

Blendgutachten „Agri-PV – südlich Hohenholz“ in Krackow

*Analyse der Blendwirkungen einer Photovoltaikanlage
auf die umliegenden Verkehrswege und schutzwürdige
Nutzungen von Anliegern*

Auftraggeber:

Saxovent Renewables GmbH & Co. KG
Fritschestr. 27/28
10585 Berlin

Erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Manteuffelstr. 74
12103 Berlin Germany
Tel. +49 151 14849857
E-Mail: ralf.schmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 14. Mai 2026
Gutachten-Nr.: SPX-RS-P260048-01



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Bewertungsgrundlagen	6
3.1	Immissionsschutz	6
3.2	Verkehr	6
3.2.1	Allgemeine Anforderungen	6
3.2.2	Straßen- und Schienenverkehr	7
4	Beschreibung der Methodik	9
4.1	Vorbemerkung zu Reflexionen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit einachsigen-horizontalen Trackersystemen	9
4.2	Berechnung der Reflexionsrichtungen	9
4.3	Lichttechnische Berechnungen	10
4.4	Blickpunktbezogene Blendanalyse	11
5	Beschreibung des Plangebiets und der PV-Anlage	13
6	Ermittlung blendrelevanter Trackerpositionen	15
6.1	Vorbetrachtung	15
6.2	Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Osten	15
6.3	Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Westen	17
6.4	Blendrichtungen in Horizontalposition	19
7	Blendrisiken für den Straßenverkehr in Sonderpositionen	20
7.1	Bundesstraße B 113	20
7.1.1	Auswahl der Blickpunkte und Modellierung	20
7.1.2	Verkehr aus südwestlicher Richtung	21
7.1.3	Verkehr aus nordöstlicher Richtung	23
7.2	Kreisstraße K 84	25
7.2.1	Auswahl der Blickpunkte und Modellierung	25
7.2.2	Verkehr aus westlicher Richtung	25
7.2.3	Verkehr aus östlicher Richtung	27
7.3	Autobahn A 11	28
8	Blendrisiken für die Ortslagen	29



8.1	Ortslage Krackow	29
8.2	Ortslage Hohenholz.....	29
9	Blendgutachterliche Bewertung und Empfehlungen für Sonderpositionen der Trackersysteme	30
10	Verwendete Materialien	32
10.1	Dokumente vom Auftraggeber	32
10.2	Literatur	32
11	Abbildungsverzeichnis.....	33
12	Tabellenverzeichnis	35



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Im Zuge der Baug- und Bauleitplanung für eine PV-Freiflächenanlage im Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 8 „Agri-PV – südlich Hohenholz“ der Gemeinde Krackow ist zu prüfen, ob von der geplanten Anlage Blendwirkungen auf die umliegenden Verkehrswege oder für die schutzwürdigen Nutzungen von Anliegern entstehen können. Die PV-Anlage soll mit einem einachsigen-horizontalem Trackersystem auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche errichtet werden. In diesem Zusammenhang werden auch blendfreie Sonderpositionen der Trackersysteme ermittelt. Im Einzelnen sind die folgenden Immissionsorte auf Blendwirkungen zu untersuchen:

- ▶ Autobahn A 11, Bundesstraße B 113, Kreisstraße K 84
- ▶ Ortslagen Krackow und Hohenholz

Das Plangebiet befindet sich in der Gemarkung Krackow der gleichnamigen Ortschaft im Kreis Vorpommern-Greifswald in Mecklenburg-Vorpommern. 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 sowie ergänzender Informationen aus dem Geoportal Mecklenburg-Vorpommern und Google Earth Pro.

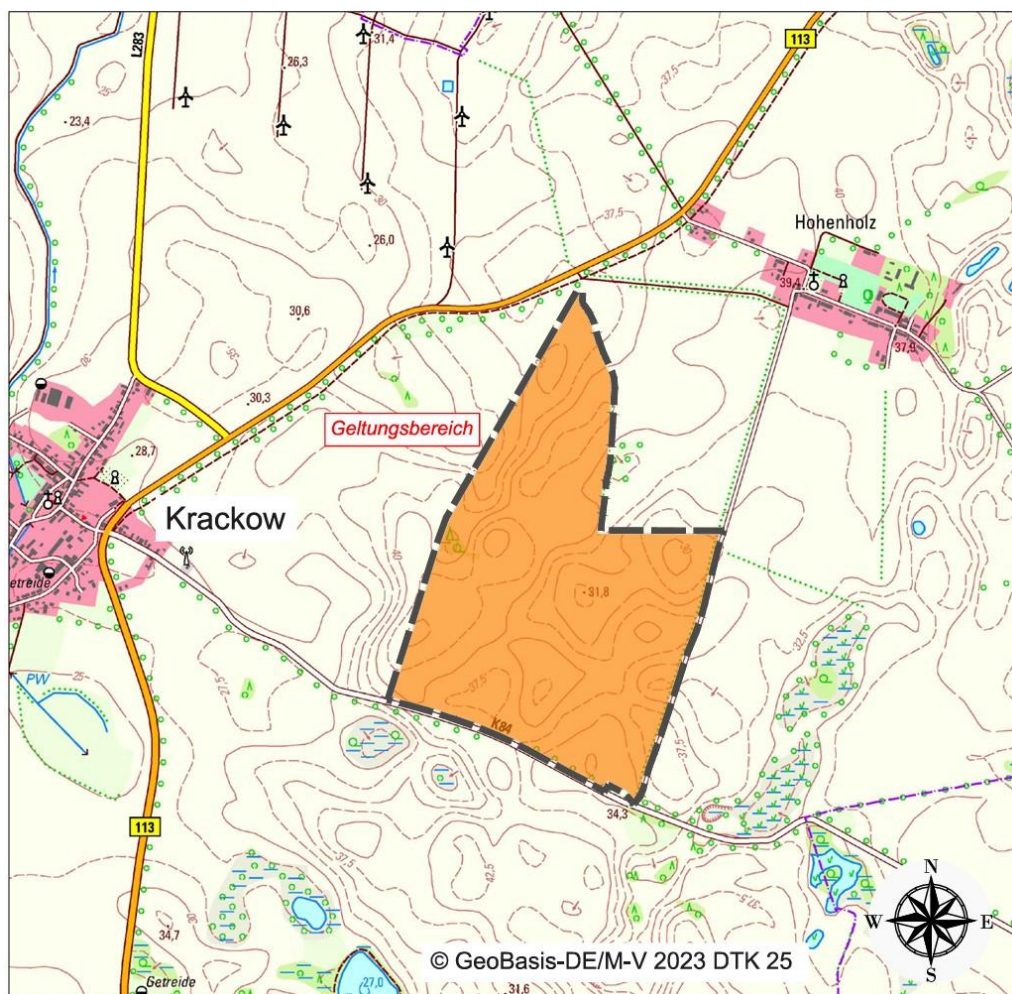


Abbildung 1: Lage des Plangebiets; Quelle: Entwurf B-Plan Nr. 8 „Agri-PV – südlich Hohenholz“ der Gemeinde Krackow



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass im Nachföhrbetrieb der Trackersysteme der geplanten PV-Anlage keine bodennahen Sonnenlichtreflexionen entstehen, die auf die Augen der Fahrzeugföhrenden auf den umliegenden Verkehrswegen oder schutzwürdige Nutzungen gerichtet sind und somit nur Betriebszustände außerhalb der astronomischen Nachföhrung zu einem Blendrisiko föhren können. Schutzwürdige Nutzungen von Anliegern werden nicht von anhaltenden Lichtimmissionen belästigt.

Für das Backtracking der Trackersysteme bestehen keinerlei Einschränkungen. In der ersten Tageshälfte bleibt eine Ostausrichtung und in der zweiten Tageshälfte eine Westausrichtung für jeden Neigungswinkel blendwirkungsfrei.

Für blendwirkungsfreie Sonderpositionen im Zuge von Flächen- oder Wartungsarbeiten können die Trackersysteme ganztägig in Horizontalstellung gebracht werden oder in der ersten Tageshälfte in eine Ostausrichtung und in der zweiten Tageshälfte in eine Westausrichtung.

Bei länger bestehenden Sonderpositionen oder Sturm wird empfohlen, für die Trackersysteme im nördlichen Bereich der Anlage eine geringe Neigung von 5° bis 6° einzustellen. Eine Ausrichtung nach Westen ist dabei zu bevorzugen. Für die Trackersysteme im Süden der Anlage wird empfohlen, diese mit einer Neigung von 7° bis 10° nach Osten auszurichten.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Photovoltaik-Freiflächenanlage „Agri-PV – südlich Hohenholz“ bei organisatorischer Umsetzung der Empfehlungen für die Sonderpositionen der Trackersysteme als genehmigungsfähig anzusehen.



3 Bewertungsgrundlagen

3.1 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 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 lichtbezogene Immissionsschutz-Verordnung. Diese Aufgabe übernehmen faktisch die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (LAI-Hinweise) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz oder deren landesspezifische Umsetzungen. Die LAI-Hinweise geben Empfehlungen zur Ermittlung, Beurteilung und Minderung der Blendwirkung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen und definieren schutzwürdige Räume und Flächen. Sie enthalten eine Berechnungsvorschrift zur Ermittlung der astronomisch maximal möglichen Immissionszeiträume unter der Annahme einer punktförmigen Sonne und ideal gerichteter Reflexion. Die Berechnungsvorschrift dient in erster Linie der Vergleichbarkeit von PV-Planungen hinsichtlich der anlagebedingten Lichtimmissionen. Die Größe der Sonnenscheibe von ca. $0,5^\circ$, die Streuung der Reflexionen durch Bündelaufweitung und die regional und jährlich unterschiedlichen Sonnenstunden führen dazu, dass die tatsächlichen Immissionszeiträume von der schematischen Berechnung abweichen.

Hinsichtlich der Beurteilung sehen die LAI-Hinweise 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 Reflexionen zu berücksichtigen, für die sich die Blickrichtung zur Sonne und die auf das reflektierende Modul um mehr als 10° unterscheiden. Die LAI-Hinweise schränken diesen Wertungsmaßstab insofern ein, als 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 am Tag werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).

3.2 Verkehr

3.2.1 Allgemeine Anforderungen

Bei der Errichtung von PV-Anlagen in den Schutzzonen des § 9 Bundesfernstraßengesetz (FStrG) sind die Auswirkungen der Anlagen auf die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu betrachten. Unter § 9 Absatz 2c regelt das Gesetz, dass die obersten Landesstraßenbaubehörden respektive das Fernstraßen-Bundesamt am Genehmigungsverfahren einer PV-Anlage zu beteiligen sind, wenn diese „längs einer Bundesautobahn in Entfernung bis zu 100 Meter oder längs einer Bundesstraße außerhalb der zur Erschließung der anliegenden Grundstücke bestimmten Teile der Ortsdurchfahrten bis zu 40 Meter, jeweils gemessen vom äußeren Rand der befestigten Fahrbahn, errichtet oder erheblich geändert werden.“ Wenn eine Anlage in dem genannten Bereich keiner Genehmigung bedarf, hat der Vorhabenträger das Vorhaben vor Baubeginn bei der für die betroffene Fernstraße zuständigen Behörde anzuzeigen.



Das Verkehrsrecht regelt die Mobilität auf der Straße, der Schiene und in der Luft. Es ist darauf ausgerichtet, die Sicherheit des Verkehrs zu gewährleisten. Diese wird durch Umstände beeinträchtigt, die zur Entstehung neuer oder Erhöhung bereits bestehender Gefahren oder zu einer Verschlechterung der Verkehrsverhältnisse beitragen. Für den Straßenverkehr ist das anzunehmen, „wenn das konkrete Vorhaben geeignet ist, sich in der jeweiligen örtlichen Situation unter Berücksichtigung des durchschnittlichen Verkehrsteilnehmers nachteilig auf das derzeitige und zu erwartende normale Verkehrsgeschehen auszuwirken“ (Müller/Schulz, § 9 Rn. 65). Diese Ausführungen sind sinngemäß auch auf den Schienen- und Flugverkehr anzuwenden.

3.2.2 Straßen- und Schienenverkehr

Zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit oder der Unbedenklichkeit einer angezeigten PV-Anlage fordert die zuständige Behörde im Regelfall ein Blendgutachten ein. Um eine sachgerechte straßenrechtliche Beurteilung vorzunehmen, sind innerhalb einer Experten-Arbeitsgruppe des Fernstraßen-Bundesamts, unter Beteiligung des Autors, Eckpunkte zur Beurteilung von relevanten Blendwirkungen erarbeitet und im November 2025 veröffentlicht worden. Das Eckpunktepapier soll im Rahmen der Fortschreibung und Evaluierung auf aktuelle Entwicklungen angepasst werden. Der darin beschriebene Ansatz zur Reflexionsberechnung und Bewertung von Blendwirkungen kann auf den Schienenverkehr übertragen werden, wobei die Anforderungen an die Sehaufgabe (Überwachung des Streckenverlaufs, Erkennen von Bahnsignalen) und spezifisch zu berücksichtigende Verkehrssituationen voneinander abweichen.

Die Reflexionen der PV-Anlage dürfen die Erfüllung der Sehaufgabe der Verkehrsteilnehmer nicht beeinträchtigen. Dafür sind Blendquellen in der unmittelbaren Nähe von Sehobjekten (Verkehrsteilnehmer, Hindernisse, Schilder, Signaleinrichtungen) als besonders kritisch anzusehen. Für deren Erkennung wird das Objekt mit der Fovea (Sehgrube) beider Augen fixiert, um einen weniger als 2° großen Winkelbereich stereoskopisch scharf abzubilden. Bei einer Fixation der Augen auf eine Fläche mit einer Leuchtdichte von mehr als 30.000 cd/m², die ein Sonnenlicht reflektierendes PV-Modul typischerweise überschreitet, kann eine Absolutblendung auftreten, bei der die Anpassungsfähigkeit des Auges an die Helligkeit überschritten wird und Schutzmechanismen (Lidschluss, Blickabwendung) einsetzen, die die Fahrzeugführung beeinträchtigen können. Das Risiko für eine Absolutblendung steigt mit der Leuchtdichte der Blendlichtquelle, deren sichtbarer Größe als Winkelbereich im Sehfeld und der Dauer der Fixation.

Ein Risiko für eine Absolutblendung besteht vornehmlich im zentralen Blickfeld, das durch unbewusste Augenbewegungen (Sakkaden) und Fixationen des Blicks auf die für die Fahraufgabe wesentlichen Objekte aufgespannt wird. Es umfasst für typische Fahraufgaben maximal den Bereich mit einem horizontalen Differenzwinkel zur Blickachse (= Hauptblickrichtung) von $\leq 10^\circ$ und einen Höhenwinkelbereich von -4° bis $+6^\circ$ zur Horizontalen. An Knotenpunkten und für spezielle Fahrsituationen kann eine abweichende Festlegung des zentralen Blickfelds erforderlich sein.

Auch außerhalb des fovealen Sehens können Helligkeitsreize zu einer Blendwirkung führen. Neben der Fovea als abbildendem System befinden sich periphere Netzhautbereiche, die Helligkeitsänderungen wahrnehmen und damit als ein System zur Gefahrenwarnung dienen, das den fovealen Blick auf sich verändernde Sehobjekte lenkt. Im zentralen und peripheren Blickfeld sichtbare Blendquellen wirken so als Distraktoren, die zu einer Blickzuwendung und Ablenkung von der Fahraufgabe führen. Blendlichtquellen in der Nähe der Blickachse oder auch sehr leuchtstarke Blendquellen können auch zu einer physiologischen Relativblendung führen, bei der Lichtstrahlen durch den Augenapparat gestreut werden, auf der Netzhaut eine sogenannte Schleierleuchtdichte erzeugen und dadurch die Sehschärfe und Kontrastunterscheidungsfähigkeit reduzieren. Im Extremfall wird eine Adaptionsstörung ausgelöst, die die allgemeine Sehfähigkeit zeitweilig stark herabsetzt.



Für das periphere Sehen sind ein horizontaler Differenzwinkel von bis zu 30° zur Blickachse der Fahrzeugführenden und ein Höhenwinkelbereich von -6° bis $+8^\circ$ als Risikobereich für Relativblendungen zu berücksichtigen. Das Risiko einer relevanten Relativblendung erhöht sich, wenn die Winkeldifferenz der Reflexionen zur Blickachse geringer und die Beleuchtungsstärke des Blendlichts im Auge größer wird. Die Beleuchtungsstärke fasst dabei die Helligkeit der Blendquelle und deren Winkelgröße im Blickfeld zusammen. In den Berechnungsformeln der Schleierleuchtdichte für Anwendungsfälle im nächtlichen Straßenverkehr geht die Beleuchtungsstärke linear in die Berechnung der Schleierleuchtdichte ein, während der Winkel zur Blendlichtquelle quadratisch einfließt. Der Stand der Wissenschaft und Forschung zur Bewertung von Blendwirkungen im Verkehr unter Tageslichtbedingungen ist allerdings noch überschaubar. Van der Leden et al. ermittelten für Versuchsaufbauten mit einem Fahrsimulator Werte von ca. 4.000 lx bei einem Differenzwinkel von 10° zur Blickachse, ab denen Auswirkungen auf die Fahrleistung der Probanden erkennbar wurden.

Wenn die Sonne zum Zeitpunkt der Reflexionen auf einer Höhe von bis zu 10° ebenfalls im Blickfeld steht, dominiert sie das Helligkeitsgeschehen. Unterhalb von 5° Höhe kann die Sonne im Straßenverkehr nicht durch die Sonnenblende des Fahrzeugs abgeschirmt werden, so dass die Blendwirkung der Reflexionen in diesem Fall vernachlässigt werden kann.



4 Beschreibung der Methodik

4.1 Vorbemerkung zu Reflexionen von Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit einachsiger-horizontalen Trackersystemen

Von PV-Anlagen, deren Neigungswinkel mit einem einachsiger-horizontalem Trackersystem der Sonnenhöhe nachgeführt wird, können im Nachföhrbetrieb nur Reflexionen mit positiven Höhenwinkeln ausgehen, die unter den meisten topografischen Bedingungen nicht auf Anlieger oder bodengebundenen Verkehr gerichtet sein können. Hier sind es die Sonnenlichtreflexionen in fest eingestellten Sonderpositionen sowie ggf. beim Backtracking, die bei ungünstig gewählten Einstellungen zu Blendwirkungen föhren können. In Bezug auf den Immissionsschutz heißt das, dass es im Regelbetrieb der Anlage zu keinen anlagenbedingten Lichtimmissionen kommen kann und eine erhebliche Belästigung prinzipbedingt ausgeschlossen ist.

4.2 Berechnung der Reflexionsrichtungen

Für horizontale Richtungsangaben wird die geodätische Azimutangabe verwendet: Norden = 0°, Osten = 90°, Süden = 180° und Westen = 270°.

Für die Reflexionsberechnungen wird der im Regelfall in einem amtlichen UTM-Koordinatensystem erstellte Belegungsplan der geplanten Solaranlage auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete georeferenzierte Plangrundlage in das Programm ProgeCad Professional mit einem Koordinatensystem in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen und ggf. zum Ausgleich der Meridiankonvergenz gedreht. Auf dieser Plangrundlage werden Azimutausrichtung und Neigung der Module unter Berücksichtigung etwaiger Querneigungen sowie die Winkelbeziehungen zu den Immissionsorten ermittelt.

Anschließend werden die Reflexionsrichtungen nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) unter Annahme einer punktförmigen Sonne mit den Sonneneinfallswinkeln am Standort der Anlage berechnet. Die Berechnungsergebnisse werden für 12 Tage im Jahr (jeweils für den 21. jeden Monats) als Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) anschaulich in einem frei einstellbaren Minutenintervall der Tagesganglinien als Reflexionsdiagramm dargestellt.

Abbildung 2 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. Oberhalb des Diagrammbereichs werden angegeben:

- ▶ der Standort der PV-Anlage
- ▶ der untersuchte Bereich der PV-Anlage mit seiner auf geographisch Nord bezogenen Planausrichtung, Planneigung und der baufeldbedingten Querneigung (hier: Anlagenteil: BF_1 mit 180° Ausrichtung, 18° Neigung und 0° Querneigung)
- ▶ der Zeitabstand zwischen zwei Reflexionspunkten (hier: 5 Minuten)
- ▶ die reale Ausrichtung und Neigung unter Berücksichtigung der Querneigung der PV-Tische

Die roten Dreiecke im Diagramm markieren die Reflexionsrichtungen am 21. Juni und die dunkelblauen die am 21. Dezember. Sie markieren damit auch die Grenzwinkel aller möglichen Reflexionsrichtungen. Die eingezeichneten Analemmata für ausgewählte Uhrzeiten geben eine Orientierung hinsichtlich der Tageszeit, an dem die Reflexionen in den betreffenden Bereich gerichtet werden.

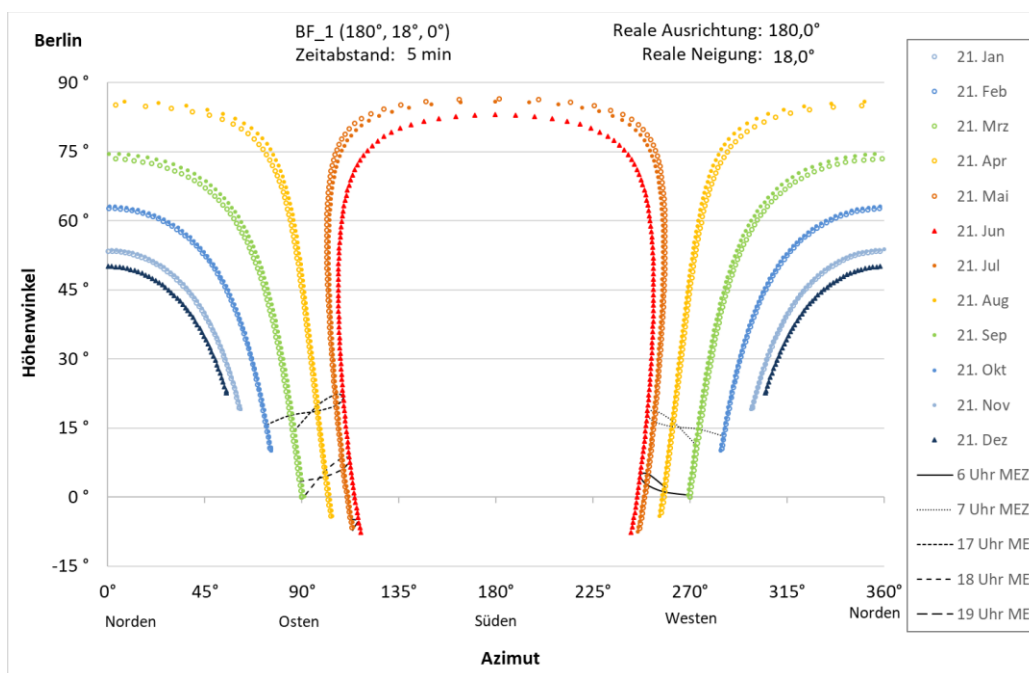


Abbildung 2: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm

4.3 Lichttechnische Berechnungen

Für die Beurteilung von Blendwirkungen werden die Richtung des Reflexionsstrahls, die am Blickpunkt bewirkte Beleuchtungsstärke der Reflexionen (lx) sowie die Leuchtdichte (cd/m^2) und Winkelgröße ($^\circ$) der reflektierenden Fläche im Sehfeld herangezogen.

Die Beleuchtungsstärke der Reflexionen wird aus der horizontalen Beleuchtungsstärke der direkten Sonnenstrahlen, dem Einfallswinkel des Sonnenstrahls auf die Moduloberfläche und dem einfallswinkelabhängigen Reflexionsgrad berechnet. Die horizontale, auf die Erdoberfläche wirkende Beleuchtungsstärke der Sonne wird mit Formel 20 der DIN 5034 Teil 2 für eine geringe atmosphärische Trübung berechnet. Tabelle 1 zeigt die horizontale und die senkrecht zum Sonnenstrahl bewirkte Beleuchtungsstärke in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.

Tabelle 1: Beleuchtungsstärken durch direkte Sonnenstrahlen in Abhängigkeit vom Höhenwinkel der Sonne

Sonnenhöhenwinkel γ_s	horizontale Beleuchtungsstärke E_s	senkrechte Beleuchtungsstärke $E_{\perp}$
10°	7.135 lx	41.091 lx
20°	24.776 lx	72.441 lx
30°	43.571 lx	87.142 lx
40°	61.218 lx	95.239 lx
50°	76.703 lx	100.128 lx
60°	89.367 lx	103.192 lx
65°	94.489 lx	104.257 lx

Für den Reflexionsgrad der PV-Module werden – wenn keine modulspezifischen Werte verfügbar sind – die in Abbildung 3 dargestellten Standardwerte genutzt. Diese sind als Worst-Case einzustufen, da insbesondere bei Modulen mit stark strukturierter Oberfläche der Anteil gerichteter Reflexionen geringer ist, als der meist als hemisphärischer Reflexionsgrad ermittelte Standardwert angibt.

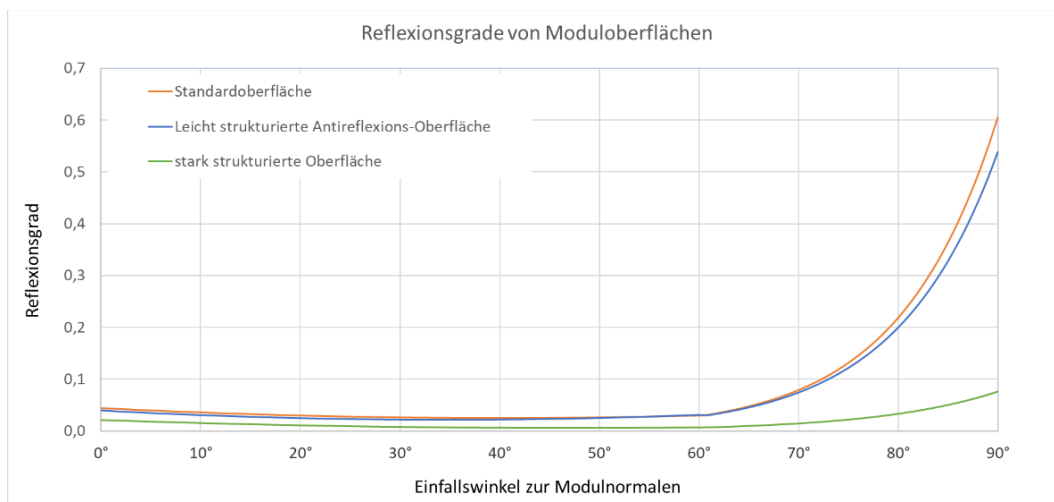


Abbildung 3: Reflexionsgrade von Moduloberflächen nach Sandia 2015

Die mit Hilfe des Reflexionsgrads berechnete Beleuchtungsstärke am Blickpunkt entspricht einem Maximalwert, der unterstellt, dass das gesamte reflektierte Licht auf den Blickpunkt gerichtet wird. Auf Grund diffus gestreuter Lichtanteile und der Bündelaufweitung des konischen Reflexionsstrahls erreicht nicht das gesamte reflektierte Licht eines PV-Moduls den Blickpunkt. Untersuchungen von Bucher et al. zeigen, dass die Bündelaufweitung bei flachen Einfallswinkeln nicht kreisförmig, sondern elliptisch erfolgt. Die lange Seite der Ellipse liegt dabei in Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen, so dass in erster Linie die Winkelhöhe der PV-Anlage im Blickfeld darüber entscheidet, wie viel Licht der Sonnenscheibe in Richtung des Blickpunkts reflektiert werden kann.

Wenn keine modulspezifischen Messwerte zur Bündelaufweitung vorliegen, wird der Öffnungswinkel des konischen Lichtstrahls pauschal mit 5° angesetzt. Für die volle Reflexion des gerichteten, reflektierten Sonnenlichts auf einen Blickpunkt ist damit eine im Vergleich zur Sonne ($0,5^\circ$ Durchmesser) ca. 100-fach größere erscheinende reflektierende Fläche von mehr als 5° Durchmesser im Sehfeld des Beobachters erforderlich.

Aus der Beleuchtungsstärke auf der Moduloberfläche kann mit Hilfe eines messtechnisch ermittelten, winkelabhängigem Leuchtdichtekoeffizienten die Leuchtdichte der reflektierenden Fläche berechnet werden.

4.4 Blickpunktbezogene Blendanalyse

Für die blickpunktbezogene Blendanalyse werden ausgewählte Punkte der reflektierenden Oberflächen als Reflexionspunkte modelliert, typischerweise die vier Eckpunkte aller PV-Tische. Die x-y-z-Koordinaten der Tischkanten werden der Plangrundlage entnommen. Dabei ergeben sich die z-Koordinaten aus der Höhe der Geländeoberkante (GOK) und der Höhe der Unter- und Oberkanten der PV-Module gemäß der Auslegung der Tische. Falls der Belegungsplan keine Höheninformationen beinhaltet, werden ersatzweise Höhendaten des landesspezifischen Geoportals oder einer Pfadvermessung mit Google Earth Pro genutzt.

Für schutzwürdige Nutzungen oder Verkehrsteilnehmer werden repräsentative Blickpunkte im potenziellen Blendbereich der PV-Anlage ermittelt und im Koordinatensystem der Plangrundlage modelliert. Deren z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante zuzüglich der Augenpunkthöhen am Blickpunkt. Dazu werden im Straßenverkehr auf Fernstraßen gemäß den Anforderungen des Fernstraßen-Bundesamts 1 m (PKW) und 2,7 m (LKW) angesetzt, im Schienenverkehr auf Hauptstrecken 2 m bis 4 m. Für schutzwürdige Räume wird die Höhe des Fenstermittelpunkts angesetzt.



Zum Abgleich, ob ein Blickpunkt von den Reflexionen eines Reflexionspunkts erreicht werden kann, wird ein Reflexionsdiagramm für die untersuchten PV-Tische erstellt und um die Sichtbeziehung zwischen den Reflexionspunkten und dem Blickpunkt ergänzt. Dazu werden Azimut und Höhenwinkel des Blickpunkts für jeden Reflexionspunkt berechnet und in das Diagramm aufgenommen. Die minimale und maximale Höhe eines Blickpunkts mit gleichen x-y-Koordinaten werden dabei mit „min“ und „max“ markiert. Zusätzlich werden das zentrale (oranges Oval) und das periphere Blickfeld (graues Oval) von Fahrzeugführenden entgegen der Blickrichtung eingezeichnet.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen für den Straßenverkehr. In diesem Beispiel können von Ende April bis Mitte August gegen 19:30 Sommerzeit (18:30 MEZ) die nach Osten gerichteten Reflexionen einiger PV-Tische in die Blickfelder der Richtung Westen fahrenden Verkehrsteilnehmer gerichtet werden.

Für die Reflexionspunkte, aus deren Sicht die Blickpunkte im Reflexionsbereich liegen, werden die Position der Sonne zum Reflexionszeitpunkt und die lichttechnischen Kenngrößen berechnet. Anhand der Ergebnisse für die potenziell blendwirksamsten Reflexionen wird anschließend geprüft, ob diese eine relevante Blendung mit Auswirkungen auf die Sehaufgabe und die Verkehrssicherheit verursachen können.

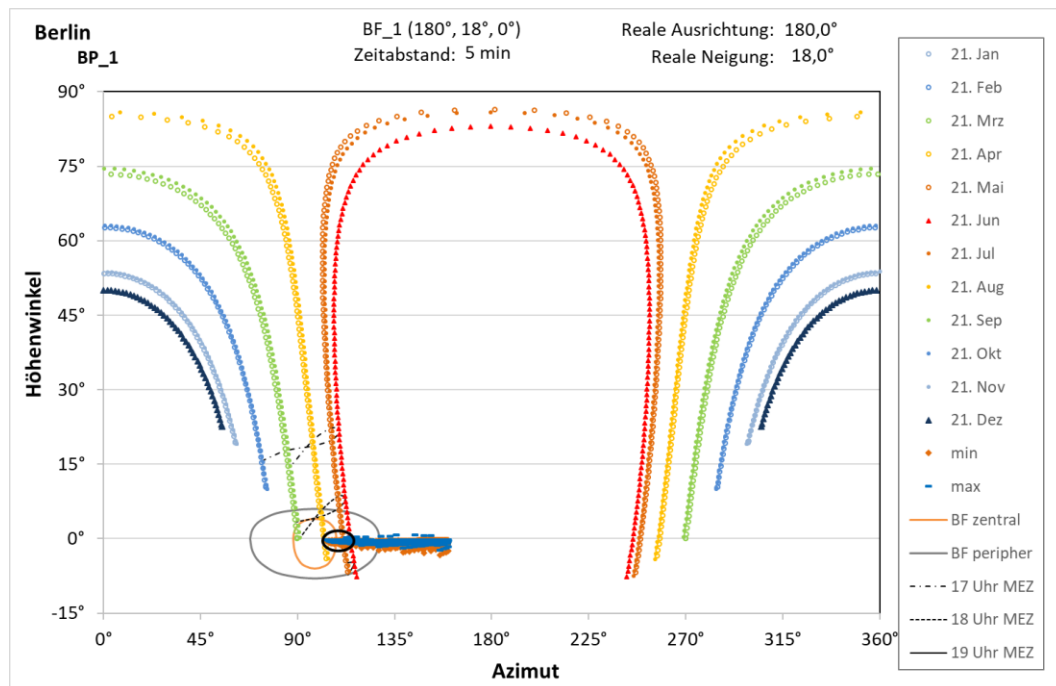


Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden



5 Beschreibung des Plangebiets und der PV-Anlage

Die im Geltungsbereich des Bebauungsplan Nr. 8 „Agri-PV – südlich Hohenholz“ geplante PV-Anlage soll auf einer Belegungsfläche von ca. 90 ha mit einachsiger horizontalen Trackersystemen errichtet werden. Das Plangebiet befindet sich ca. 1 km östlich der Ortslage Krackow und 800 m südwestlich der Ortslage Hohenholz in der Gemarkung Krackow, Flur 107, Flurstücke 20, 21 und 22.

Das Plangebiet der Anlage wird im Süden durch die Kreisstraße K 84 begrenzt. Im Westen, Norden, Osten und Süden schließen sich landwirtschaftliche Flächen an, die von trocken Söllen, Feldhecken und Wirtschaftswegen strukturiert werden. Die Bundesstraße B 113 verläuft in einem Mindestabstand von 125 m westlich und nördlich des Plangebiets, die Autobahn A 11 mit mehr als 1,6 km Abstand südlich davon.

Das Belegungsfeld der PV-Anlage liegt auf einer Höhe von 31 m bis 45 m üNN in einer hügeligen, eiszeitlich geprägten Landschaft. Das Gelände hat keine einheitliche Exposition. Die Hangneigung in der Nord-Süd-Verlaufsrichtung der Achsen der Trackersysteme beträgt $\pm 3^\circ$. Abbildung 5 zeigt die Lage der geplanten PV-Anlage und den Verlauf der mit Modulen belegten Tracker-Reihen.



Abbildung 5: Lage der geplanten PV-Anlage (Mit Modulen belegte Tracker-Reihen in Blau, Einfriedung in Rot)

Die PV-Anlage ist mit einachsiger horizontalen Trackersystemen geplant, die die darauf montierten PV-Module dem astronomischen Sonnenstand nachführen, so dass auf annähernd ebenem Gelände keine bodennahen Reflexionen entstehen. Die Achse des Nachführsystems verläuft in Nord-Süd-Richtung, so dass die Module vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen gerichtet sind.

Die astronomische Nachführung der Trackersysteme wird durch einen Backtracking-Algorithmus ergänzt, der Verschattungen reduziert und den Energieertrag optimiert. In den morgendlichen Backtracking-Phasen werden die Module dann zu Sonnenaufgang aus geringer Neigung bis auf die maximale Neigung von 41° 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



der Sonnenhöhe folgend bis auf maximal 41° Neigung bei Westausrichtung gedreht. Abbildung 6 zeigt das Trackersystem in Horizontalposition und mit der maximalen Neigung von 41°.

Es können nur Betriebszustände außerhalb der astronomischen Nachführung zu einem Blendrisiko führen. Diese Zustände umfassen neben der Backtracking-Regelung die fest eingestellten Sonderpositionen des Trackersystems für Flächen- und Wartungsarbeiten, bei Störungen und bei Sturm.

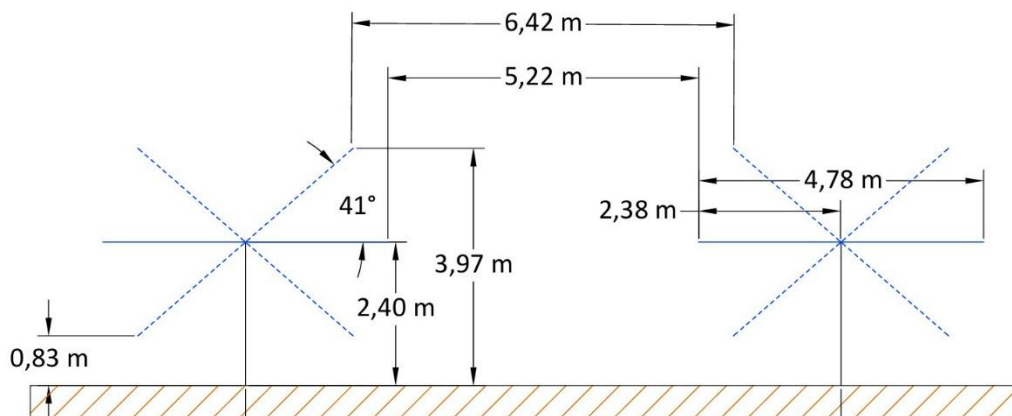


Abbildung 6: Bemaßte Ansicht des Trackersystems, Quelle: Kundenmaterial

Der mit amtlichem Kartenmaterial erstellte Belegungsplan der PV-Anlage sieht eine Azimutausrichtung der PV-Module von 90° Ost und 180° West vor. Die Abweichung des UTM-Koordinatensystems der amtlichen Karten zu geographisch Nord beträgt am Standort der Anlage -0,6°. Bezogen auf geographisch Nord betragen die Planausrichtungen (= ebenes Gelände) der PV-Module damit 89,4° und 179,4°. Die Achsneigung der PV-Tischreihen ist mit $\pm 2^\circ$ zu berücksichtigen.

Die Belegung der Trackersysteme ist mit PV-Modulen in 2P-Konfiguration geplant. Die Höhe der Moduloberfläche in der Horizontalposition beträgt 2,4 m über GOK. Als Module soll der Typ JT SLk(B)-210H132 von Jetion Solar mit gehärteter Glasoberfläche mit Antireflexbeschichtung eingesetzt werden. Die Unterkante der Module liegt bei 41° Neigung 0,8 m und die Oberkante 4,0 m über GOK. Tabelle 2 fasst die Angaben zur PV-Anlage zusammen.

Tabelle 2: Angaben zur PV-Anlage

PV-Anlage:	Agri-PV – südlich Hohenholz
Gemarkung / Standortkoordinaten:	Krackow / N53.341°, E14.293°
Gemeinde / Kreis / Bundesland:	Krackow / Vorpommern-Greifswald / Mecklenburg-Vorpommern
Klassifizierte Straßen (Abstand)	A 11 (> 1.600 m) / B 113 (> 125 m) / K84 (> 17 m)
Höhe des Baugrunds:	31 m üNNH bis 45 m üNNH
Planausrichtung:	269,4° / 89,4°
Planneigung:	Nachführung zwischen 0° und 41°
Achsneigung:	$\pm 3^\circ$
Reihenabstand:	10 m (Achsenabstand)
Unterkonstruktion:	Horizontal-einachsiges Trackersystem mit 2P Belegung
Höhe der Modulkanten:	0,8 m bis 4,0 m über GOK
PV-Module:	Jetion Solar JT SLk(B)-210H132 oder ähnlich



6 Ermittlung blendrelevanter Trackerpositionen

6.1 Vorbetrachtung

Die Augenpunkthöhen auf den umliegenden Verkehrswegen und von Anliegern können auf Grund der topografischen Bedingungen nur von Lichtreflexionen mit bodennahen Höhenwinkeln erreicht werden.

6.2 Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Osten

Abbildung 7 zeigt oben exemplarisch das Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichteten PV-Module mit einer Neigung von 5°. Das Diagramme veranschaulicht, dass in die westliche Hemisphäre keine bodennahen Reflexionen möglich sind, aber nachmittags und abends bodennahe Reflexionen in die östliche Hemisphäre gerichtet werden können. Der Blendbereich reicht von 32° bis 120° Azimut.

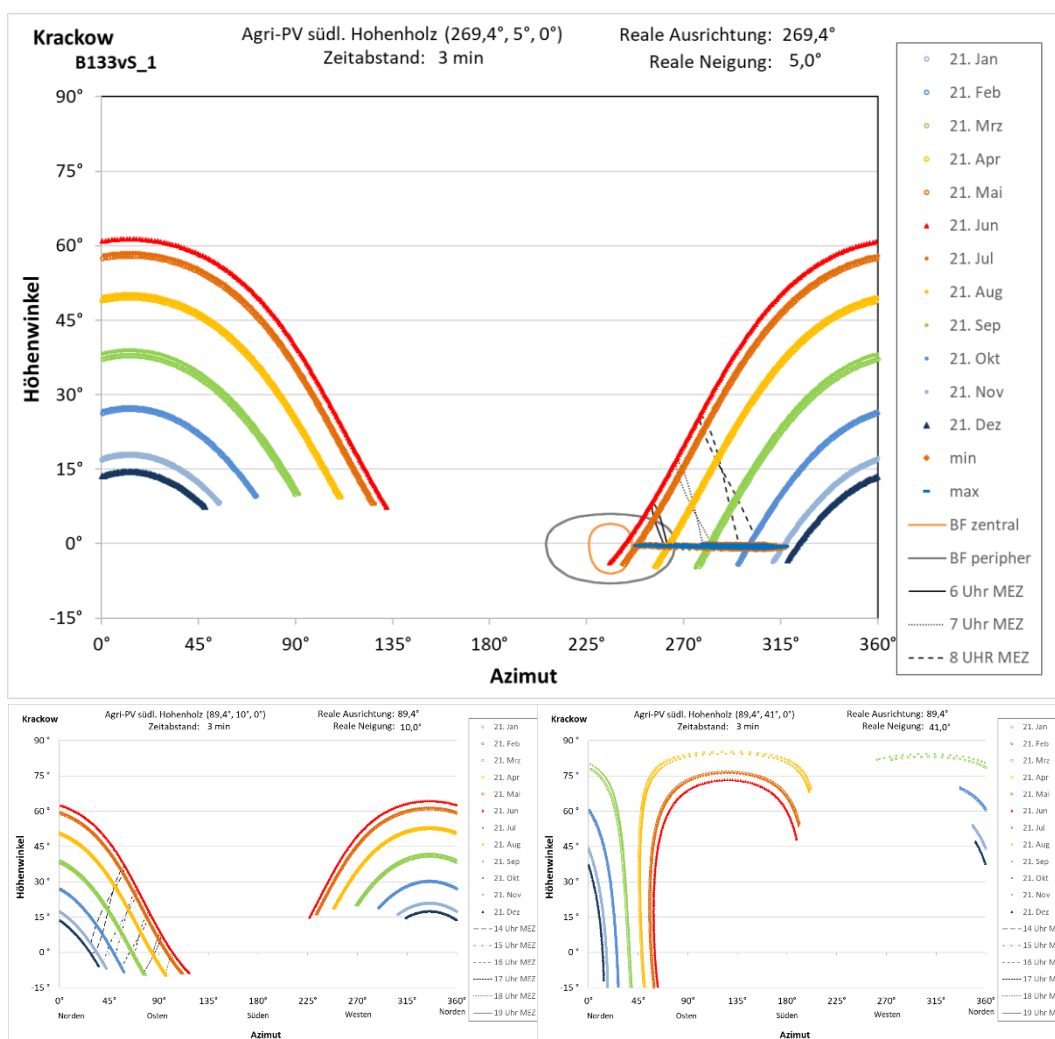


Abbildung 7: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 41° Neigung

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 7 unten zeigen den Einfluss einer zunehmenden Modulneigung auf das Reflexionsgeschehen. Es können weiterhin keine blendrelevanten Reflexionen in die westliche Hemisphäre gerichtet werden. Der Zeitpunkt der in die östliche Hemisphäre gerichteten bodennahen Reflexionen verschiebt sich auf eine frühere Tageszeit mit größerem Abstandswinkel zur Sonne, während der Azimutbereich nach Norden wandert.



Abbildung 8 zeigt die Auswirkungen einer geneigten Drehachse auf das Reflexionsgeschehen. Das obere Diagramm zeigt die Reflexionsrichtungen für ostausgerichtete PV-Module mit 3° Neigung nach Süden (oben) und das untere die bei einer Neigung von 3° nach Norden.

Der Worst-Case für potenziell blendwirksame Reflexionen ostausgerichteter Module umfasst insgesamt den Azimutbereich von 15° bis 124°.

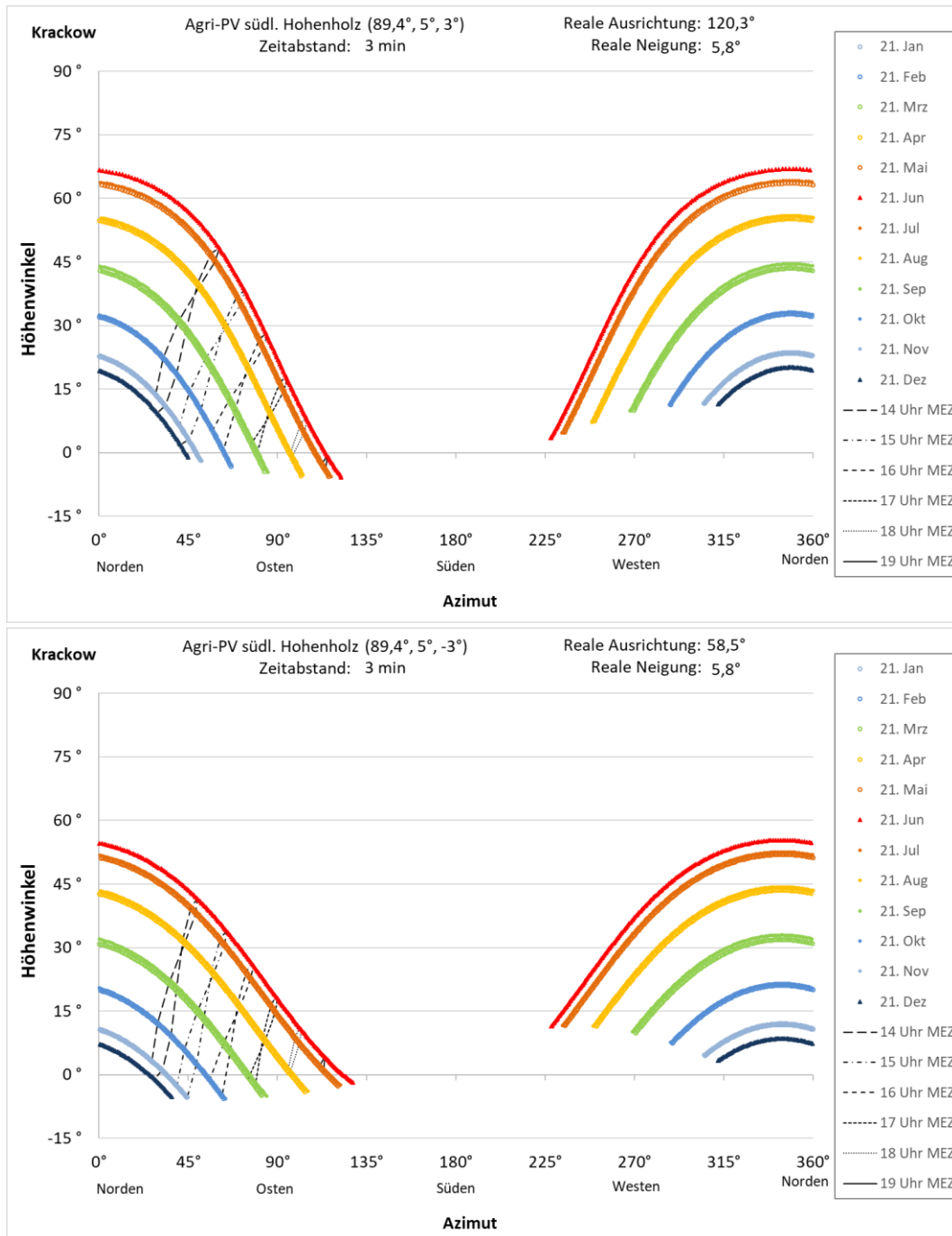


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit um 3° nach Süden (oben) resp. Norden (unten) geneigter Drehachse

Abbildung 9 zeigt die Azimutbereiche bodennaher Reflexionen für ostausgerichtete PV-Module in Sonderpositionen. Die Reflexionsrichtungen sind als gelbe Winkel mit einer Schenkellänge von 300 m an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage angetragen.



Die bodennahen Reflexionen können bei unterstellter Sichtbarkeit der PV-Module in der zweiten Tageshälfte in Richtung der Fahrzeugführenden aus nordöstlicher Richtung auf der B 113, sowie aus östlicher Richtung auf den Verkehr auf der K 84 und der A 11 gerichtet werden.



Abbildung 9: Azimutrichtungen bodennaher Reflexionen für ostausgerichtete PV-Module (gelbe Winkel mit 300 m Schenkellänge), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage

6.3 Blendrichtungen bei Ausrichtung nach Westen

Abbildung 10 zeigt oben exemplarisch das Reflexionsdiagramm für nach Osten ausgerichteten PV-Module mit einer Neigung von 5°. Das Diagramm veranschaulicht, dass in die östliche Hemisphäre keine bodennahen Reflexionen möglich sind, aber morgens bodennahe Reflexionen in die westliche Hemisphäre gerichtet werden können. Der westliche Blendbereich reicht von 238° bis 330° Azimut. Ein Blendrisiko kann nur außerhalb des Nachführungsregimes entstehen.

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 10 unten zeigen den Einfluss einer zunehmenden Modulneigung auf das Reflexionsgeschehen. Der Zeitpunkt der in die westliche Hemisphäre gerichteten bodennahen Reflexionen verschiebt sich auf eine spätere Tageszeit mit größerem Abstandswinkel zur Sonne, während der Azimutbereich nach Norden wandert.

Die Berücksichtigung der möglichen Achsneigungen führt zu einem Worst-Case Azimutbereich bodennaher Reflexionen von 235° bis 345°.

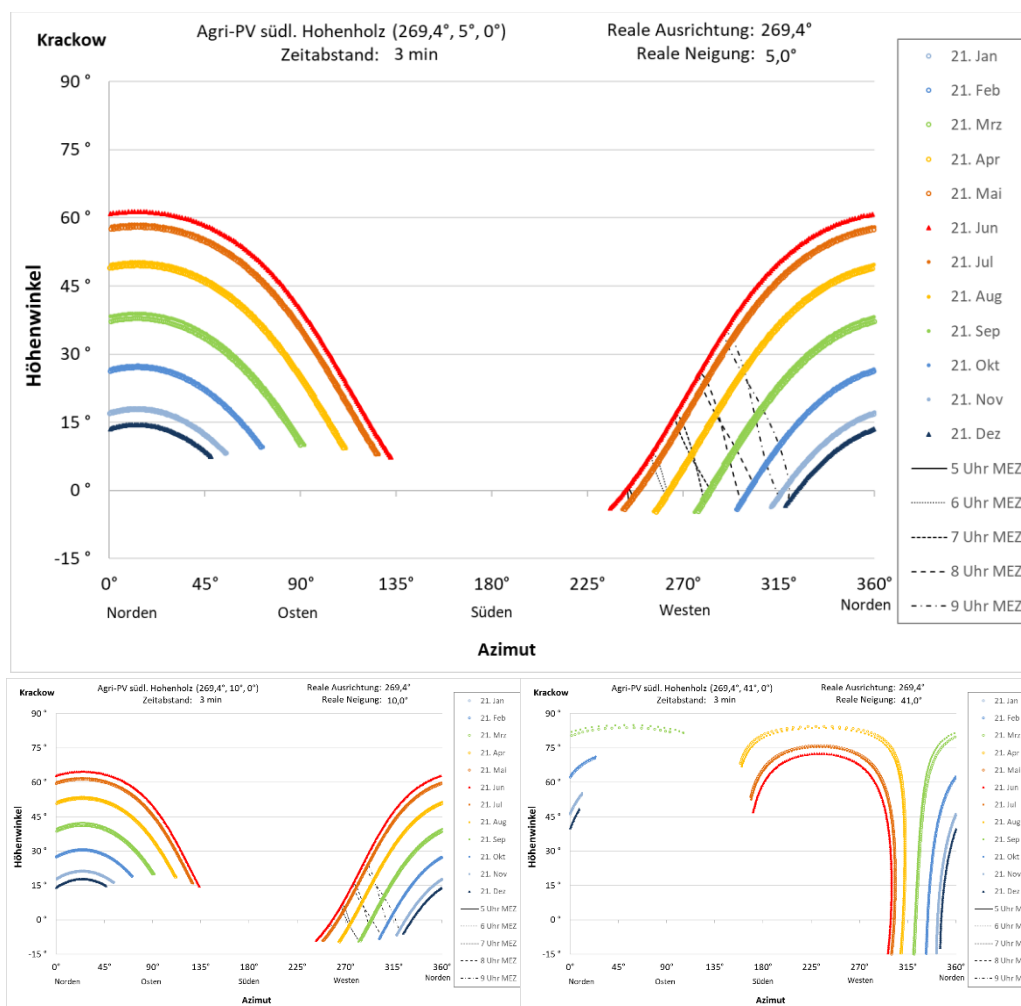


Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 41° Neigung

Abbildung 11 zeigt die Azimutbereiche bodennaher Reflexionen für westausgerichtete PV-Module in Sonderpositionen als gelbe Winkel mit einer Schenkellänge von 300 m, angetragen an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage. Die bodennahen Reflexionen können bei unterstellter Sichtbarkeit der PV-Module in der zweiten Tageshälfte in Richtung der Fahrzeugführenden aus südwestlicher Richtung auf der B 113, sowie aus westlicher Richtung auf der K 84 gerichtet werden.

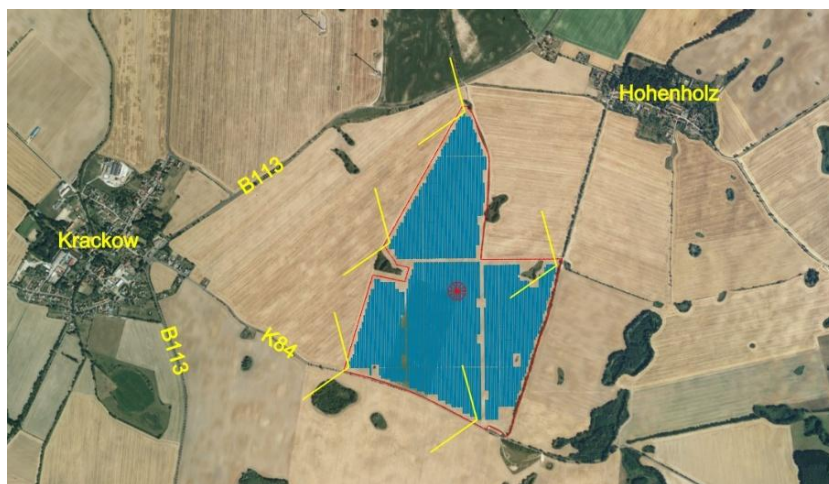


Abbildung 11: Azimutrichtungen bodennaher Reflexionen für westausgerichtete PV-Module (gelbe Winkel mit 300 m Schenkellänge), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage



6.4 Blendrichtungen in Horizontalposition

Abbildung 12 zeigt das Reflexionsdiagramm (oben) für PV-Module in Horizontalposition. Das Diagramm veranschaulicht, dass bodennahe Reflexionen nur mit einem geringem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 5° möglich sind, die keine Blendwirkungen hervorrufen können, da das Helligkeitsgeschehen durch die aus gleicher Richtung scheinende Sonne dominiert wird. Diese ist bis zu einer Höhe von 5° auch nicht durch den Einsatz der fahrzeugseitigen Sonnenblenden abzuschirmen. Auch unter Berücksichtigung der möglichen Achsneigungen der Trackersysteme entstehen keine potenziell blendwirksamen Reflexionen.

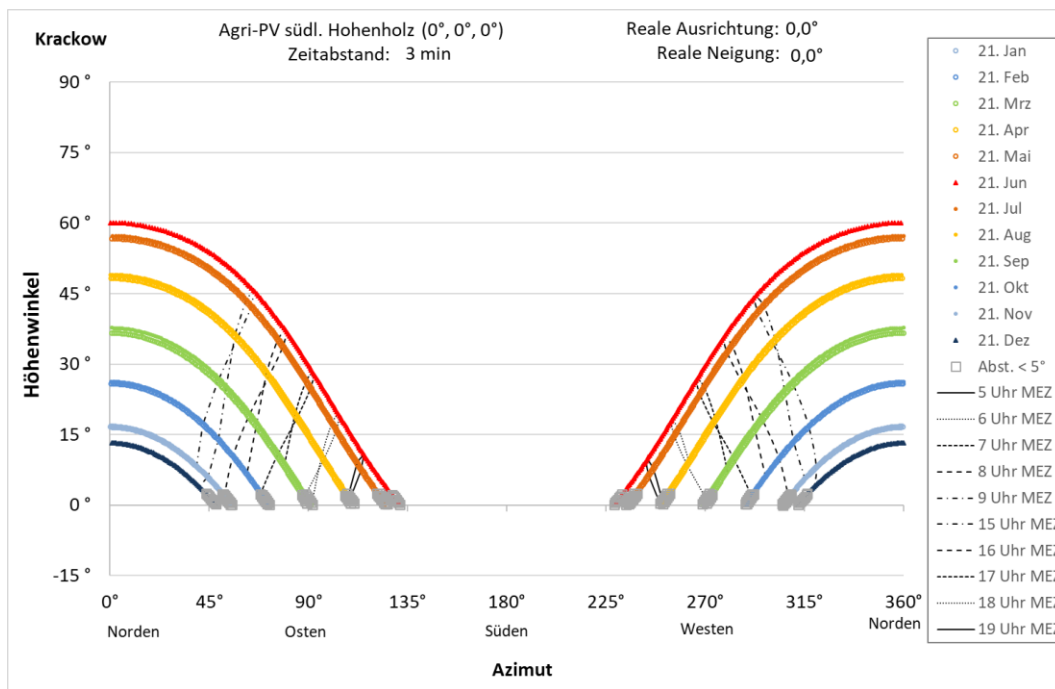


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für PV-Module in Horizontalstellung (oben) mit grauer Umrandung der Reflexionspunkte, die einen Abstandswinkel zu den Sonnenstrahlen von weniger als 5° aufweisen.



7 Blendrisiken für den Straßenverkehr in Sonderpositionen

7.1 Bundesstraße B 113

7.1.1 Auswahl der Blickpunkte und Modellierung

Die Bundesstraße B 113 führt von der Anschlussstelle Penkun der A 11 in nördliche Richtung nach Krackow. Auf diesem Streckenabschnitt befindet sich die PV-Anlage außerhalb der Blickfelder der Fahrzeugführenden. In Krackow schwenkt die Straße in nordöstliche Richtung. Am Ortsausgang geraten die nordwestlichen Tracker-Reihen rechts der Straße für einen ca. 1 km langen Streckabschnitt (56° Azimutfahrtrichtung) in das periphere Blickfeld. Nach dem Durchfahren einer Rechtskurve gelangen die nördlichen Reihenabschlüsse bei einer Azimutfahrtrichtung von 88° nochmals für einen ca. 100 m langen Streckenabschnitt in das zentrale Blickfeld, bevor eine Linkskurve an dem nördlichen Reihenabschluss der PV-Anlage vorbeiführt. Für den Verkehr aus nordöstlicher Richtung ist für zwei Blickpunkte zu prüfen, bei welchen Neigungswinkeln westausgerichtete PV-Module blendwirksame Reflexionen auf die Fahrzeugführenden richten können.

Aus nördlicher Richtung nähert sich die B 113 mit einer Azimutfahrtrichtung von 212° bis 225° der Abzweigung nach Hohenholz. Der Blick auf die PV-Anlage ist durch die Gebäude am Lindendamm verdeckt. Kurz vor dem Knotenpunkt mit der Lindenstraße werden die nordwestlichen Tracker-Reihen im zentralen Blickfeld der Fahrzeugführenden sichtbar. Mit dem Durchfahren einer Rechtskurve wandern die Tracker-Reihen ins periphere Blickfeld. Es ist für zwei Blickpunkte zu prüfen, bei welchen Neigungen westausgerichtete Module blendwirksame Reflexionen auf die Fahrzeugführenden richten können.

Für die PV-Anlage werden die Endpunkte der einzelnen Tracker-Reihen entsprechend der Neigungseinstellung mit der Höhe der Modulunter- und -oberkanten modelliert. Abbildung 13 zeigt die gewählten Blickpunkte und Tabelle 3 dokumentiert deren modellierten Koordinaten und Blickrichtung.

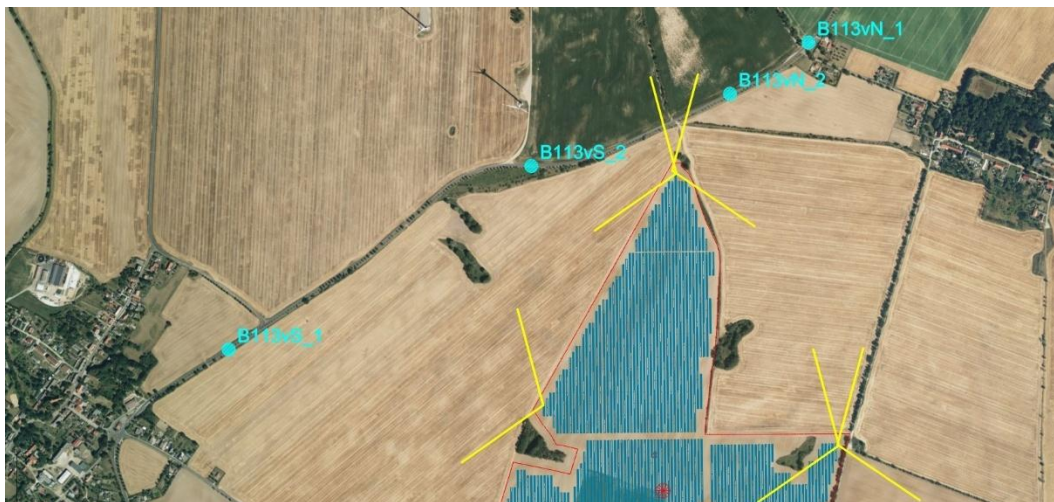


Abbildung 13: Blickpunkte für die Bundesstraße B 113

Tabelle 3 : Koordinaten und Blickrichtung der modellierten Blickpunkte für die B 113

Blickpunkt	x in m	y in m	z in m (GOK)	z_min in m	z_max in m	Blickrichtung
B133vS_1	-1302	423,1	28,3	29,3	31	56,0 °
B133vS_2	-394,7	972,7	31	32	33,7	88,0 °
B133vN_1	437	1342,3	39	40	41,7	224,0 °
B133vN_2	201,2	1188,7	36,5	37,5	39,2	245,0 °



7.1.2 Verkehr aus südwestlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B113vS_1 in Abbildung 14 oben zeigt, dass von Mitte April bis Ende Mai und zwischen Mitte Juli und Ende August zwischen 6:00 Uhr und 7:15 Uhr Sommerzeit Reflexionen in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden können. Die Reflexionen führen bei einem Differenzwinkel von 12° zur Blickachse der Fahrzeugführenden mit wirksamen Beleuchtungsstärken von < 100 lx zu keiner relevanten Blendwirkung.

Bei einer Neigungseinstellung von 10° (Abbildung 14 unten links) weisen die potenziell wirksamsten Reflexionen einen Differenzwinkel von mehr als 20° zur Blickrichtung auf. Bei 41° Neigung (Abbildung 14 unten rechts) sind keine Reflexionen in die Blickfelder der Fahrzeugführenden möglich.

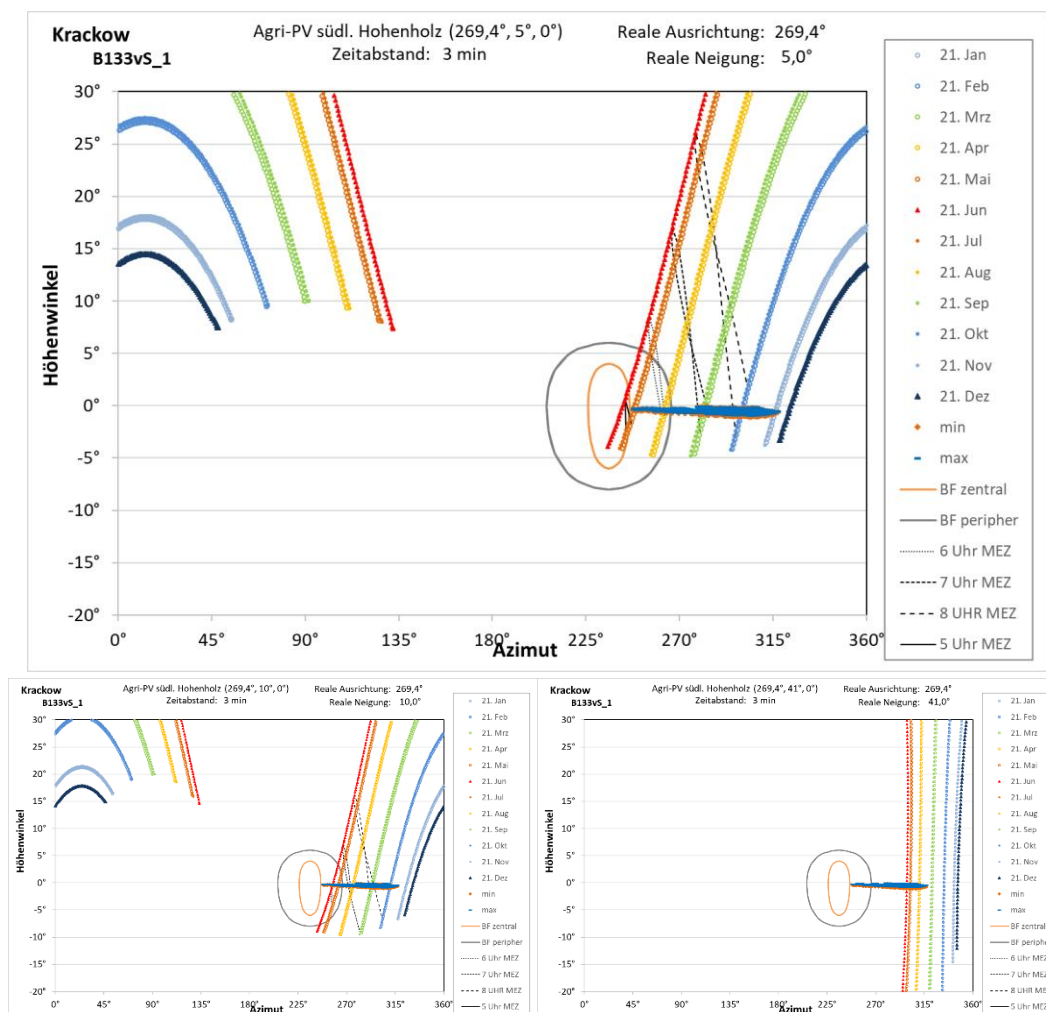


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vS_1

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B113vS_2 in Abbildung 15 oben zeigt, dass im März/April und im September zwischen 7:30 Uhr und 8:00 Uhr Sommerzeit Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden können, die mit einem Differenzwinkel zur Blickachse von 3,5° und einer Winkelhöhe im Sichtfeld von weniger als 0,5° eine Beleuchtungsstärke von weniger als 100 lx bewirken können, während die Morgensonne auf einer Höhe von ca. 9° über der reflektierenden Fläche steht. Bei einer Neigungseinstellung von 10° (Abbildung 14 unten links) ist die reflektierende Fläche auf Grund des zu den späteren Reflexionszeiten höheren Sonnenstands heller und auf Grund des größeren Abstands zwischen Unter- und Oberkante der Module auch größer. Bei 41° Neigung (Abbildung 14 unten rechts) sind keine Reflexionen auf die Augen der Fahrzeugführenden möglich.

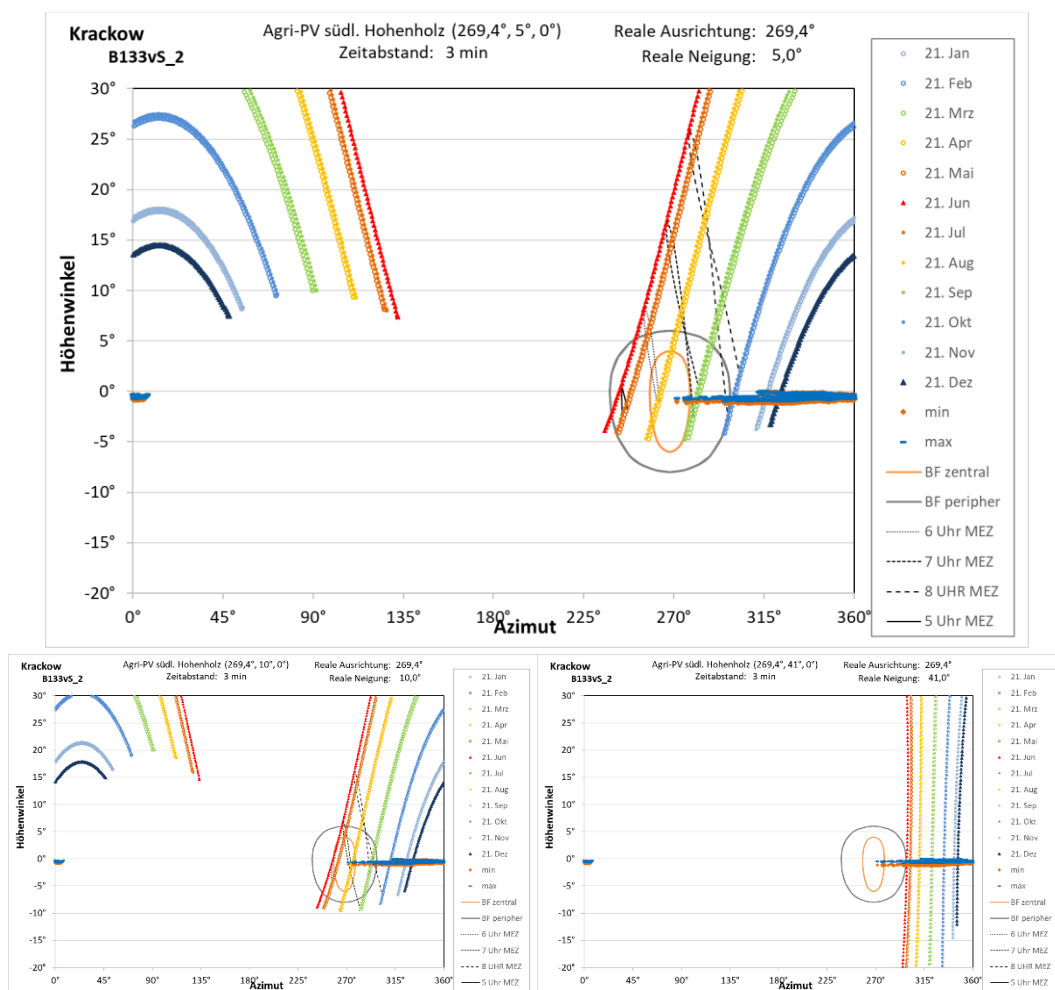


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vS_2

Tabelle 4 dokumentiert die bewertungsrelevanten Berechnungsergebnisse. Am Blickpunkt B113vS_1 auf dem ca. 1 km langen Streckenabschnitt nordöstlich von Krackow können Reflexionen der nordwestlichsten Tracker-reihen in das periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden. Am Blickpunkt B113vS_2, auf dem ca. 100 m langen Streckenabschnitt ausgangs der Rechtskurve können bei geringer Neigung Reflexionen der nördlichsten Tracker-Reihen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden, die ab einer Neigung von ca. 7° ein geringes Risiko für eine relevante Absolutblendung bewirken. Die dauerhaft bestehenden Gehölzstrukturen (Abbildung 16) bieten in der belaubten Periode einen hinreichenden Sichtschutz, so dass auch für Neigungen von mehr als 7° faktisch keine Blendrisiken bestehen.

Tabelle 4: Bewertungsrelevante Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der B 113 aus Südwest

Reflexion	Azimutdifferenz Blickachse zu Reflexion	Höhenwinkel Reflexion	Beleuchtungsstärke der Reflexion bei Abbildung der vollen Sonnenscheibe	Winkelhöhe der PV- Anlage im Sichtfeld	Beleuchtungsstärke der Reflexionen am Auge	Sonnenhöhe zum Reflexionszeitpunkt	Azimutdifferenz Blickachse zu Sonne	Winkel Sonne zur Modulnormale
B113vS1_5°West	12,2°	-0,3°	1.065 lx	0,3°	< 100 lx	9,0°	11,9°	85,8°
B113vS1_10°West	20,5°	-0,3°	2.685 lx	0,4°	< 300 lx	19,2°	19,8°	80,5°
B113vS2_5°West	3,5°	-0,7	1.103 lx	0,5°	< 100 lx	9,3°	3,6°	85,7°
B113vS2_10°West	3,5°	-0,6	2.693 lx	0,5°	< 300 lx	19,3°	3,6°	80,7°



Abbildung 16. Blick in Fahrtrichtung am Blickpunkt B113vS_2; Quelle: Apple Karten

7.1.3 Verkehr aus nordöstlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung am Blickpunkt B113vN_1 in Abbildung 17 oben zeigt, dass von Mitte November bis Ende Januar gegen 15 Uhr Winterzeit Reflexionen der mehr als 500 m entfernten nördlichsten Tracker-Reihen in das zentrale Blickfeld gerichtet werden können. Die Reflexionen bewirken zur Wintersonnenwende eine Beleuchtungsstärke von < 50 lx, während die Sonne auf 6° Höhe über der reflektierenden Fläche steht. Bei Neigungen von 10° und 41° (Abbildung 17 unten) liegt der Reflexionszeitraum früher am Tag und die Beleuchtungsstärke ist höher.

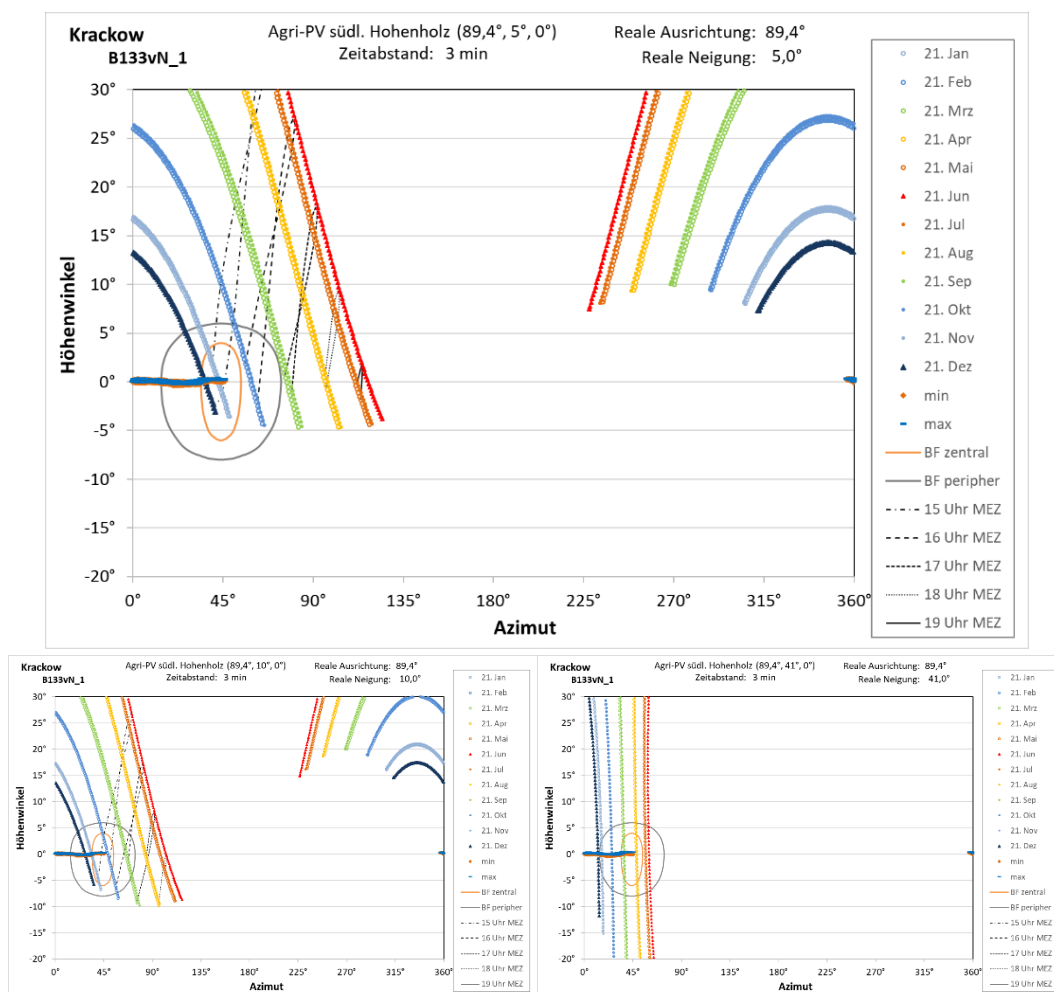


Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vN_1



Die Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module am Blickpunkt B133vN_2 in Abbildung 18 zeigen, dass die Blickfelder der Fahrzeugführenden frei von Reflexionen bleiben.

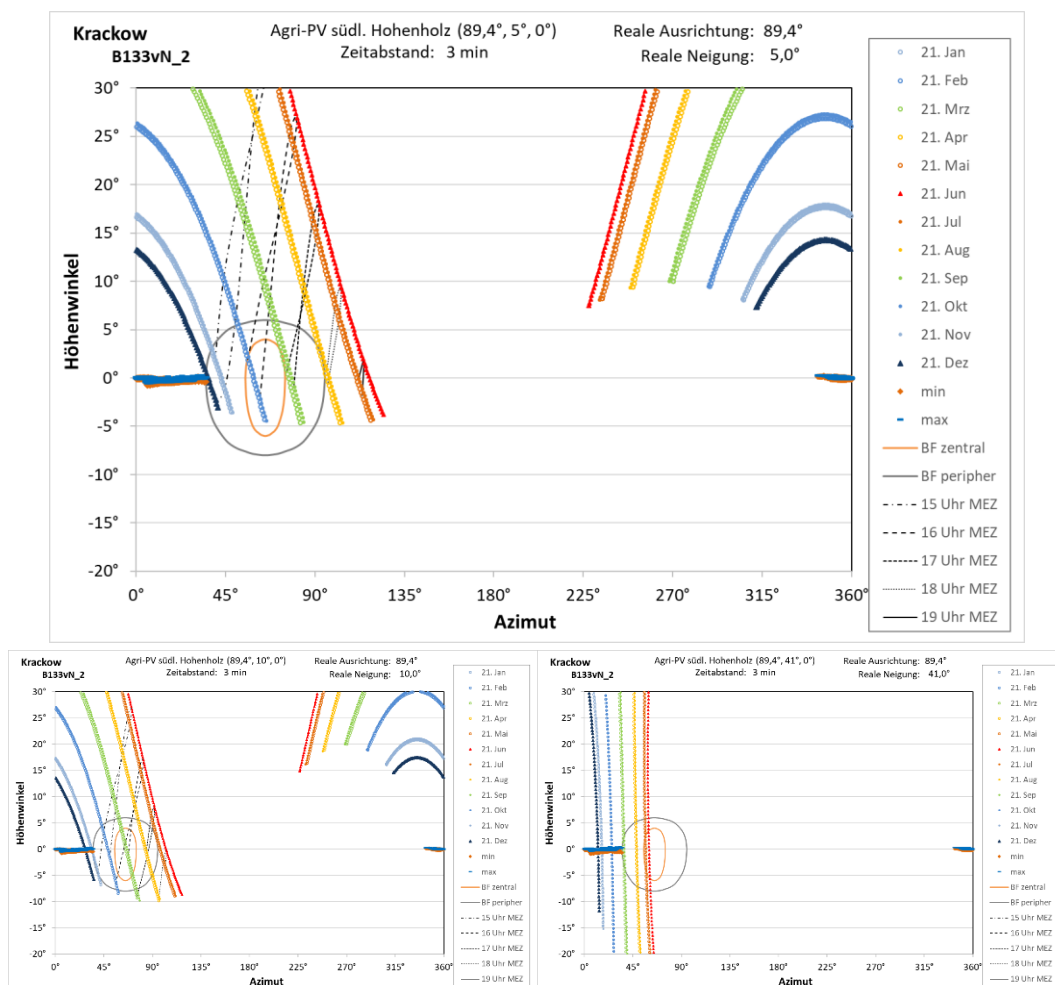


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vN_2

Tabelle 5 dokumentiert die Berechnungsergebnisse für die potenziell blendwirksamsten Reflexionen in die Blickfelder der Fahrzeugführenden an den untersuchten Blickpunkten. Am Blickpunkt B113vN_1, der den Bereich um den Knotenpunkt mit der Lindenallee repräsentiert, können Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden, die ab einer Neigung von 10° zu relevanten Blendwirkungen führen können. Am Blickpunkt B11vN_1 können keine Reflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld gerichtet werden, so dass keine Blendrisiken entstehen.

Tabelle 5: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der B 113 aus Nordost

Reflexion	Azimutdifferenz Blickachse zu Reflexion	Höhenwinkel Reflexion	Beleuchtungsstärke der Reflexion bei Abbildung der vollen Sonnenscheibe	Winkelhöhe der PV- Anlage im Sichtfeld	Beleuchtungsstärke der Reflexionen am Auge	Sonnenhöhe zum Reflexionszeitpunkt	Azimutdifferenz Blickachse zu Sonne	Winkel Sonne zur Modulnormale
B113vN1_5°Ost	0,0°	0,3°	726 lx	0,1°	< 50 lx	7,3°	0,4°	86,2°
B113vN1_10°Ost	0,0°	0,3°	1.442 lx	0,3°	< 150 lx	10,7°	1,6°	84,6°
B113vN1_41°Ost	1,0°	0,3	1.580 lx	0,2°	< 400 lx	45,1°	37,0°	62,2°



7.2 Kreisstraße K 84

7.2.1 Auswahl der Blickpunkte und Modellierung

Die Kreisstraße K 84 führt von Krackow in östliche Richtung mit Blick auf die südwestlichen Tracker-Reihen zum südlichen Rand des Plangebiets und mit einem Abstand von ca. 20 m zu den Tracker-Reihen an diesem entlang. Aus der Gegenrichtung werden die Tracker-Reihen durch dauerhaft angelegte Gehölzstrukturen bis zum Durchfahren der S-Kurve in ca. 300 m Entfernung zur Anlage verdeckt. Aus dieser Richtung gerät der Verkehr erst mit dem Erreichen des Plangebiets in den potenziellen Blendbereich der Reflexionen. Es ist für einen Blickpunkt je Fahrtrichtung zu prüfen, bei welchen Neigungswinkeln die west- (Fahrtrichtung Osten) oder ostausgerichteten (Fahrtrichtung Westen) PV-Module blendwirksame Reflexionen auf die Fahrzeugführenden richten können.

Abbildung 19 zeigt die gewählten Blickpunkte und Tabelle 6 dokumentiert deren modellierten Koordinaten und Blickrichtung.



Abbildung 19: Blickpunkte für die Kreisstraße K 84

Tabelle 6 : Koordinaten und Blickrichtung der modellierten Blickpunkte für die B 113

Blickpunkt	x in m	y in m	z in m (GOK)	z_min in m	z_max in m	Blickrichtung
K84vW	-1062,3	-204,9	26	27	28,7	112,0 °
K84vO	125,4	-723,8	33	34	35,7	298,0 °

7.2.2 Verkehr aus westlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm für westausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung am Blickpunkt K84vW in Abbildung 20 oben zeigt, dass im Februar/März und September/Oktober zwischen 7:00 Uhr und 7:30 Uhr Winterzeit Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden können. Die Reflexionen bewirken bei einem Differenzwinkel zur Blickachse der Fahrzeugführenden von 1,5° eine Beleuchtungsstärke von weniger als 100 lx an den Augen der Fahrzeugführenden.

Bei einer Neigungseinstellung von 10° (Abbildung 20 unten links) weisen die nun im März/April und August/September in das zentrale Blickfeld gerichteten Reflexionen eine deutlich höhere Beleuchtungsstärke von bis zu 600 lx auf und auch die reflektierende Fläche wird größer. Bei 41° Neigung (Abbildung 20 unten rechts) sind keine Reflexionen in die Blickfelder der Fahrzeugführenden möglich.

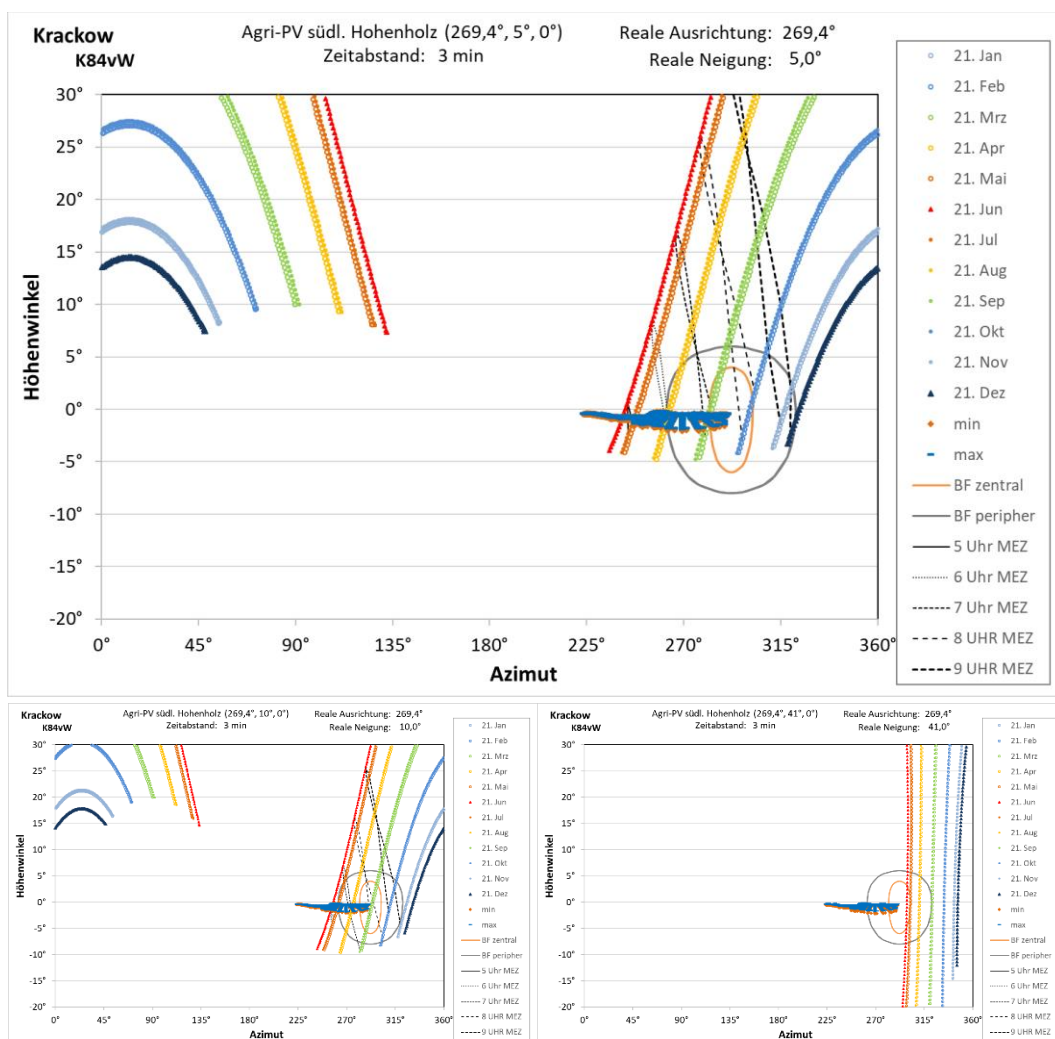


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt K84vW

Tabelle 7 dokumentiert die bewertungsrelevanten lichttechnischen Berechnungsergebnisse. Am Blickpunkt K84vW in 1 km Entfernung zur Anlage, können in den untersuchten Sonderpositionen mit Westausrichtung der PV-Module bei niedrigen Neigungswinkeln Reflexionen der südwestlichen Tracker-Reihen der PV-Anlage in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden. Mit der Weiterfahrt in westliche Richtung ändert sich die Azimutfahrtrichtung mehrmals um einige Grad, so dass die Reflexionen auf einigen Streckabschnitten direkt auf der Blickachse liegen. Mit zunehmender Annäherung wird die Winkelgröße der reflektierenden Fläche wegen der Bündelaufweitung der Reflexionen größer und die wirksame Beleuchtungsstärke steigt an. Damit besteht auch für geringe Neigungseinstellung ein relevantes Blendrisiko.

Tabelle 7: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der K 84 aus Westen

Reflexion	Azimutdifferenz Blickachse zu Reflexion	Höhenwinkel Reflexion	Beleuchtungsstärke der Reflexion bei Abbildung der vollen Sonnenscheibe	Winkelhöhe der PV- Anlage im Sichtfeld	Beleuchtungsstärke der Reflexionen am Auge	Sonnenhöhe zum Reflexionszeitpunkt	Azimutdifferenz Blickachse zu Sonne	Winkel Sonne zur Modulnormale
K84vW_5°West	1,5°	-0,4°	1.037 lx	0,3°	< 100 lx	8,9°	1,3°	85,7°
K84vW_10°West	1,5°	-0,4°	2.591 lx	1,0°	< 600 lx	19,2°	19,8°	80,5°



7.2.3 Verkehr aus östlicher Richtung

Das Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit 5° Neigung am Blickpunkt K84vO in Abbildung 21 oben zeigt, dass zur Sommersonnenwende kurz nach 20:00 Uhr Sommerzeit Lichtreflexionen in das zentrale Blickfeld gerichtet werden können. Die Reflexionen in das zentrale Blickfeld stammen von den 660 m bis 780 m entfernten südlichen Reihenabschlüssen und weisen eine Winkelhöhe von weniger als 0,1° auf. Bei einer Neigung von 7° (Abbildung 21) können auch unter Berücksichtigung der Bündelaufweitung keine Reflexionen mehr auf die Fahrzeugführenden gerichtet werden.

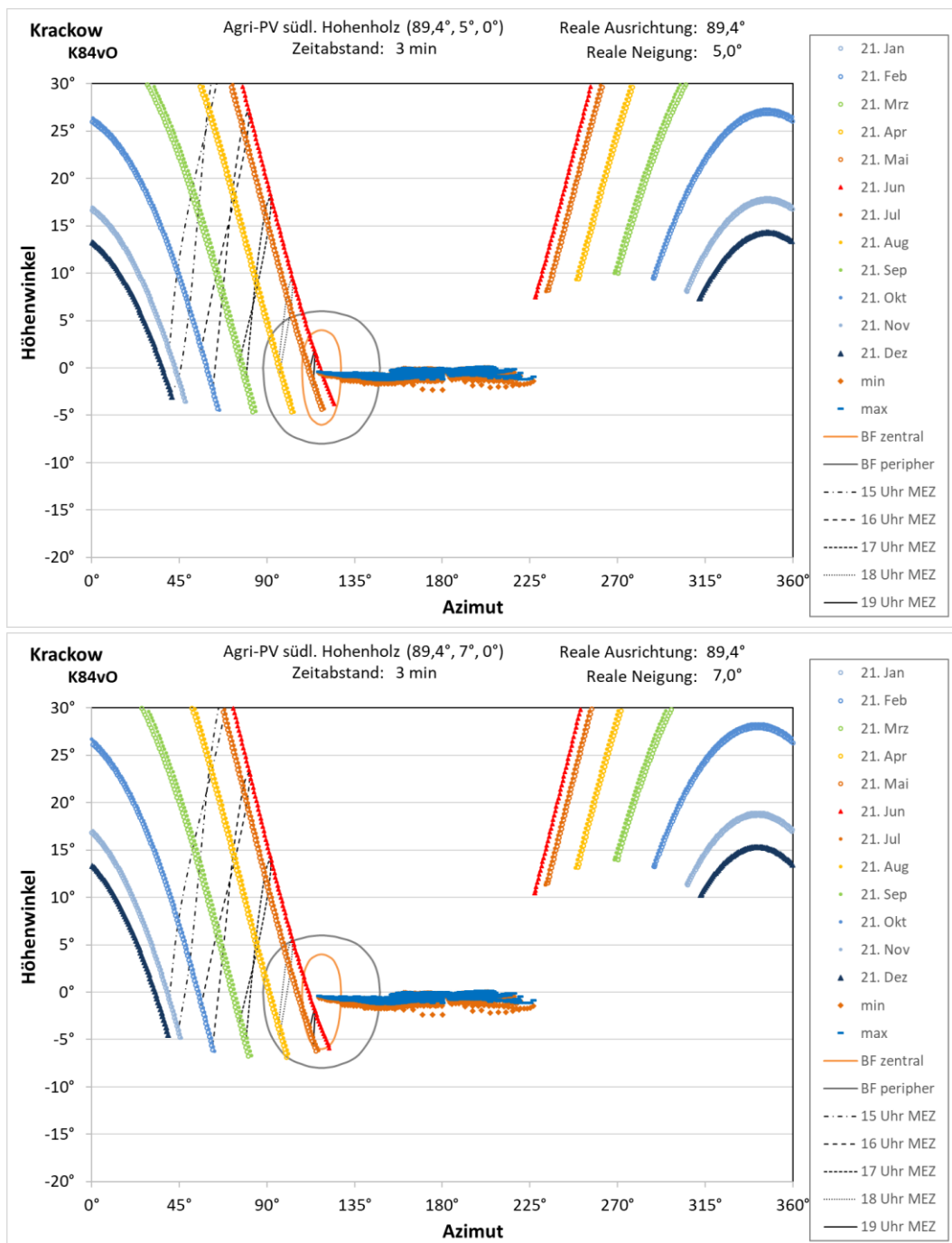


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5° und 7° Neigung am Blickpunkt K84vO

Tabelle 8 dokumentiert die Berechnungsergebnisse für die potenziell blendwirksamsten Reflexionen in die Blickfelder der Fahrzeugführenden am untersuchten Blickpunkt. Die Reflexionen am Beginn des ca. 300 m



langen gradlinigen Streckenabschnitts stammen von den 660 m bis 780 m entfernten südlichen Abschlüssen der Tracker-Reihen. Sie führen mit einer Winkelhöhe von $< 0,1^\circ$ und einer wirksamen Beleuchtungsstärke von $< 50 \text{ lx}$ zu keiner relevanten Blendwirkung an den vollständig tageslichtadaptierten Augen der Fahrzeugführenden. Zudem steht die Sonne in gleicher Richtung auf einer geringen Höhe von ca. 8° unmittelbar über der reflektierenden Fläche und überstrahlt die Reflexionen. Im weiteren Streckenverlauf wird die Winkelhöhe der reflektierenden Fläche im Blickfeld größer und die wirksame Beleuchtungsstärke steigt an, so dass ein geringes Blendrisiko erkennbar wird, bis die PV-Anlage mit dem Einsetzen der folgenden Linkskurve aus dem Blickfeld wandert. Bei einer Neigungseinstellung der ostausgerichteten PV-Module von 7° oder mehr können keine Reflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet werden, so dass keine Blendrisiken entstehen.

Tabelle 8: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der K 84 aus Osten

Reflexion	Azimutdifferenz Blickachse zu Reflexion	Höhenwinkel Reflexion	Beleuchtungsstärke der Reflexion bei Abbildung der vollen Sonnenscheibe	Winkelhöhe der PV- Anlage im Sichtfeld	Beleuchtungsstärke der Reflexionen am Auge	Sonnenhöhe zum Reflexionszeitpunkt	Azimutdifferenz Blickachse zu Sonne	Winkel Sonne zur Modulnormale
K84vO_5°Ost	$0,3^\circ$	$-0,5^\circ$	903 lx	$0,1^\circ$	$< 50 \text{ lx}$	$8,3^\circ$	$0,6^\circ$	$86,1^\circ$

7.3 Autobahn A 11

Die Autobahn A 11 verläuft in einem Abstand von mehr als 1,6 km südlich des Plangebiets der PV-Anlage. Die Anlage ist für beide Fahrtrichtungen zu keinem Zeitpunkt im zentralen oder peripheren Blickfeld der Fahrzeugführenden sichtbar, so dass keine Reflexionen in deren Blickfelder gerichtet werden können.

Es entstehen in keiner Sonderposition des Trackersystems Blendrisiken für den Verkehr auf der A 11.



8 *Blendrisiken für die Ortslagen*

8.1 *Ortslage Krackow*

Die ca. 1 km westlich der PV-Anlage befindliche Ortslage Krackow liegt auf einer Höhe von 25 m üNN bis 31 m üNN und damit tiefer als die PV-Module. Während des Regelbetriebs der Trackersysteme können keine nach unten gerichteten (= negative Höhenwinkel) Reflexionen entstehen, so dass die Anwohner in Krackow nicht von Reflexionen betroffen werden können. Auch für die Sonderpositionen mit Ausrichtung der PV-Module nach Osten und in der Horizontalposition können keine Reflexionen auf die Ortslage gerichtet werden. Ein Blendrisiko besteht ausschließlich für Sonderpositionen der Trackersysteme mit Ausrichtung nach Westen.

In den nach Westen ausgerichteten Sonderpositionen können abhängig von der Neigungseinstellung kurzzeitig Sonnenlichtreflexionen auf die Ortslage Krackow gerichtet werden. Auf Grund der Entfernung und der damit aus Sicht der Anlieger in Krackow verbundenen geringen Winkelhöhe der Anlage bestünde die Blendsituation nur für wenige Minuten am Morgen. Sonderpositionen werden nur kurzzeitig für Flächen- und Wartungsarbeiten sowie bei Sturm eingestellt, so dass keine relevanten Blendzeiträume entstehen.

8.2 *Ortslage Hohenholz*

Die ca. 750 m nordnordöstlich der PV-Anlage befindliche Ortslage Hohenholz liegt auf einer Höhe von 38 m üNN bis 41 m üNN und damit auf gleichem Höhengniveau wie die PV-Module. Während des Regelbetriebs der Trackersysteme können keine bodennahen Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen, so dass die Anwohner in Hohenholz nicht von Reflexionen betroffen werden können. Auch für die Sonderpositionen mit Ausrichtung der PV-Module nach Westen und in der Horizontalposition können keine Reflexionen auf die Ortslage gerichtet werden. Ein Blendrisiko besteht ausschließlich für Sonderpositionen der Trackersysteme mit Ausrichtung nach Osten.

In den nach Osten ausgerichteten Sonderpositionen können abhängig von der Neigungseinstellung kurzzeitig Sonnenlichtreflexionen auf die Ortslage Hohenholz gerichtet werden. Auf Grund der Entfernung und der damit aus Sicht der Anlieger in Hohenholz verbundenen geringen Winkelhöhe der Anlage bestünde die Blendsituation nur für wenige Minuten am Abend. Sonderpositionen werden nur kurzzeitig für Flächen- und Wartungsarbeiten sowie bei Sturm eingestellt, so dass keine relevanten Blendzeiträume entstehen.



9 *Blendgutachterliche Bewertung und Empfehlungen für Sonderpositionen der Trackersysteme*

Die Photovoltaik-Anlage „Agri-PV – südlich Hohenholz“ ist mit einachsigen-horizontalen Trackersystemen geplant, bei der die Neigung der PV-Module im Nachföhrbetrieb dem Sonnenstand angepasst wird. Prinzipbedingt können in Nachföhrbetrieb keine bodennahen Sonnenlichtreflexionen entstehen, die auf die Augen der Fahrzeugföhrnden auf den umliegenden Verkehrswegen gerichtet sind. Auch schutzwürdige Nutzungen von Anliegern können deshalb nicht von anhaltenden Lichtimmissionen belästigt werden.

In der Reflexionsanalyse wurde nachgewiesen, dass in der Horizontalposition des Trackersystems keine blendwirksamen Reflexionen auf die Augen von Fahrzeugföhrnden auf den umliegenden Verkehrswegen oder schutzwürdige Nutzungen von Anliegern reflektiert werden können. Darüber hinaus sind in der ersten Tageshälfte prinzipiell alle Positionen mit Ostausrichtung und in der zweiten Tageshälfte alle Positionen mit Westausrichtung der Trackersysteme ohne Blendrisiken.

Die blickpunktbezogene Blendanalyse für den Straßenverkehr auf der B 113 ergibt, dass die Fahrzeugföhrnden aus Richtung Krackow bei nach Westen ausgerichteten Sonderpositionen der nordwestlichen Tracker-Reihen auf zwei Streckenabschnitten von Reflexionen in das periphere oder zentrale Blickfeld betroffen werden können, die auf Grund ihrer geringen Beleuchtungsstärke und Position im Blickfeld (Blickpunkt B113vS_1) oder der sichtunterbrechenden Wirkung von Gehölzstrukturen (Blickpunkt B113vS_2) keine relevante Blendwirkung hervorrufen können.

Die Fahrzeugföhrnden auf der B 113 in Richtung Krackow können im Bereich des Knotenpunkts mit dem Lindendamm (Blickpunkt B113vN_1) im Winter nachmittags von Reflexionen der nordwestlichsten Tracker-reihen mit ostausgerichteten Modulen betroffen werden. Auf Grund der geringen Winkelhöhe im Sichtfeld von weniger als 0,1° entsteht bei einer Neigungseinstellung von 5° kein Blendrisiko. Bei größeren Neigungen wird die Winkelhöhe der reflektierenden Fläche im Sichtfeld größer und die Beleuchtungsstärke und Helligkeit nehmen zu, so dass ab einer Neigungseinstellung von ca. 10° ein Blendrisiko entsteht.

Die blickpunktbezogene Blendanalyse für den Straßenverkehr aus der K 84 ergibt, dass die Fahrzeugföhrndem aus Richtung Krackow bei nach Westen ausgerichteten Sonderpositionen von Sonnenlichtreflexionen der südlichsten Tracker-Reihen betroffen werden können, die mit zunehmender Annäherung an die Anlage ein relevantes Blendrisiko bewirken können. In Gegenrichtung können bei der Annäherung an die Anlage auch bei ostausgerichteten PV-Modulen keine Reflexionen auf die Fahrzeugföhrnden gerichtet werden. Während der Passage können bei einer Neigung von 5° Reflexionen in das zentrale Blickfeld gerichtet werden, die ein geringes Blendrisiko bewirken. Bei einer Neigung von 7° oder mehr können hingegen keine Reflexionen auf die Augen der Fahrzeugföhrnden treffen.

Die Fahrzeugföhrnden auf der A 11 werden nicht von Reflexionen in ihre Blickfelder betroffen werden.

Die Anlieger in Krackow und Hohenholz werden keinen belästigenden Lichtimmissionen ausgesetzt.

Empfehlungen für die Sonderpositionen der Trackersysteme:

Für das Backtracking der Trackersysteme bestehen keinerlei Einschränkungen.

Für blendwirkungsfreie Sonderpositionen für Flächenarbeiten können die Trackersysteme ganztägig in Horizontalstellung gebracht werden oder in der ersten Tageshälfte in eine Ostausrichtung und in der zweiten Tageshälfte in eine Westausrichtung.



Bei länger bestehenden Sonderpositionen oder Sturm wird empfohlen, für die Trackersysteme im nördlichen Bereich der Anlage eine geringe Neigung von 5° bis 6° einzustellen. Eine Ausrichtung nach Westen ist zu bevorzugen. Für die Trackersysteme im Süden der Anlage wird empfohlen, diese mit einer Neigung von 7° bis 10° nach Osten auszurichten.



10 Verwendete Materialien

10.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „20260511 - Hohenholz - P2.02_ext.dwg“
- ▶ Skizze des Trackersystems als Datei „20260316 - Hohenholz Tacker max. 4m & min 0.8m - S1.01.pdf“
- ▶ Vorentwurf zum Bebauungsplan Nr. 8 „Agri-PV – südlich Hohenholz“ der Gemeinde Krackow, Stand Dezember 2025

10.2 Literatur

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 12. August 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 189) geändert worden ist
- ▶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 22. Dez. 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 348) geändert worden ist
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 23 des Gesetzes vom 18. Dezember 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 347) geändert worden ist
- ▶ Hinweise der LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (LAI-Hinweise); 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
- ▶ Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 23. Februar 2026 (BGBl. 2026 I Nr. 46) 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
- ▶ Eckpunkt Papier Photovoltaik: Blendwirkungen und Blendgutachten des Fernstraßen-Bundesamts, Stand November 2025,
https://www.fba.bund.de/DE/Themen/Anbaurecht_Paragraph9_FStrG/Dokumente/20251106_Eckpunkte_papier_Photovoltaik.html?nn=871298
- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen
- ▶ Wittlich, M.: Blendung – Theoretischer Hintergrund, Informationen des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA); Sankt Augustin 2010
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) Technical Reference Manual, Clifford K. Ho, Cianan A. Sims, Julius Yellowhair, and Evan Bush, Sandia National Laboratories, (505) 844-2384, 2015
- ▶ Toggweiler et al. 2024: Stand der Technik zu blendarmen Oberflächen bei PV-Modulen; EnergieSchweiz – Bundesamt für Energie BFE
- ▶ Bucher et al. 2026: Praxistest blendfreie Photovoltaik-Module; Schlussbericht
- ▶ Borislav Hristov 2009: Untersuchung des Blickverhaltens von Autofahrern. Dissertation TU Dresden
- ▶ Ralph Schulz 2012: Blickverhalten und Orientierung von Kraftfahrern auf Landstraßen. Dissertation TU Dresden
- ▶ Natasja van der Leden et al. 2015: Verhinderung von Sonnenreflexionen in Lärmschutzwällen – ein Laborexperiment. Tagungsband 18. Gemeinschaftstagung Licht 2008, 10. - 13. Sep 2008, Ilmenau, pp 582-589



11 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage des Plangebiets; Quelle: Entwurf B-Plan Nr. 8 „Agri-PV – südlich Hohenholz“ der Gemeinde Krackow	4
Abbildung 2: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm	10
Abbildung 3: Reflexionsgrade von Moduloberflächen nach Sandia 2015.....	11
Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden.....	12
Abbildung 5: Lage der geplanten PV-Anlage (Mit Modulen belegte Tracker-Reihen in Blau, Einfriedung in Rot)	13
Abbildung 6: Bemaßte Ansicht des Trackersystems, Quelle: Kundenmaterial	14
Abbildung 7: Reflexionsdiagramme für ostausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 41° Neigung	15
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für ostausgerichtete PV-Module mit um 3° nach Süden (oben) resp. Norden (unten) geneigter Drehachse.....	16
Abbildung 9: Azimutrichtungen bodennaher Reflexionen für ostausgerichtete PV-Module (gelbe Winkel mit 300 m Schenkellänge), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage	17
Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für westausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 41° Neigung	18
Abbildung 11: Azimutrichtungen bodennaher Reflexionen für westausgerichtete PV-Module (gelbe Winkel mit 300 m Schenkellänge), angezeichnet an ausgewählte Eckpunkte der PV-Anlage	18
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm für PV-Module in Horizontalstellung (oben) mit grauer Umrandung der Reflexionspunkte, die einen Abstandswinkel zu den Sonnenstrahlen von weniger als 5° aufweisen...19	19
Abbildung 13: Blickpunkte für die Bundesstraße B 113	20
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vS_1.....	21
Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vS_2	22
Abbildung 16: Blick in Fahrtrichtung am Blickpunkt B113vS_2; Quelle: Apple Karten.....	23
Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vN_1.....	23
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt B113vN_2	24
Abbildung 19: Blickpunkte für die Kreisstraße K 84	25
Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für westausgerichteten Module mit 5°, 10° und 41° Neigung am Blickpunkt K84vW.....	26



Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für ostausgerichteten Module mit 5° und 7° Neigung am Blickpunkt K84vO	27
--	----



12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beleuchtungsstärken durch direkte Sonnenstrahlen in Abhängigkeit vom Höhenwinkel der Sonne	10
Tabelle 2: Angaben zur PV-Anlage.....	14
Tabelle 3 : Koordinaten und Blickrichtung der modellierten Blickpunkte für die B 113.....	20
Tabelle 4: Bewertungsrelevante Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der B 113 aus Südwest 22	
Tabelle 5: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der B 113 aus Nordost	24
Tabelle 6 : Koordinaten und Blickrichtung der modellierten Blickpunkte für die B 113.....	25
Tabelle 7: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der K 84 aus Westen	26
Tabelle 8: Bewertungsrelevante lichttechnischen Berechnungsergebnisse der für den Verkehr auf der K 84 aus Osten.....	28