahlt Flächen.

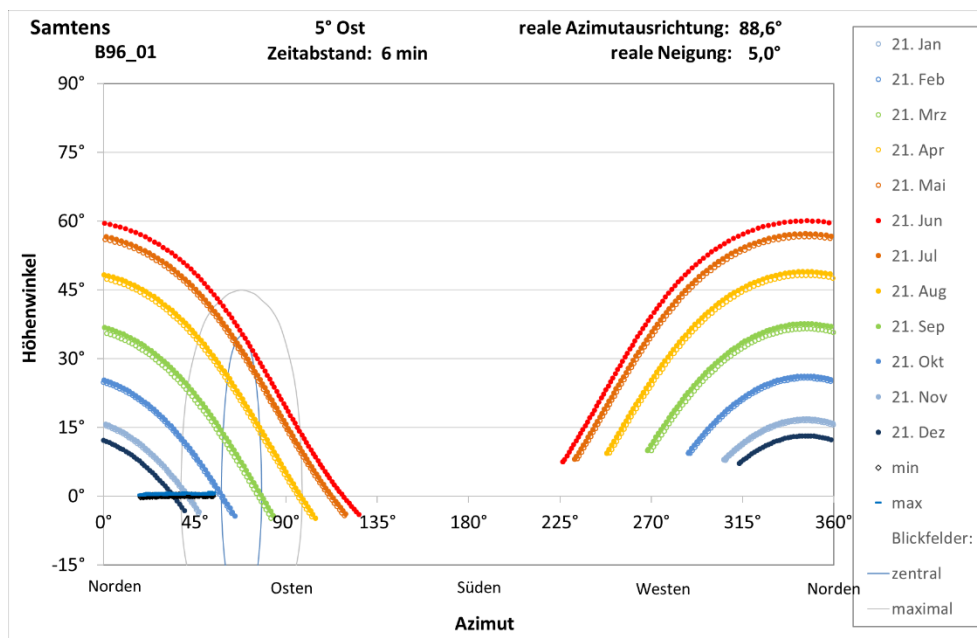


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B96_01

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition mit 10° Neigung in Abbildung 26 zeigt, dass auch bei dieser Orientierung von Anfang Oktober bis Mitte März abends für maximal 5 min Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt 14,1°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht dabei 1.700 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 18,3^\circ$.

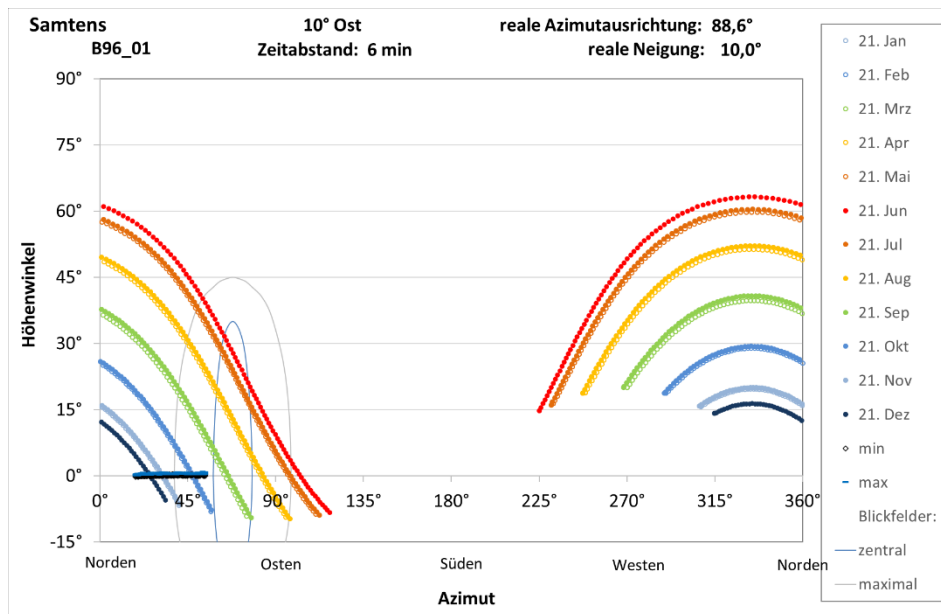


Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt B96_01

6.3.2 Blickpunkt B96_02

Der Blickpunkt B96_02 liegt in 15 m Entfernung zur PV-Anlage. Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 5° Neigung in Abbildung 27 oben zeigt, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Reflexionen der PV-Anlage bleibt.

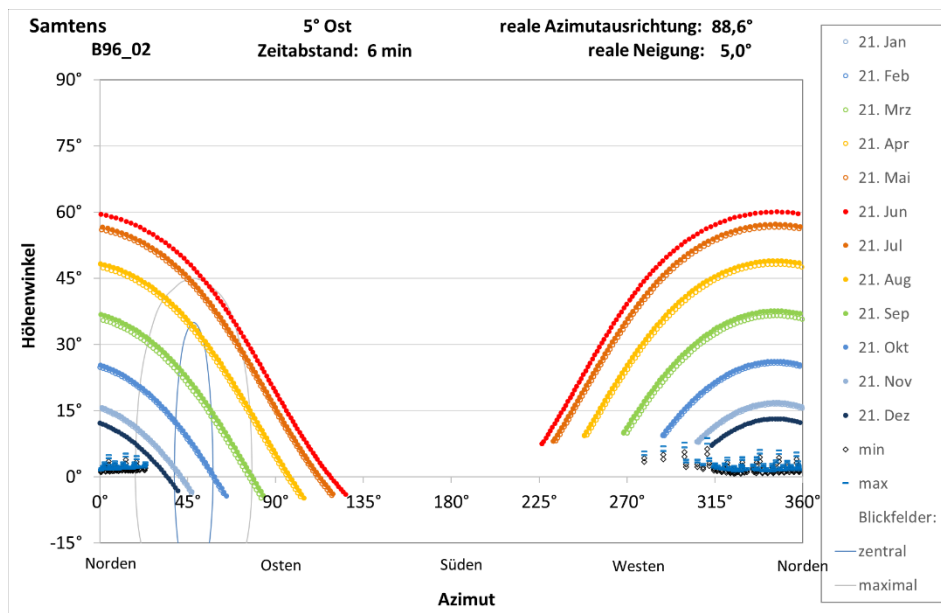


Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B96_02

Bei einem Neigungswinkel von 10° (Abbildung 28) können von Ende November bis Mitte Januar Sonnenlichtreflexionen in den Randbereich des Blickfelds der Fahrzeugführenden gerichtet sein. Der

geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse beträgt 24,6°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht dabei 1.000 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 12,2^\circ$.

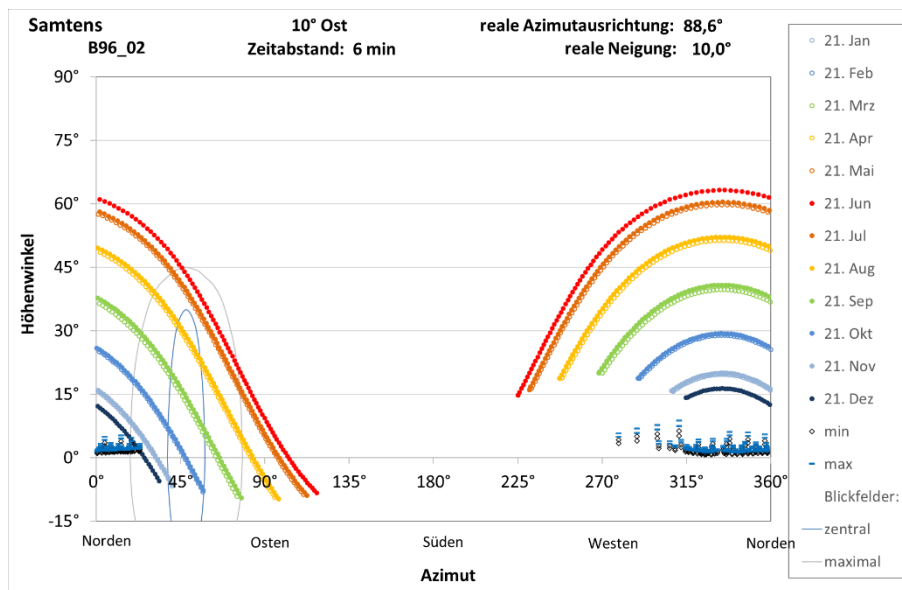


Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt B96_02

6.4 Abfahrt von der B 96 zur L 296 Richtung Samtens

6.4.1 Blickpunkt Abfahrt_01

Der Blickpunkt Abfahrt_01 liegt in 70 m Entfernung etwa 10 m oberhalb des Baufelds im Westen der PV-Anlage. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 29 bestätigt, dass auch bei der geringen Modulneigung von 5° keine Reflexionen auf den Blickpunkt gerichtet sein können.

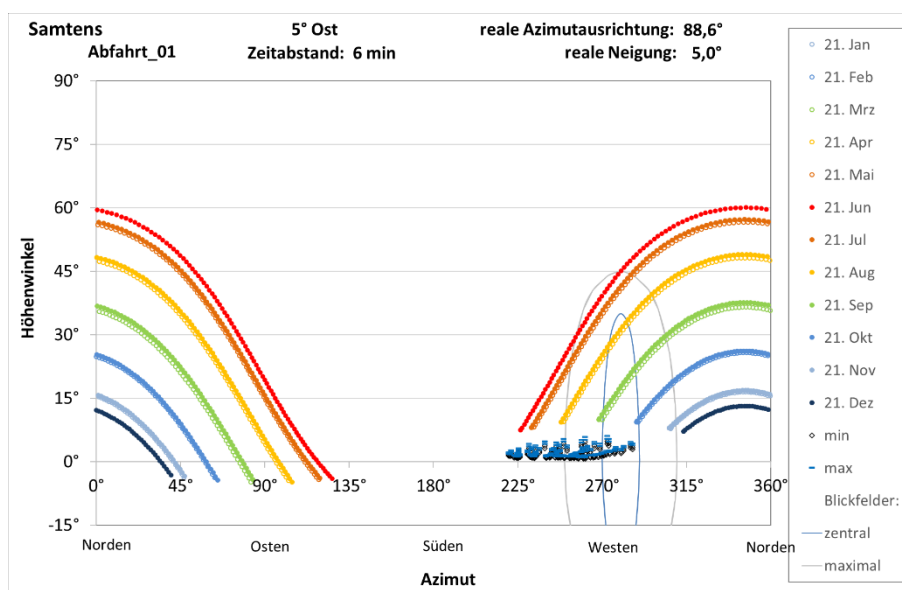


Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt Abfahrt_01



7 Bewertung der Blendrisiken

7.1 Astronomischer Nachführbetrieb der PV-Anlage

Die Anlage ist mit einem einachsigen horizontalen Trackersystem ausgestattet, dass die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand nachführt. Die Nachführung verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb können nur Betriebszustände außerhalb des astronomischen Nachführungsregimes zu potenziell blendenden Reflexionen führen.

7.2 Backtrackingbetrieb der PV-Anlage

In den Phasen des Backtrackings nach Sonnenaufgang und vor Sonnenuntergang werden die PV-Module mit einem gegenüber einer astronomische Nachführung geringerem Neigungswinkel ausgerichtet. Die Berechnungen zeigen, dass ab einem Neigungswinkel von 5° keine potenziell blendenden Reflexionen auf die Teilnehmer des Straßen- und Schienenverkehrs gerichtet sein können. Es wird empfohlen, den Regelbereich des Backtrackings auf minimal 5° Neigung zu begrenzen.

7.3 Parkposition des Trackersystems

7.3.1 Mehrtägige und ungeplante Anlagenstillstände

Auf Grund der Topografie des umliegenden Geländes und der umliegenden Verkehrswege sollt die Parkposition bei einem ganztägigen Anlagenstillstand mit einer geringen Neigung nach Osten ausgerichtet sein.

Bei einem Neigungswinkel der ostausgerichteten PV-Module von 5° können der Straßenverkehr auf der B96, der L 296 und der Schienenverkehr bei der Annäherung an die PV-Anlage im Spätherbst und Winter über einen Zeitraum von weniger als 5 Minuten kurz vor Sonnenuntergang von Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld, teilweise auch in das zentrale Blickfeld, betroffen sein. Am kritischen Blickpunkt Bahn_01, an dem sowohl eine Signaleinrichtung als auch die Verkehrssituation an einem unbeschränkten Bahnübergang erkannt werden muss, beträgt der Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Zugführenden nur 6°. Gleichzeitig steht die Sonne auf einer Höhe von 8,7° noch etwas näher an der Blickachse. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen liegt bei moderaten 500 lx. Eine physiologische Blendung der Zugführenden durch die Fixation der Blendquelle im Bereich des zentralen Sehens kann ausgeschlossen werden. Außerhalb der Fixationspunkte des Sehens dominiert die Blendung durch die Sonne, die zu einer Kontrastminderung für Objekte rechts des Bahndamms führen kann. Die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage bedingen keine zusätzliche Blendwirkung an den vollständig tageslichtadaptierten Augen der Zugführenden. Im weiteren Streckenverlauf entfernen sich die Sonnenlichtreflexionen von der Blickachse. Die Sicherheit des Schienenverkehrs bleibt jederzeit gewahrt.

Bei einem Neigungswinkel von 10° der ostausgerichteten PV-Module erreichen die potenziellen Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage eine deutlich höhere Beleuchtungsstärke von mehr als 1.000 lx. Ursächlich dafür ist der zu den Reflexionszeiten höhere Sonnenstand von mehr als 15°. Damit wächst

auch der Abstandswinkel zwischen den Reflexions- und Sonnenstrahlen, so dass eine zusätzliche Blendwirkung durch die Reflexionen bewirkt werden kann, die zu einer stärkeren Kontrastminderung im Sehvermögen der Zugführenden führt.



Die für den Schienenverkehr beschriebenen Verhältnisse und Blendwirkungen lassen sich auf den Straßenverkehr auf der B 96 und L 296 übertragen. Bei einer Neigung von 5° können die ostausgerichteten PV-Module auf Grund der Nähe der Reflexionspunkte zur vielfach leuchtstärkeren Sonne keine zusätzliche Blendwirkung an den Augen der Fahrzeugführenden hervorrufen. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bleiben jederzeit gewahrt.

7.3.2 Geplante Anlagenstillstände für landwirtschaftliche Arbeiten

Für geplante Arbeiten, die eine gute Befahrbarkeit und Zugänglichkeit erfordern, ist eine zeitweise Aussetzung des Nachföhrbetriebs und Einstellung des maximalen Neigungswinkels von 55° bis 60° notwendig. Um jegliches Blendrisiko für Verkehrsteilnehmer auszuschließen, sollte die Ausrichtung der PV-Module der Tageszeit angepasst werden. Für den Vormittag bis 12:00 ist eine Ausrichtung nach Westen einzustellen, danach sollten die PV-Module nach Osten ausgerichtet werden.

8 *Verwendete Materialien*



8.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „26102023_Samtens2 EW Draft.dwg“
- ▶ Datei „Layout Tracker OW_Samtens2 EW Draft.pdf“
- ▶ Datei „Valmont Tracker convert_2p_datasheet_040422_r4.pdf“

8.2 *Literatur*

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Gesetz vom 20.07.2022 (BGBl. I S. 1353)
- ▶ Baugesetzbuch In der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004 (BGBl. I S. 2414), zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 28.7.2023 I Nr. 221
- ▶ BMWK: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Bearbeitungsstand 4.3.2022
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 26. Juli 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 202) geändert worden ist
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458) geändert worden ist
- ▶ Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 2. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 56) geändert worden ist
- ▶ Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. Juni 2007 (BGBl. I S. 1206), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 22. März 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 88) geändert worden ist
- ▶ RAL R1 – Richtlinie für die Anlage von Landstraßen, FGSV 2012
- ▶ RAL R1 – Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen RAS 06, FGSV 2006
- ▶ Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2018, Ausgabe 2018-08
- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ Licht-Richtlinie der LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen; Stand 3.11.2015
- ▶ Leitlinie des Brandenburger Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hrsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185

- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren, Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen





9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Freiflächen-Photovoltaikanlage „Samtens II“ (PV-Modulreihen in blau und grün eingezeichnet)	4
Abbildung 2: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	8
Abbildung 3: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar	9
Abbildung 4: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont	10
Abbildung 5: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt	12
Abbildung 6: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes für PV-Module mit einer Azimutausrichtung von 180° (Süd) und einer Neigung von 18° auf ebenem Gelände an einem gegebenen Standort mit Umrandung der Reflexionszeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel zur Sonne kleiner als 10° ist	13
Abbildung 7: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für nach 179,6° Süd ausgerichtete PV-Module auf ebenem Gelände für einen Blickpunkt im Straßenverkehr	15
Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Räume (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und Eingrenzung des maximalen Immissionszeitraums durch eine rote Linie (unten)	16
Abbildung 9: Belegungsplan der geplanten PV-Anlage Samtens II (Modultischreihen in grün und blau) vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps ..	17
Abbildung 10: Aufbau des einachsigen Trackersystems zur Nachführung der PV-Module; Quelle: Kundenmaterial	18
Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 10° Neigung (unten)	20
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 60° Neigung	21
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 60° Neigung	21
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben) und 10° Neigung (unten)	22
Abbildung 15: Blendrelevanter Azimutbereich für eine ostausgerichtete Parkposition mit 6° (gelbe Linien) und 9° (magentafarbene Linien), angetragen an ausgewählte Reflexionspunkte der PV-Anlage	23



Abbildung 16: Blick aus 2,9 m Höhe in Fahrtrichtung PV-Anlage auf der B 96 in 300 m (links) und 150 m (rechts) Entfernung zum Baufeld der PV-Anlage; Quelle: Google Street View	24
Abbildung 17: Lage von Bahnsignalen im Umfeld der geplanten PV-Anlage (links, kritische Signalanlage rot umkreist) und Blick in Fahrtrichtung Baufeld aus 2,9 m Höhe kurz vor dem unbeschränkten Bahnübergang (rechts); Quellen: openrailwaymap.org (links) und Google Street View (rechts)	24
Abbildung 18: Modellierter Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene	25
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt Bahn_01	26
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt Bahn_01	27
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 5° (oben) und 10° (unten) Neigung am Blickpunkt Bahn_02	28
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt L296_01	29
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt L296_01	30
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt L296_02	30
Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B96_01	31
Abbildung 26: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt B96_01	32
Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B96_02	32
Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 10° Neigung am Blickpunkt B96_02	33
Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete Module mit 5° Neigung am Blickpunkt Abfahrt_01	33

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)	10
Tabelle 2: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Samtens II	18

