

Blendgutachten „Freiflächen- Photovoltaikanlage Göhren“

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

EE Malk Göhren ApS & Co. KG
Bahnhofstr. 8
19294 Malk Göhren

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-399
E-Mail: ralfschmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 21.12.2023

Berichtsnummer: P230169-02



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 Reflexionsdiagramme 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	Blendrelevanter Azimutbereich bei Ausrichtung nach Osten	19
5.2.3	Blendrelevanter Azimutbereich bei Ausrichtung nach Westen	21
5.2.4	Auswahl der zu prüfenden Blickpunkte	22



6	Berechnungsergebnisse.....	24
6.1	Östlicher Azimutbereich.....	24
6.1.1	Verkehr auf Neue Straße (K 45).....	24
6.2	Westlicher Azimutbereich.....	25
6.2.1	Verkehr auf Am Kanal	25
6.2.2	Splittersiedlung Kamerun.....	27
6.2.3	Verkehr auf Neue Straße (K 45).....	28
6.2.4	Splittersiedlung an Neue Straße (K 45).....	29
6.2.5	Landwirtschaftlicher Betrieb an der Bahnhofstraße	30
7	Bewertung der Blendrisiken.....	31
7.1	Nachführungsbetrieb der PV-Anlage	31
7.2	Parkposition mit Ausrichtung der PV-Module nach Osten.....	31
7.3	Parkposition mit Ausrichtung der PV-Module nach Westen	31
8	Verwendete Materialien.....	32
8.1	Dokumente vom Auftraggeber	32
8.2	Literatur.....	32
9	Abbildungsverzeichnis.....	34
10	Tabellenverzeichnis	36

1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens



Es ist zu prüfen, ob von den PV-Modulen der in 19294 Malk Göhren geplanten Freiflächen-Photovoltaikanlage „Göhren“ Sonnenlicht auf Verkehrsteilnehmer oder auf schutzwürdige Nutzungen reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls unzumutbare oder 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 und Fotos.



Abbildung 1: Lage der geplanten Freiflächen-Photovoltaikanlage „Göhren“ (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet); Quelle: Bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps

2 Zusammenfassung der Ergebnisse



Es wird festgestellt, dass die Nachführung der PV-Module durch das geregelte Trackersystem verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Deshalb kann es im Nachführungsbetrieb zu keinen potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer und schützenswerte Nutzungen im Umfeld der geplanten PV-Anlage Göhren kommen.

Es wird festgestellt, dass bei einer Parkposition des Trackersystems mit Ausrichtung nach Osten innerhalb eines Modulneigungsbereichs von 6° bis 9° keine potenziell blendenden oder unzumutbaren Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer oder schützenswerte Nutzungen im Umfeld der geplanten PV-Anlage Göhren gerichtet sein können.

Es wird festgestellt, dass bei einer Parkposition des Trackersystems mit Ausrichtung nach Westen innerhalb eines Modulneigungsbereichs von 6° bis 9° potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer und schützenswerte Nutzungen im Umfeld der geplanten PV-Anlage Göhren gerichtet sein können, die von ihrer Beschaffenheit her keine unzumutbaren Lichtimmissionen im Sinne der Lichttrichtlinie und keine Gefährdung des Straßenverkehrs bewirken.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Freiflächen-Photovoltaikanlage „Göhren“ als genehmigungsfähig einzustufen.

Die Parkposition des Trackersystems sollte zur Minimierung von Blendwirkungen mit einer Neigung zwischen 6° und 9° nach Osten ausgerichtet sein.



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 eingestrahnten 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.

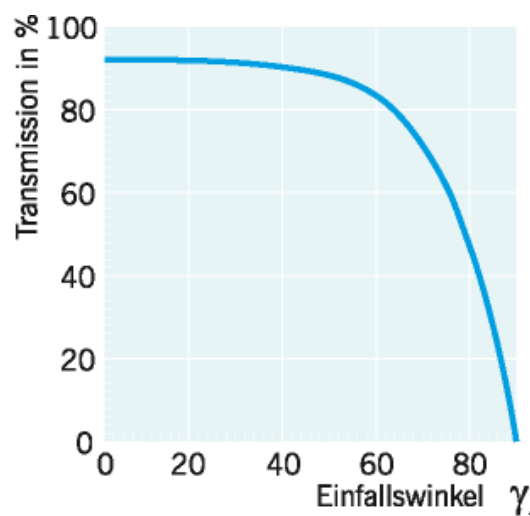


Abbildung 2: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

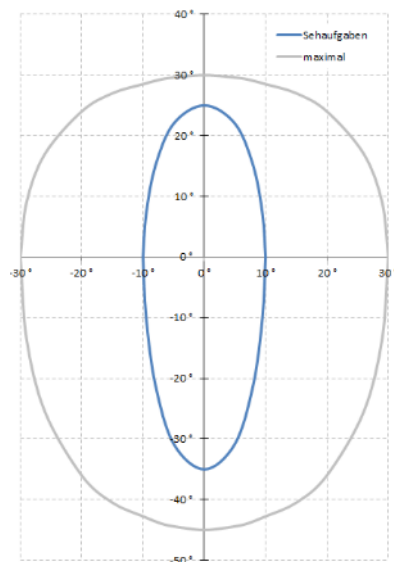


Abbildung 4: Blickfelder aus Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

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 farbpfeindlichen 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 diffussem 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.

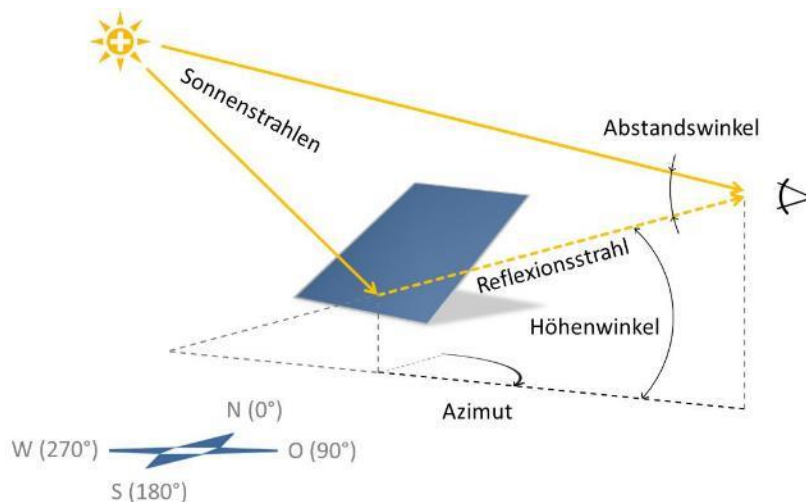


Abbildung 5: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

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.

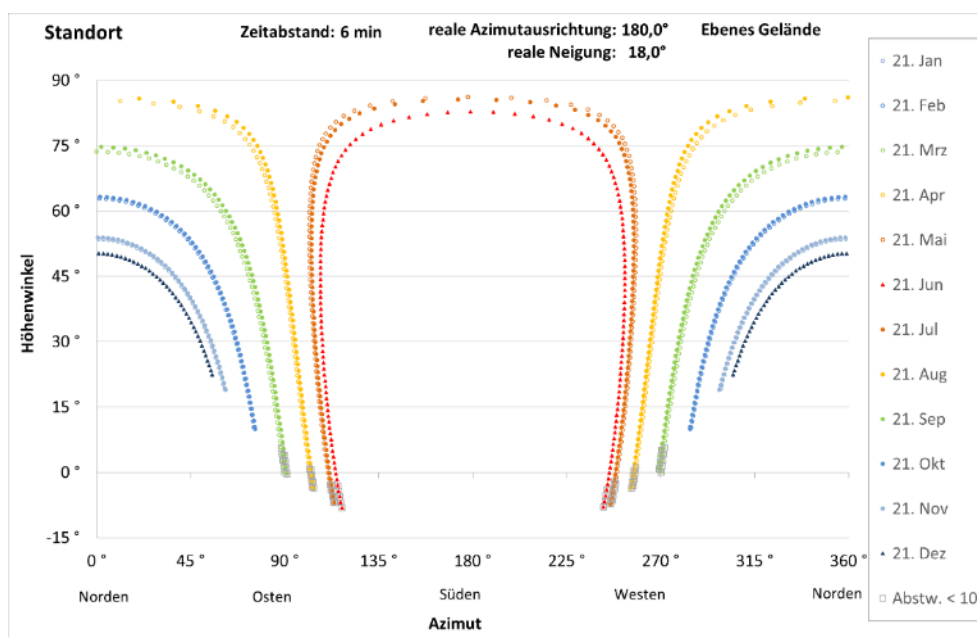


Abbildung 6: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes für PV-Module mit einer Azimutausrichtung von 180° (Süd) und einer Neigung von 18° auf ebenem Gelände an einem gegebenen Standort mit Umrandung der Reflexionszeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel zur Sonne kleiner als 10°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

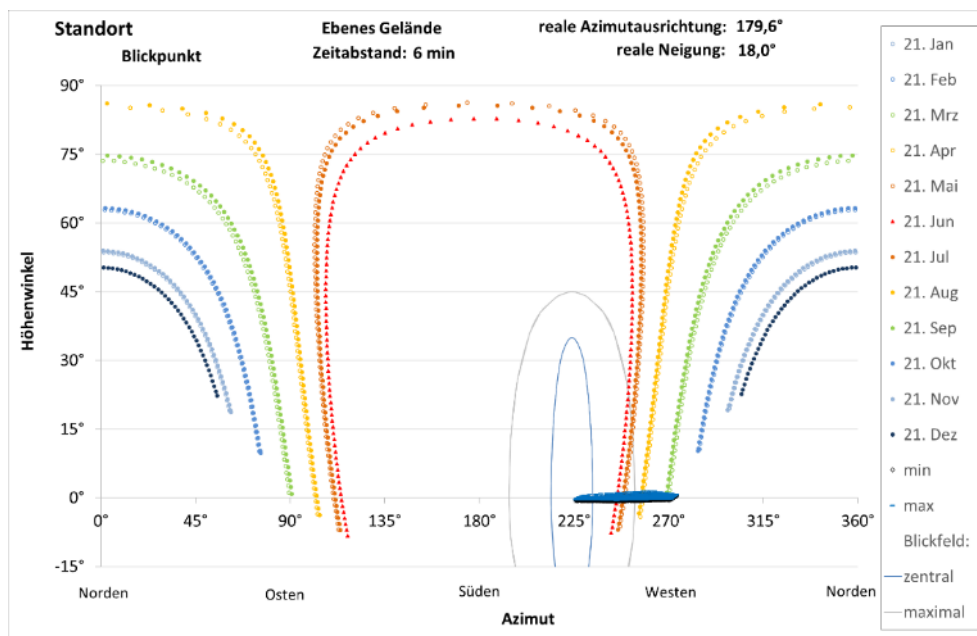


Abbildung 7: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm für nach 179,6° Süd ausgerichtete PV-Module auf ebenem Gelände für einen Blickpunkt im Straßenverkehr

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.

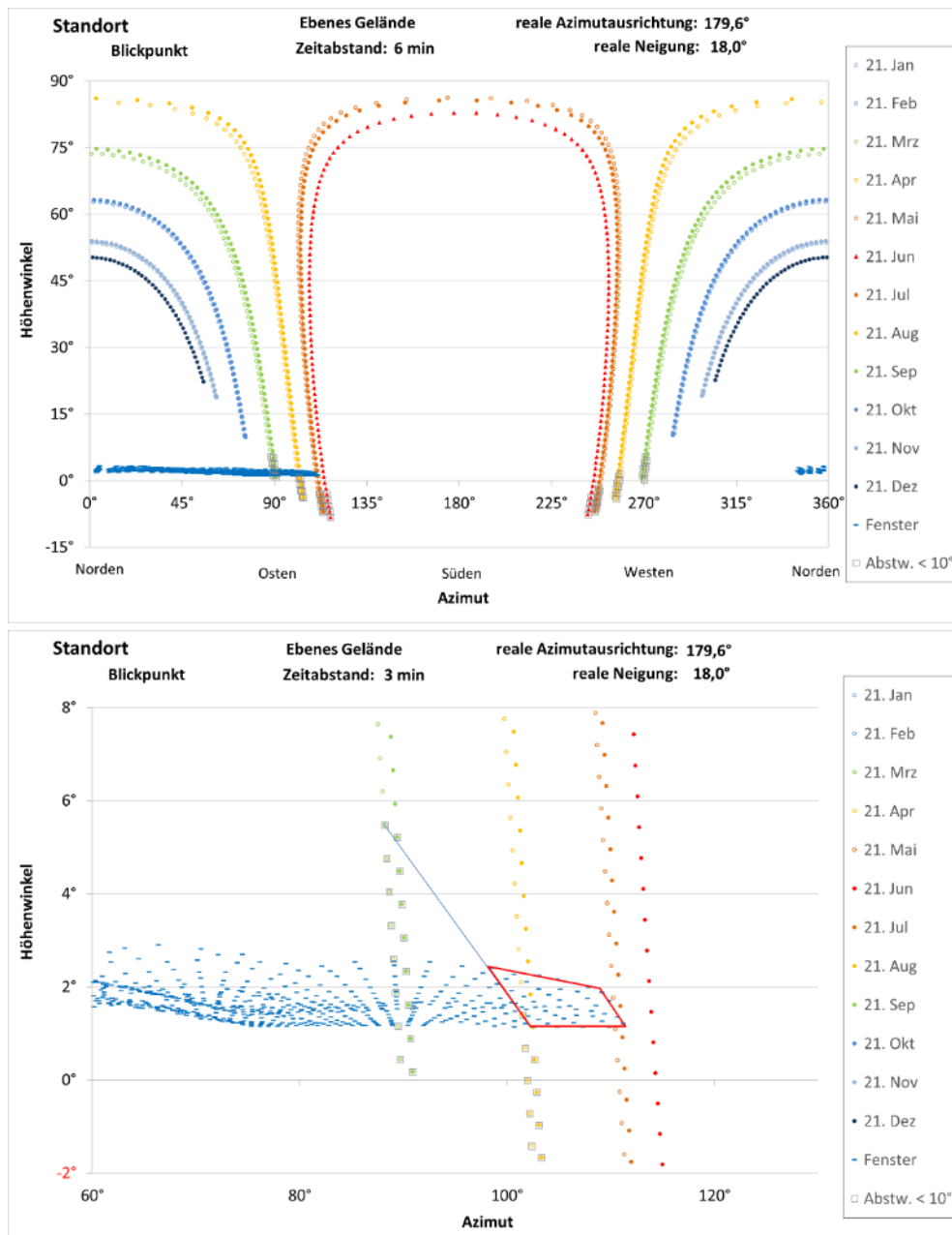


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Räume (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und Eingrenzung des maximalen Immissionszeitraums durch eine rote Linie (unten)

5 Situation vor Ort



5.1 PV-Anlage

Die Freiflächen-Photovoltaikanlage „Göhren“ soll auf der Flur 2 in der Gemarkung Göhren bei Eldena im Landkreis Ludwigslust-Parchim in Mecklenburg-Vorpommern errichtet werden. Das Plangebiet der PV-Anlage umfasst nach dem Vorentwurf zum Bebauungsplan Nr. 4 "Sondergebiet Freiflächen-Photovoltaikanlage Göhren" vom 24. Oktober 2023 die fünf Teilflächen SO1 bis SO5.

Das Plangebiet mit einer überbaubaren Fläche von etwas mehr als 100 ha befindet sich ca. 1 km südlich der Ortslage Malk Göhren und wird von der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Bahnhofstraße / Neue Straße (LUP 45, K 45) getrennt. Der Straßennahme ist je nach Kartenmaterial (Geportal Mecklenburg-Vorpommern, Google,Earth, Bing Maps) unterschiedlich, so dass im Rahmen des Blendgutachtens für den Straßenverlauf südlich des landwirtschaftlichen Betriebs die Bezeichnung Neue Straße verwendet. Im nördlichen Bereich des Plangebiets grenzt der am südlichen Ende der Bahnhofstraße liegende landwirtschaftliche Betrieb „Göhrener Agrar-GmbH“ an die Teilflächen SO2, SO3 und SO4. Von dort aus verläuft die Neue Straße in südliche Richtung bis zur angrenzenden Splittersiedlung, die nicht mehr Teil des Plangebiets ist. Im Norden wird das Plangebiet von der Straße Am Kanal begrenzt, die zu der westlich des Plangebiets gelegenen Splittersiedlung „Kamerun“ führt. Im Osten wird das Plangebiet durch Felder und Waldflächen begrenzt. Südlich des Plangebiets schließen sich ebenfalls Felder an. Die Einfriedung des Plangebiets erfolgt durch einen maximal 2,2 m hohen offenen Zaun. Abbildung 9 zeigt die geplante Freiflächen-Photovoltaikanlage mit den Teilflächen SO1 bis SO5 und deren unmittelbare Umgebung.



Abbildung 9: Belegungsplan des geplanten Solarparks Göhren (Modultischreihen in blau) vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps



Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens lagen noch keine Vermessungsdaten des Baufelds vor. Die benötigten Höheninformationen wurden dem Geoportal Mecklenburg-Vorpommern entnommen. Das Baufeld liegt auf einer Höhe von 21 m üNN bis 23 m üNN mit Anstieg in nördlicher Richtung. Die Hangneigung des Baufelds beträgt weniger als 1°.

Nach den Systemangaben werden die PV-Module auf einachsige horizontale Trackersysteme montiert. Die Achse des Nachführsystems verläuft in Nord-Süd-Richtung, so dass die Module vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen gerichtet sind. 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 aus annähernd horizontaler Neigung bis auf die maximale Neigung von 60° bei Ostausrichtung gedreht. Spätestens ab einem Höhenwinkel der Sonne von 30° wird die Neigung der PV-Module durch die Nachführung wieder vermindert, 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 maximal 60° Neigung bei Westausrichtung gedreht. Zum Sonnenuntergang hin kann dann wieder ein Backtracking erfolgen. Bei 60° Neigung liegt die Oberkante der PV-Module höchstens 5 m über der natürlichen Geländeoberkante.

Im Zuge von Wartungsarbeiten, bei Sturm und bei Störungen der Anlage wird das Trackersystems in eine vorab definierte Parkposition mit einem zur Minderung der Windlast geeigneten Neigungswinkel von weniger als 10° gedreht. Abbildung 10 zeigt den Aufbau des Trackersystems.

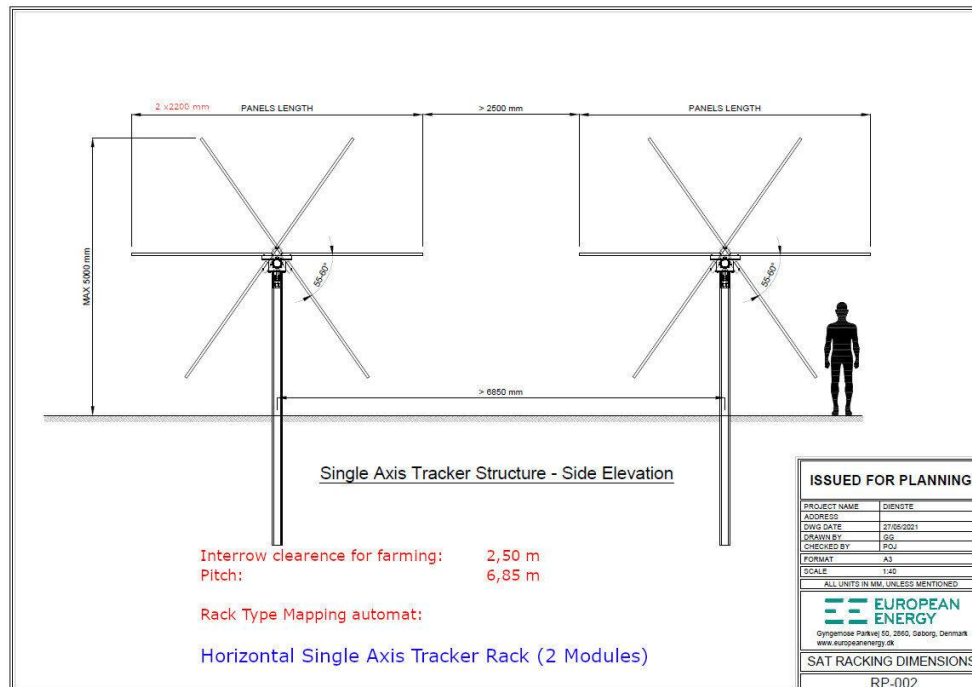


Abbildung 10: Aufbau des einachsigen Trackersystems zur Nachführung der PV-Module; Quelle: Kundenmaterial

Der Belegungsplan ist in einem UTM-Koordinatensystem erstellt, das eine Meridiankonvergenz von -2,92° zu geographisch Nord aufweist. Diese führt zu einer realen Azimutausrichtung der PV-Module von 87,1° Ost und 267,1° West°. Die geringe Hangneigung von weniger als 1° mit Anstieg in Richtung



Norden ist durch das Befestigungssystem ausgleichbar und kann im Zuge der Blendanalyse vernachlässigt werden.

Die Höhe der Unter- und Oberkanten der PV-Module über Grund ändert sich mit dem Neigungswinkel. Bei der maximalen Neigung von 60° liegen die Oberkanten der PV-Module höchstens 5,0 m über der natürlichen Geländeoberkante.

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

Tabelle 2: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Göhren

PV-Anlage:	Freiflächen-Photovoltaikanlage Göhren
Standort:	Gemarkung Göhren bei Eldena, Flur 2 (Breite.: 53,19°, Länge: 11,53°)
UTM-Meridiankonvergenz:	-2,92°
Azimutausrichtungen:	87,1° Ost und 267,1° West°
Höhe des Baugrunds:	21 m üNN bis 23 m üNN
Planneigung der Module:	Nachführungsbereich: 0° bis 60°
Querneigung der PV-Tische:	Zu vernachlässigen (< 1°)
Höhe der Modulunterkante:	variabel, minimal 0,5 m
Höhe der Moduloberkante:	variabel, maximal 5,0 m

5.2 Potenzielle Immissionsorte

5.2.1 Vorbetrachtung

Auf Grund der Topografie der Umgebung liegen alle potenziellen Immissionsorte nur geringfügig niedriger oder höher als die PV-Module und können nur von Sonnenlichtreflexionen mit geringen negativen oder positiven Höhenwinkeln getroffen werden. Die Anlage ist mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, welches 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. Diese Zustände umfassen die Parkposition des Trackersystems und ggf. die Backtrackingregelung zu Sonnenaufgang und -untergang. Es ist dementsprechend zu prüfen, ob bei geringen Neigungen der PV-Module blendrelevante Reflexionsrichtungen auftreten können, um Vorgaben für die Parkposition des Trackersystems oder dessen Backtracking-Algorithmus ableiten zu können, die das Auftreten von blendenden Sonnenlichtreflexionen ausschließen.

5.2.2 Blendrelevanter Azimutbereich bei Ausrichtung nach Osten

Das Reflexionsdiagramm für PV-Tische auf ebenem Gelände mit einer Ausrichtung nach Osten und einer Neigung von 6° in Abbildung 11 zeigt, dass im Regelbetrieb des Trackersystems der geplanten Anlage keine potenziell blendenden Reflexionen auf Verkehrswege oder Anlieger gerichtet sein können. Die PV-Module sind morgens nach Osten und abends nach Westen ausgerichtet. Potenziell blendende Reflexionen mit Höhenwinkeln zwischen -5° und 3° können bei nach Osten ausgerichteten PV-Modulen mit einer Neigung von 6° aber nur abends in einen östlichen

Azimutbereich von 32° bis 118° gerichtet sein. Ein solcher Betriebszustand kann nur außerhalb des Nachführungsregimes auftreten.

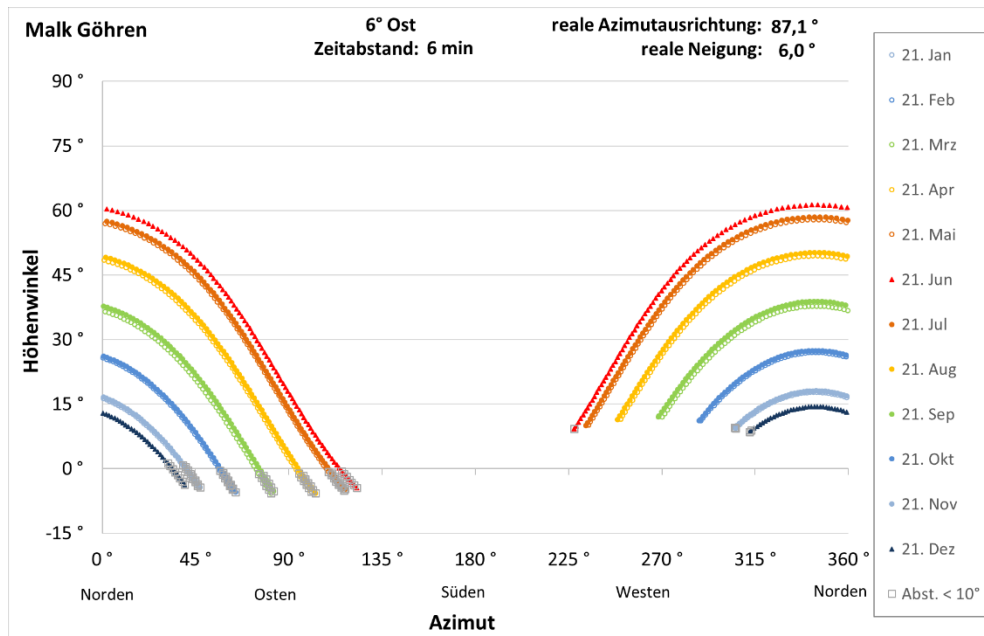


Abbildung 11: Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit 6° Neigung und Ausrichtung nach Osten

Bei einer Neigung von 9° (Abbildung 12) verschiebt sich der abendliche blendrelevante östliche Azimutbereich nach Norden auf 23° bis 112°, während die Sonne zu den Reflexionszeiten bereits höher steht.

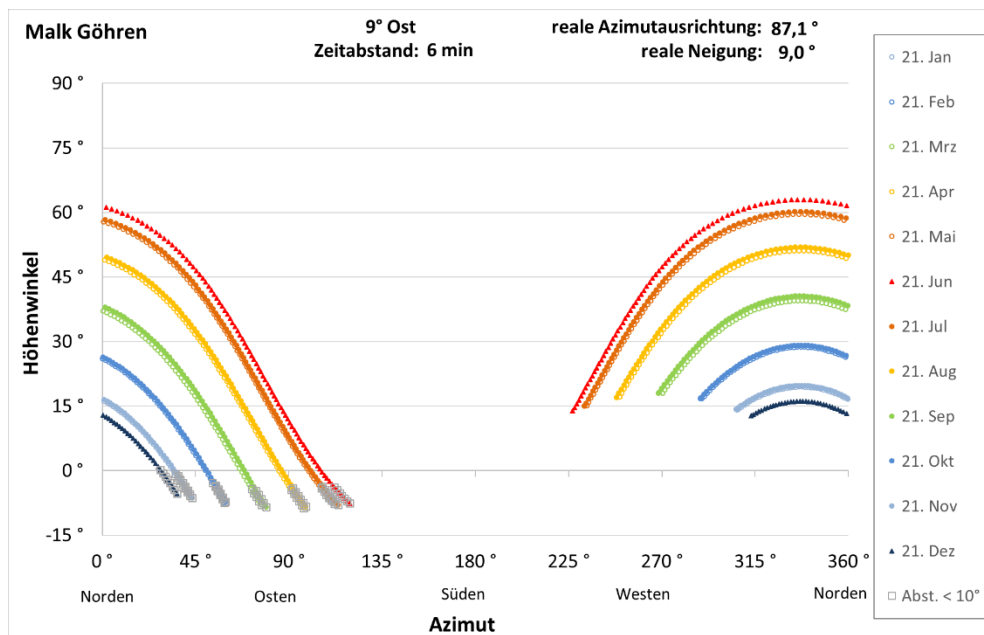


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit 9° Neigung und Ausrichtung nach Osten



5.2.3 Blendrelevanter Azimutbereich bei Ausrichtung nach Westen

Das Reflexionsdiagramm für PV-Tische auf ebenem Gelände mit einer Ausrichtung nach Westen und einer Neigung von 6° (oben) und 9° (unten) in Abbildung 13 zeigt, dass im Regelbetrieb des Trackersystems der geplanten Anlage keine potenziell blendenden Reflexionen auf Verkehrswege oder Anlieger gerichtet sein können. Die PV-Module sind nur in der zweiten Tageshälfte nach Westen ausgerichtet. Potenziell blendende Reflexionen mit Höhenwinkeln zwischen -5° und 3° können aber nur morgens in einen westlichen Azimutbereich von 242° bis 320° gerichtet sein. Bei einer Neigung von 9° verschiebt sich der morgendliche blendrelevante westliche Azimutbereich nach Norden auf 248° bis 330°, während die Sonne zu den Reflexionszeiten bereits höher steht.

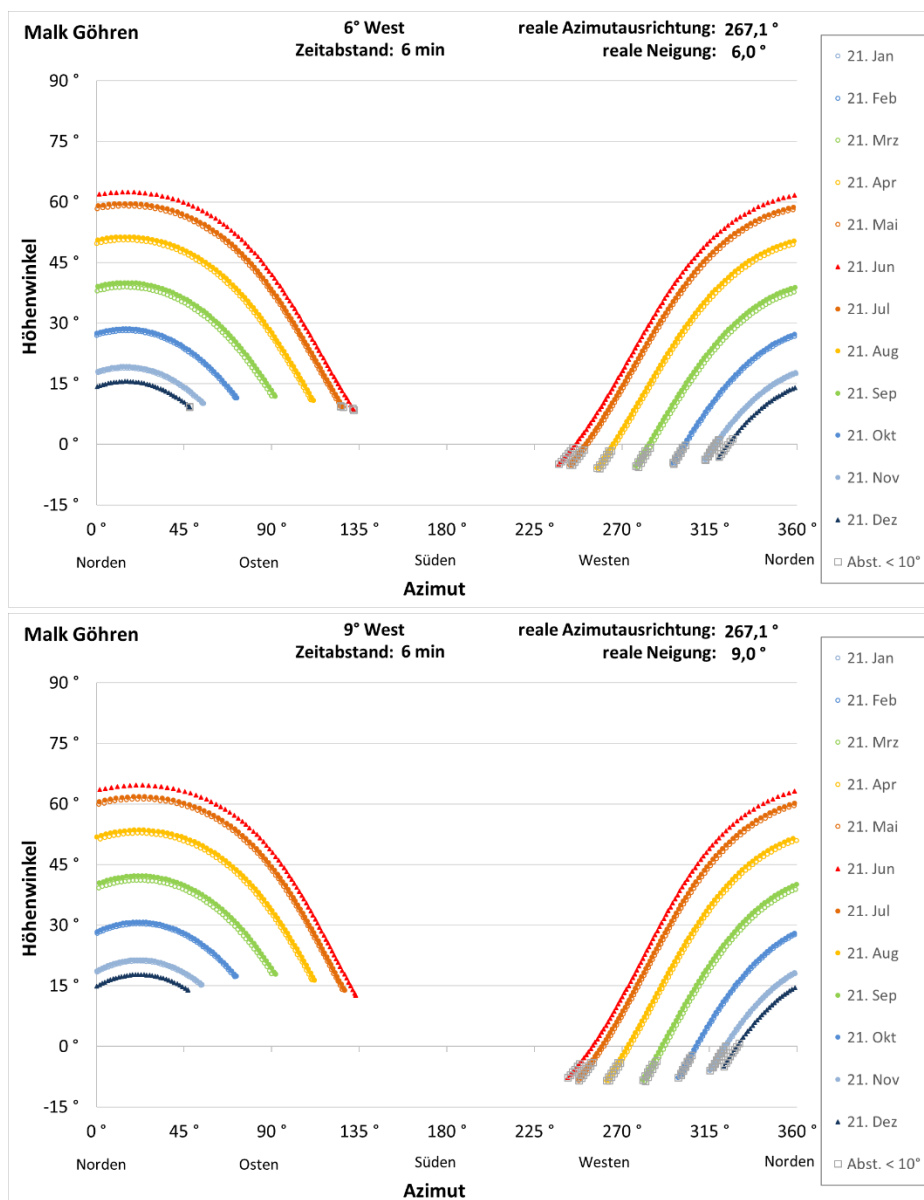


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für PV-Tische mit 6° (oben) und 9° Neigung (unten) und Ausrichtung nach Westen



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.

Abbildung 14 zeigt die blendrelevanten östlichen (magentafarben) und westlichen (gelb) Azimutbereiche der Reflexionen für ausgewählte Reflexionspunkte. Im östlichen Azimutbereich können der landwirtschaftliche Betrieb im nördlichen Bereich der Anlage und der Verkehr auf der Neue Straße in Richtung Süden von potenziell blendenden Sonnenlichtreflexionen betroffen sein. Der landwirtschaftliche Betrieb ist während der Vegetationsperiode durch die Gehölze am östlichen Rand des SO2 weitgehend von den potenziellen Sonnenlichtreflexionen abgeschirmt, so dass es nicht zu unzumutbaren Belästigungen durch die dort installierten PV-Module kommen kann.

Im westlichen Azimutbereich können beide Splittersiedlungen, der landwirtschaftliche Betrieb, der Verkehr auf der Straße Am Kanal in Richtung Nordosten und der Verkehr auf der Neue Straße (K 45) in Richtung Süden von potenziell blendenden Reflexionen betroffen sein.

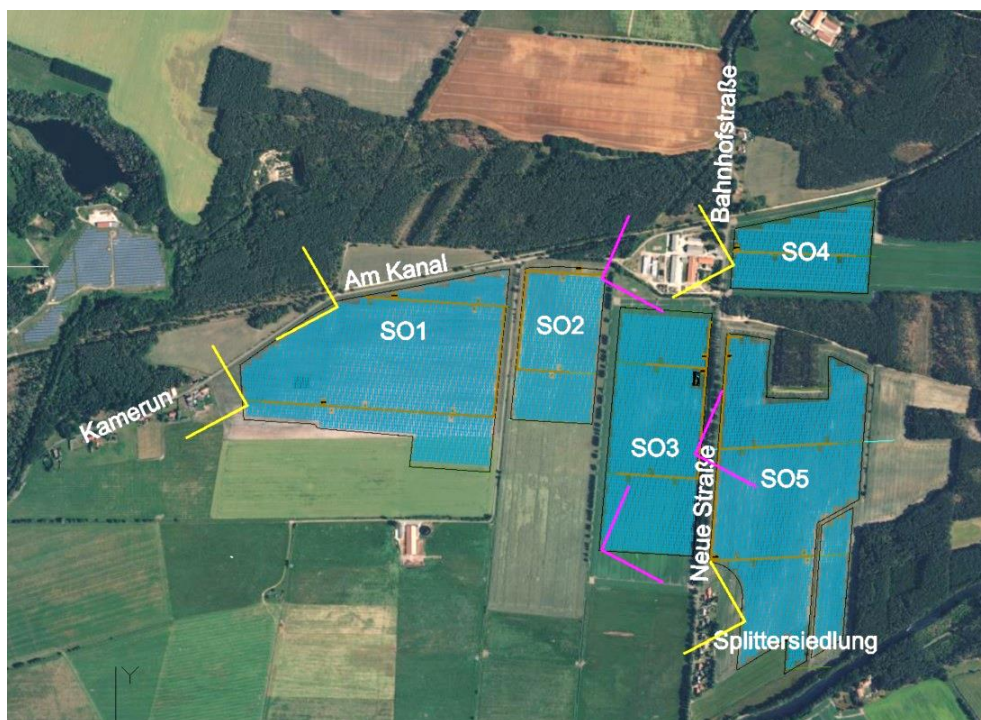


Abbildung 14: Blendrelevanter westlicher (gelbe Linien) und östlicher (magentafarbene Linien) Azimutbereich der potenziellen Sonnenlichtreflexionen, angetragen an ausgewählte Reflexionspunkte der PV-Anlage

Die Neue Straße (K 45) verläuft in Richtung Süden mit einer Azimutrichtung von 184°. Die Höhe der Fahrbahndecke sinkt während der Passage des Baufelds von 23 m üNN bis auf 21 m üNN. Für die Blendanalyse wird der Verkehr auf der Neue Straße durch den Blickpunkten NS_01 (22 m üNN) repräsentiert.



Die Straße Am Kanal verläuft in Richtung Nordosten mit einer Azimutrichtung von 56°. Die Höhe der Fahrbahndecke wird mit 22 m üNNH angesetzt. Für die Blendanalyse wird der Verkehr durch den Blickpunkt AK_01 repräsentiert.

Die Splittersiedlungen werden durch jeweils einen Blickpunkt (SP_01 und SP_02) repräsentiert. Dabei wird als exponiertestes Fenster ein Fenster im Obergeschoss ausgewählt. Die mittlere Fensterhöhe wird mit 5 m über Grund angesetzt. Die Geländehöhe wird für die Splittersiedlungen mit 22 m üNNH angesetzt. Für den landwirtschaftlichen Betrieb wird ein Fenster im OG des der Straße zugewandten Gebäudes mit einer Höhe von 6 m über der Geländeoberkante von 25 m üNNH als Blickpunkt LB_01 modelliert.

Abbildung 15 zeigt die zur Prüfung der Blendwirkung ausgewählten Blickpunkte.



Abbildung 15: Zu prüfende Immissionsorte (cyanfarbene Kreise)

Als Reflexionspunkte werden die nördlichen rechten Oberkanten aller PV-Tische des nächstgelegenen Teilfeldes modelliert, in dessen blendrelevantem Azimutbereich der Blickpunkt gelegen ist. Die Höhe der Ober- und Unterkanten der PV-Module unterscheidet sich bei der untersuchten geringen Neigung nur wenig, so dass eine einheitliche Höhe von 2,7 m über der Geländeoberkante angesetzt werden kann.

6 Berechnungsergebnisse



6.1 Östlicher Azimutbereich

6.1.1 Verkehr auf Neue Straße (K 45)

Der Blickpunkt NS_01 liegt im blendrelevanten östlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO3 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° Neigung in Abbildung 16 veranschaulicht, dass das maximale Gebrauchsblickfeld der Fahrzeugführenden fast vollständig frei von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage bleibt. Zur Wintersonnenwende beträgt der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden 29° bei einer Beleuchtungsstärke der Reflexionen von 400 lx und einer Sonnenhöhe von < 7,5°.

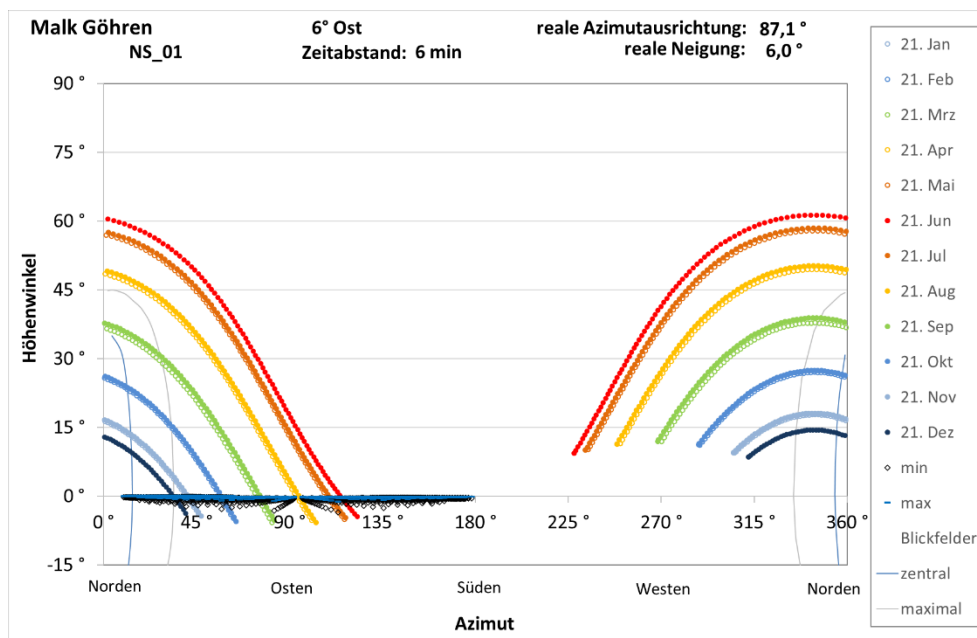


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 6° Neigung am Blickpunkt NS_01

Das Reflexionsdiagramm für eine nach Osten ausgerichtete Parkposition mit 9° Neigung in Abbildung 17 zeigt, dass bei dieser Ausrichtung von Ende November bis Mitte Januar abends für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können. Der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden beträgt 25°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 800 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 10,7^\circ$.

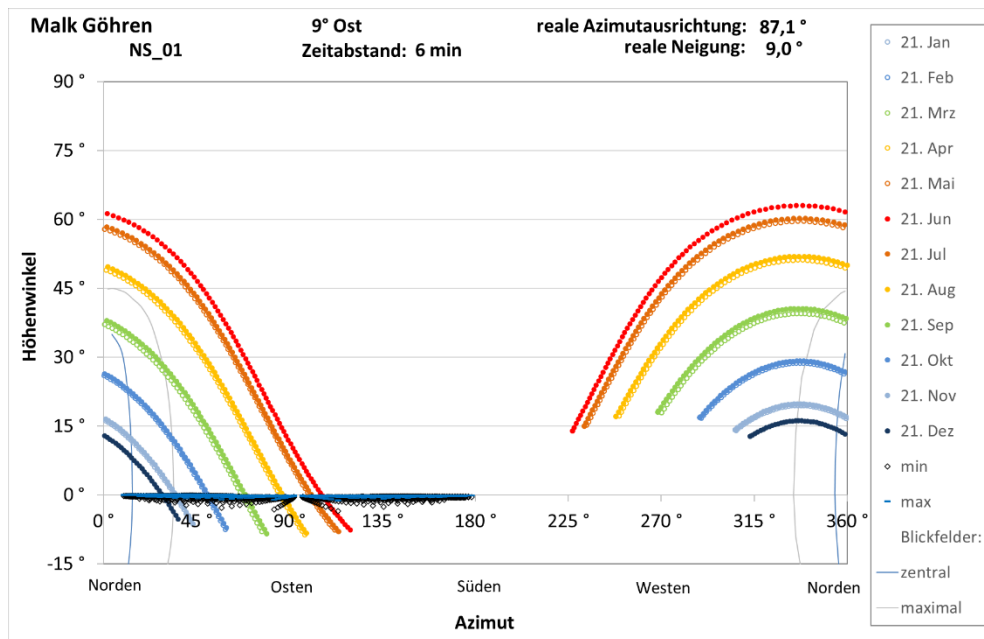


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt NS_01

6.2 Westlicher Azimutbereich

6.2.1 Verkehr auf Am Kanal

Der Blickpunkt AK_01 liegt im blendrelevanten westlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO1 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Westen ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° bzw. 9° Neigung in Abbildung 18 zeigen, dass von April bis August morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Bei 6° Neigung beträgt der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden zur Sommersonnenwende 9°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 900 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 11,9^\circ$.

Bei 9° Neigung beträgt der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden zur Sommersonnenwende 16,8°. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 1.600 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 17,9^\circ$.

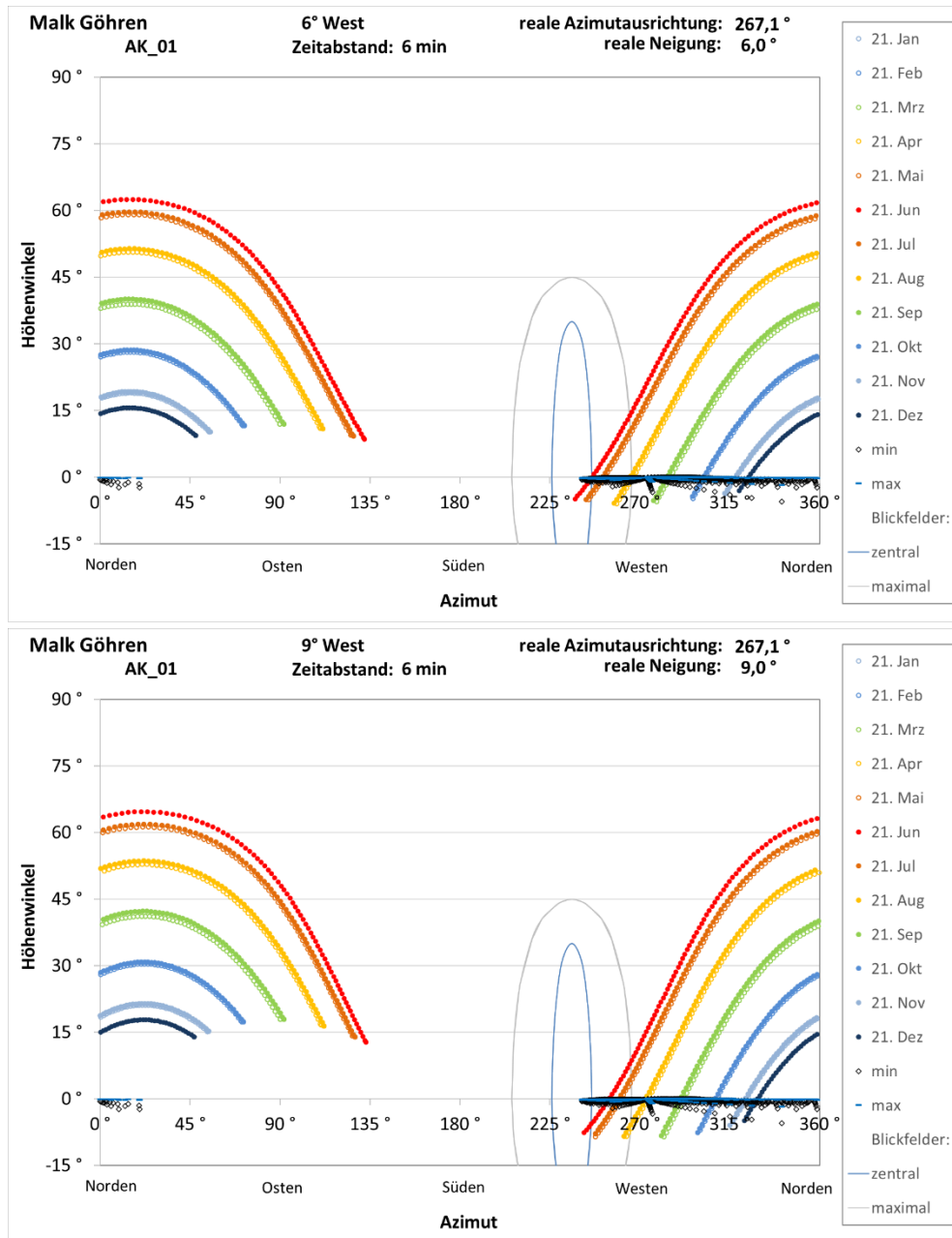


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt AK_01



6.2.2 Splittersiedlung Kamerun

Der Blickpunkt SP_01 liegt im blendrelevanten westlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO1 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Westen ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° bzw. 9° Neigung in Abbildung 19 zeigen, dass von März bis September morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage auf das untersuchte Fenster gerichtet sein können. Die maximale tägliche Dauer der Lichtimmissionen beträgt für beide Neigungen weniger als 6 min.

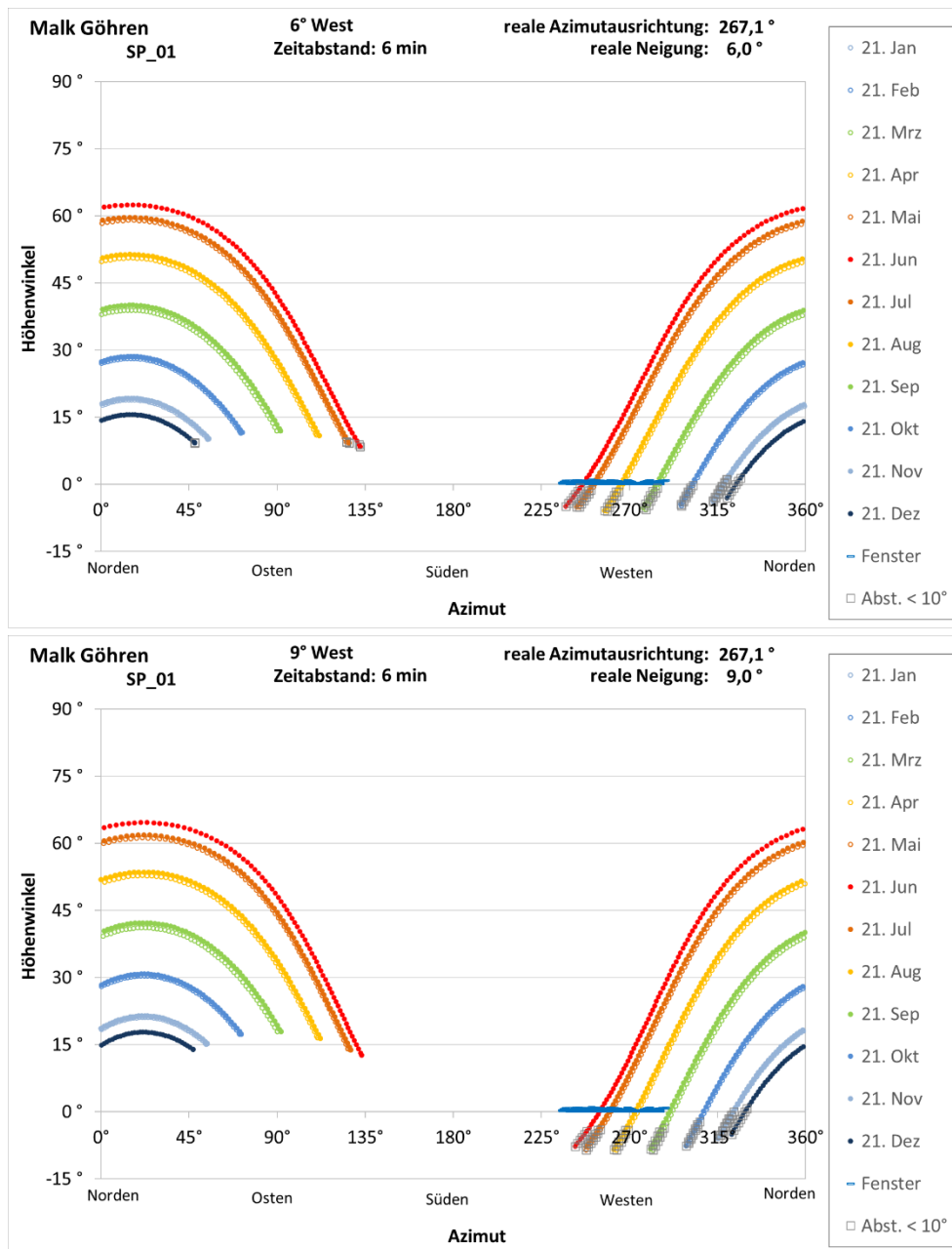


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt SP_01



6.2.3 Verkehr auf Neue Straße (K 45)

Der Blickpunkt NS_01 liegt im blendrelevanten westlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO5 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Westen ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° bzw. 9° Neigung in Abbildung 20 zeigen, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage bleibt.

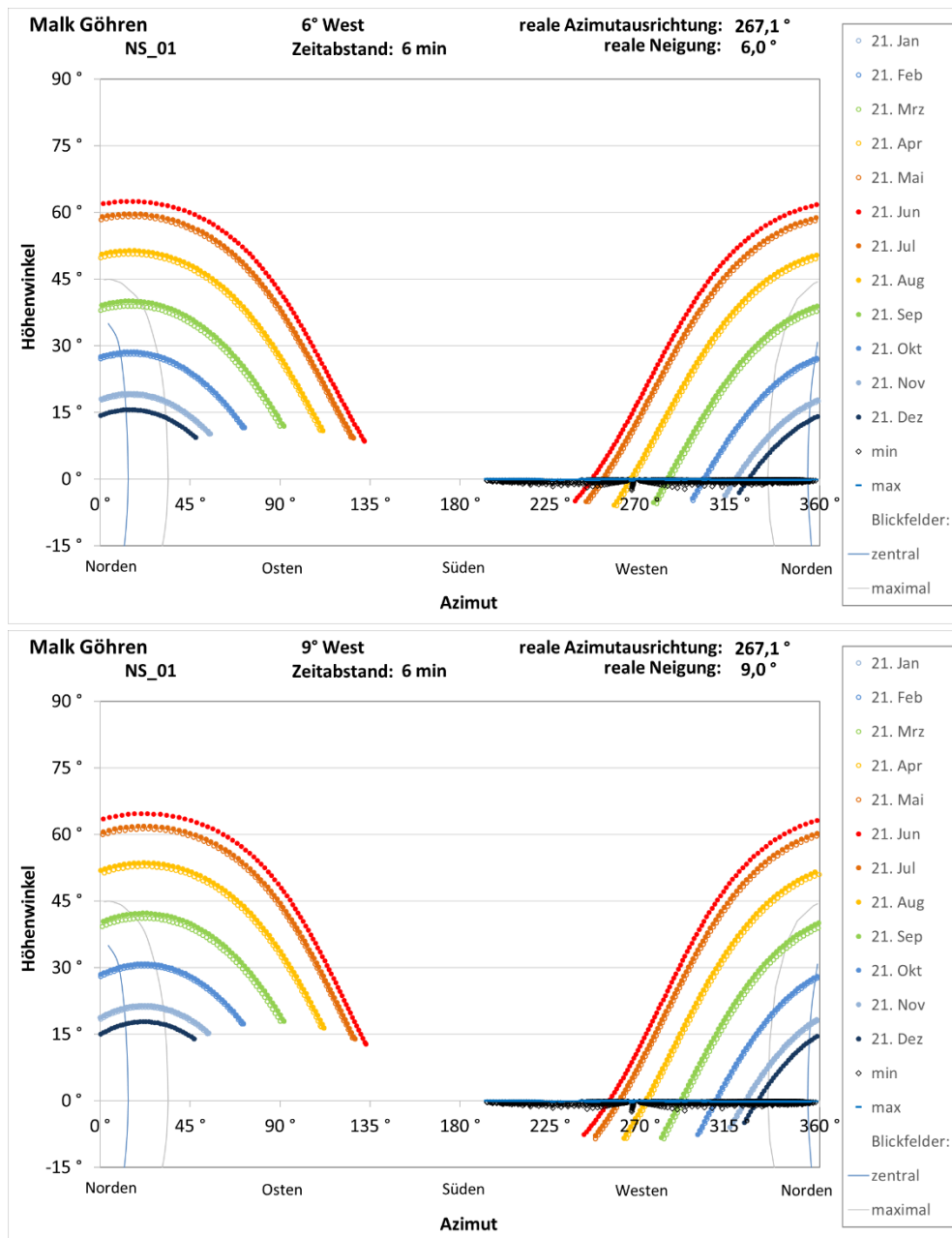


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt NS_01

6.2.4 Splittersiedlung an Neue Straße (K 45)

Der Blickpunkt SP_02 liegt im blendrelevanten westlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO5 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Westen ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° bzw. 9° Neigung in Abbildung 21 zeigen, dass ganzjährig morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage auf das untersuchte Fenster gerichtet sein können. Die maximale tägliche Dauer der Lichtimmissionen beträgt für beide Neigungen weniger als 4 min.

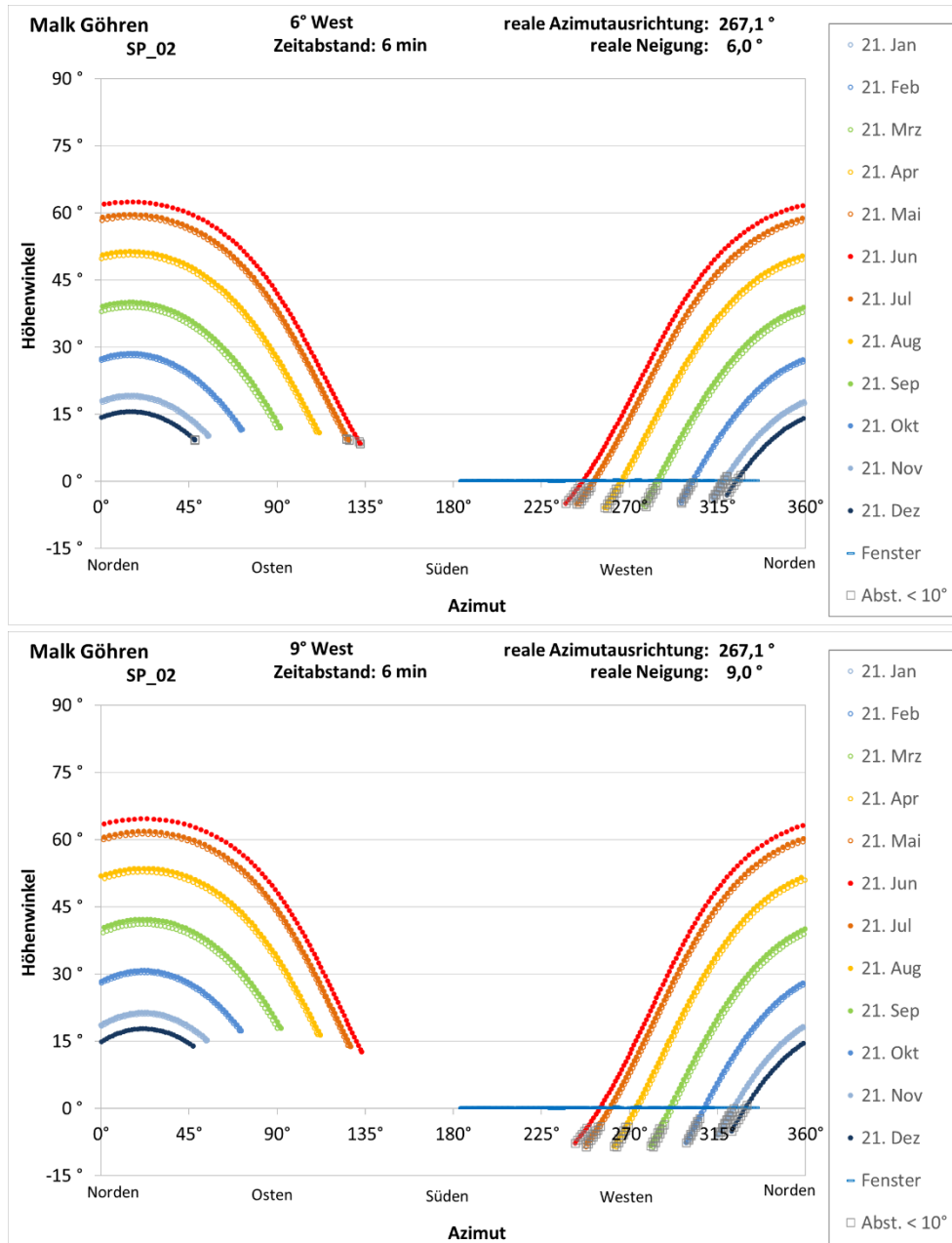


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt SP_02



6.2.5 Landwirtschaftlicher Betrieb an der Bahnhofstraße

Der Blickpunkt LB_01 liegt im blendrelevanten westlichen Azimutbereich des Teilfeldes SO4 der geplanten Anlage. Die Reflexionsdiagramme für eine nach Westen ausgerichtete Parkposition der PV-Tische mit 6° bzw. 9° Neigung in Abbildung 22 zeigen, dass ganzjährig morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage auf das untersuchte Fenster gerichtet sein können. Die maximale tägliche Dauer der Lichtimmissionen beträgt weniger als 25 min.

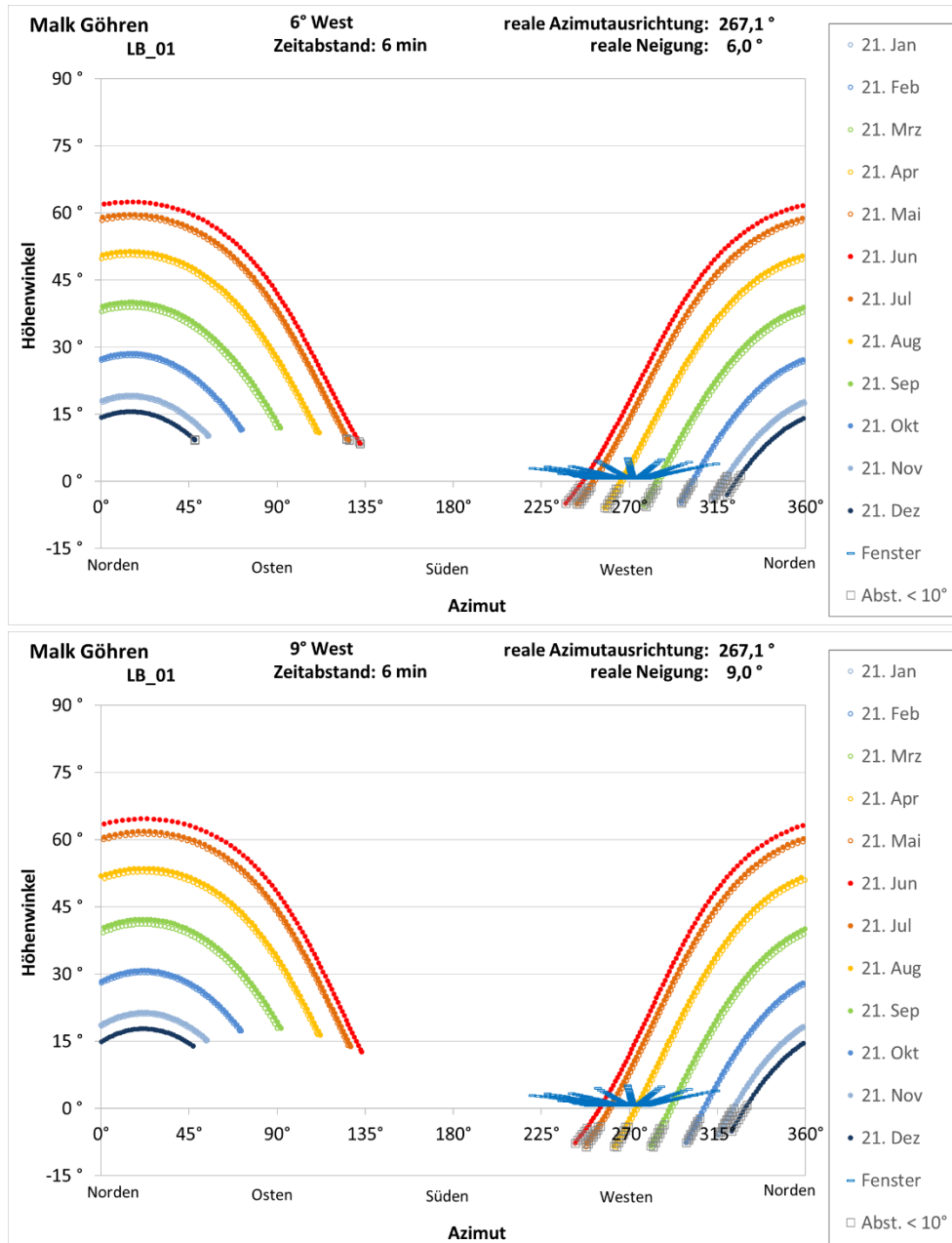


Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt LB_01



7 Bewertung der Blendrisiken

7.1 Nachführungsbetrieb der PV-Anlage

Die Anlage ist mit einem einachsigen Trackersystem ausgestattet, welches 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 Nachführungsregimes zu potenziell blendenden Reflexionen führen.

7.2 Parkposition mit Ausrichtung der PV-Module nach Osten

Bei einer Parkposition mit einer Ausrichtung der PV-Module nach Osten und einer Neigung zwischen 6° und 9° können abends potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Neue Straße (LUP 45, K 45) mit Fahrtrichtung nach Süden gerichtet sein. Dabei bleibt das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Sonnenlichtreflexionen.

Die in das maximale Gebrauchsblickfeld der Fahrzeugführenden gerichteten Sonnenlichtreflexionen können auf Grund ihrer Position im Blickfeld mit mindestens 25° Winkelabstand zur Blickachse, ihrer Beleuchtungsstärke von maximal 800 lx und unter Berücksichtigung der maximalen Winkelhöhe von $11,7^\circ$ der über den Reflexionspunkten stehenden Sonne keine Blendung der Fahrzeugführenden verursachen. Die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs bleiben jederzeit gewahrt.

7.3 Parkposition mit Ausrichtung der PV-Module nach Westen

Bei einer Parkposition mit einer Ausrichtung der PV-Module nach Westen können von April bis August morgens für wenige Minuten potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Straße Am Kanal mit Fahrtrichtung nach Nordosten gerichtet sein.

Bei 6° Neigung beträgt der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden 9° . Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 900 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 11,9^\circ$. Bei 9° Neigung beträgt der geringste Abstandswinkel der Reflexionen zur Blickachse der Fahrzeugführenden $16,8^\circ$. Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen erreicht maximal 1.600 lx bei einer Sonnenhöhe von $\leq 17,9^\circ$. In beiden Fällen können die Reflexionen durch eine im Auge induzierte Schleierleuchtdichte eine leichte Kontrastminderung im Sehvermögen der Fahrzeugführenden bewirken, die aber auf Grund des übersichtlichen Streckenverlaufs keine Verkehrsgefährdung verursacht.

Die Anlieger in den Splittersiedlungen und der landwirtschaftliche Betrieb im Norden des Plangebiets können von Lichtimmissionen betroffen sein, deren tägliche Maximaldauer unterhalb der Schwellenwerte der Licht-Richtlinie bleibt. Da die Anlage nur im ausnahmsweisen Parkbetrieb Lichtimmissionen für die Anlieger verursachen kann, ist die maximale jährliche Immissionsdauer zu vernachlässigen. Es wird festgestellt, dass die Anlieger nicht von unzumutbaren Lichtimmissionen im Sinne der Licht-Richtlinie betroffen sein können.



8 Verwendete Materialien

8.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „DE1068_Malk_Gohren_EPC_PV_2PSAT7.3m_Layout_R231127 (2).dwg“
- ▶ Datei „231024_Entwurf_BP Malk-Göhren_Planzeichnung.dwg“
- ▶ Datei „BP4 MG Solarfeld Göhren BV Auslegung frB mit Anlagen ausgefertigt-520231.pdf“
- ▶ Systemangaben in Datei „DE1068_Malk_Gohren_EPC_PV_2PSAT7.3m_Layout_SATELI_R231127-P001.pdf“
- ▶ Datei „221202_Vorentwurf_UWB_Massnahmenkonzept-649943.pdf“
- ▶ Datei „230907_PV_Tracker.jfif“

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 RAST 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 „Göhren“ (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet); Quelle: Bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbilds aus Bing Maps	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 des geplanten Solarparks Göhren (Modultischreihen in 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: Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit 6° Neigung und Ausrichtung nach Osten	20
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit 9° Neigung und Ausrichtung nach Osten	20
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für PV-Tische mit 6° (oben) und 9° Neigung (unten) und Ausrichtung nach Westen	21
Abbildung 14: Blendrelevanter westlicher (gelbe Linien) und östlicher (magentafarbene Linien) Azimutbereich der potenziellen Sonnenlichtreflexionen, angetragen an ausgewählte Reflexionspunkte der PV-Anlage	22
Abbildung 15: Zu prüfende Immissionsorte (cyanfarbene Kreise)	23



Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 6° Neigung am Blickpunkt NS_01	24
Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete Module mit 9° Neigung am Blickpunkt NS_01	25
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt AK_01	26
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt SP_01	27
Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt NS_01	28
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt SP_02	29
Abbildung 22: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete Module mit 6° (oben) und 9° (unten) Neigung am Blickpunkt LB_01	30

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)	10
Tabelle 2: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Göhren	19

