

Blendgutachten für die PV-Anlage „Schmadebeck“ mit Trackersystem

*Analyse der Blendwirkungen einer Photovoltaikanlage
auf den Verkehr und schutzwürdige Nutzungen*

Auftraggeber:

VOSS Energy GmbH
Admannshäger Damm 20
18211 Admannshagen-Bargeshagen

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: 3. April 2025
Gutachten-Nr.: SPX-RS-P240060-01



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens.....	4
2	Zusammenfassung der Bewertung	5
3	Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen	6
3.1.1	Raumordnung und Baurecht	6
3.1.2	Immissionsschutz	6
3.1.3	Straßenverkehrsgesetze.....	6
3.1.4	Richtlinien der FGSV.....	7
4	Bewertungsgrundlagen.....	8
4.1	Bewertung von Blendungen im Immissionsschutz.....	8
4.2	Bewertung von Blendwirkungen im Verkehr.....	8
5	Beschreibung der Methodik.....	10
5.1	Berechnung der Reflexionsrichtungen.....	10
5.2	Lichttechnische Berechnungen.....	11
5.3	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte.....	12
5.4	Ergebnisdarstellung.....	12
5.4.1	Verkehr.....	12
5.4.2	Schützenswerte Räume.....	14
6	Beschreibung der PV-Anlage und der Umgebung.....	15
7	Ermittlung blendrelevanter Trackerpositionen.....	18
7.1	Topografische Bedingungen	18
7.2	Ausrichtung der PV-Module nach Osten.....	18
7.3	Ausrichtung der PV-Module nach Westen.....	20
7.4	Horizontalposition	23
8	Ermittlung der zu prüfenden Immissionsorte.....	25
9	Reflexions- und Blickpunkte für die Blendanalyse	26
10	Berechnungsergebnisse.....	27
10.1	Blickpunkt K5_vN_1.....	27
10.2	Blickpunkt K5_vN_2	29



10.3	Blickpunkt BL_vS_1.....	31
10.4	Blickpunkt BL_vN_1.....	32
10.5	Blickpunkt BL_vN_2.....	33
11	Bewertung der Blendrisiken.....	35
11.1	Nachführbetrieb.....	35
11.2	Parkpositionen.....	35
12	Verwendete Materialien.....	37
12.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	37
12.2	Literatur.....	37
13	Abbildungsverzeichnis.....	38
14	Tabellenverzeichnis.....	40



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Die Photovoltaik-Freiflächenanlage „Schmadebeck“ soll auf der Grundlage der Satzung der Stadt Kröpelin über den Bebauungsplan Nr. 19 „PVA Schmadebeck“ in der Gemarkung Schmadebeck der Ortschaft Kröpelin im Kreis Rostock in Mecklenburg-Vorpommern errichtet werden. Die Lage der geplanten PV-Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

In den Textfestsetzungen des Entwurfs zum Bebauungsplan wird bestimmt, dass die Anlage so anzuordnen ist, dass jegliche Blendwirkung ausgeschlossen wird. Die PV-Anlage ist mit einem einachsigen-horizontalen Trackersystem ausgestattet, dessen Achse in Nord-Süd-Richtung verläuft. Die PV-Module werden im Tagesverlauf dem astronomischen Sonnenstand nachgeführt, so dass die reflektierenden Modulvorderseiten vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen orientiert sind. Es ist zu prüfen, ob im Nachführbetrieb, im morgendlichen und abendlichen Backtracking und an den Parkpositionen des Systems blendwirksame Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer gerichtet werden können.

Darüber hinaus ist zu prüfen, ob es zu unzumutbaren Belästigungen von Anliegern durch von der PV-Anlage verursachte Lichtimmissionen kommen kann.

In Übereinstimmung mit den Textfestsetzungen des Bebauungsplans sieht der vorliegende Belegungsplan der PV-Anlage eine GRZ von 0,5 bei Horizontalstellung des Trackersystems auf. Eine Erhöhung der Anzahl der PV-Module durch eine etwaige Verdichtung der Tischreihen innerhalb der bestehenden Belegungsfelder hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse dieses Gutachtens, so dass das Gutachten auch bei einer höheren GRZ der PV-Anlage seine Gültigkeit bewahrt.

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten sowie ergänzender Informationen aus Google Earth Pro und dem Geoportal MV.



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage „Schmadebeck“ (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)



2 Zusammenfassung der Bewertung

Es wird festgestellt, dass es im Nachführungsbetrieb des Trackersystems der PV Anlage „PVA Schmadebeck“ zu keinen blendwirksamen Sonnenlichtreflexionen der PV-Module auf die umliegenden Verkehrswege kommen kann.

Es wird festgestellt, dass zur Vermeidung potenziell blendwirksamer Sonnenlichtreflexionen auf die Kreisstraße K 5, die Parkpositionen der Trackersysteme der Belegungsfelder BF_1 und BF_4 eine Ausrichtung der PV-Module nach Osten mit einer Planneigung von mindestens 5° erfordern.

Es wird festgestellt, dass zur Vermeidung potenziell blendwirksamer Sonnenlichtreflexionen auf den Brusower Landweg, die Parkpositionen der Trackersysteme der Belegungsfelder BF_6 und BF_8 eine Ausrichtung der PV-Module nach Westen mit einer Planneigung von mindestens 5° erfordern.

Es wird festgestellt, dass es im Nachführungsbetrieb des Trackersystems für die Anlieger der PV-Anlage zu keinen Lichtimmissionen kommen kann. Bei Umsetzung der empfohlenen Parkpositionen können auch außerhalb des Nachführungsregimes des Trackersystems keine Lichtimmissionen auf schützenswerte Nutzungen entstehen.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Photovoltaik-Freiflächenanlage „PVA Schmadebeck“ bei Umsetzung der empfohlenen Parkpositionen des Trackersystems als genehmigungsfähig einzustufen.

Hinweis: Eine Erhöhung der GRZ für die Horizontalstellung der PV-Module innerhalb der Grenzen der Belegungsfelder hat keinen Einfluss auf die Ergebnisse des Gutachtens.



3 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen

3.1.1 Raumordnung und Baurecht

Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen ist. Die Planung und Errichtung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen erfordert in der Regel einen vorhabensbezogenen Bebauungsplan.

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, darunter Solaranlagen auf einer Fläche längs von Autobahnen oder Schienenwegen des übergeordneten Netzes im Sinne des § 2 b des Allgemeinen Eisenbahngesetzes mit mindestens zwei Hauptgleisen und in einer Entfernung zu diesen von bis zu 200 Metern, gemessen vom äußeren Rand der Fahrbahn. Die Privilegierung dieser Solaranlagen führt zu einer Beschleunigung des Genehmigungsverfahrens. Es kann direkt ein Bauantrag gestellt werden, dessen Bewilligung nicht mehr von der Zustimmung eines Gemeinderats abhängt. Bei Genehmigungsfähigkeit der Anlage besteht ein Anspruch auf Erteilung der Baugenehmigung.

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 übernehmen die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (LAI-Richtlinie) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz, einem Arbeitsgremium der Umweltministerkonferenz. Die LAI-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 und soll auch auf nicht genehmigungspflichtige kleinere Anlagen angewendet werden.

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.

Für die Errichtung von PV-Anlagen ist das Bundesfernstraßengesetz zu beachten. 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.

Zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit oder der Unbedenklichkeit einer angezeigten PV-Anlage fordert die zuständige Behörde im Regelfall ein Blendgutachten ein.

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.



4 Bewertungsgrundlagen

4.1 Bewertung von Blendungen im Immissionsschutz

Die „Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI), im folgenden LAI-Richtlinie genannt, 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 $0,56^\circ$ und der Streuung der Reflexionen (Bündelaufweitung) können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

Hinsichtlich der Beurteilung sieht die LAI-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 Reflexionen zu berücksichtigen, für die 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.

Bei PV-Anlage mit einachsiger-horizontalem Trackersystem werden die PV-Module dem Sonnenstand nachgeführt, so dass im Nachföhrbetrieb keine Lichtimmissionen auf schützenswerte Nutzungen verursacht werden können. Um die Anforderungen der LAI-Richtlinie hinsichtlich der Minimierung der Immissionszeiträume zu erfüllen, ist es hinreichend, die Parkpositionen des Trackersystems und den Backtracking-Algorithmus so zu gestalten, dass eine Belästigung der Anlieger ausgeschlossen werden kann.

4.2 Bewertung von Blendwirkungen im Verkehr

Die Reflexionen der PV-Anlage dürfen die Erfüllung der Sehaufgabe der Verkehrsteilnehmer nicht beeinträchtigen. Dafür ist unter Tageslichtbedingungen der Bereich des fovealen Sehens (Stellen, die mit beiden Augen fixiert werden müssen) als besonders kritisch anzusehen, denn bei einer Fixation der Augen auf eine Blendquelle mit einer Leuchtdichte von mehr als ca. 10^5 cd/m^2 , die ein Sonnenlicht reflektierendes PV-Modul typischerweise überschreitet, tritt eine Absolutblendung auf, bei der die Anpassungsfähigkeit des Auges an die Helligkeit überschritten wird. Es setzen Schutzmechanismen (Lidschluss, Blickabwendung) ein und ein Risiko für Nachbilder und temporärer Blindheit entsteht. Das Risiko für eine Absolutblendung steigt mit der Leuchtdichte der Blendquelle, deren Größe im Sichtfeld und der Dauer des Blicks in die Blendquelle.

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 $\leq 10^\circ$. Der Höhenwinkelbereich ist mit -4° bis $+6^\circ$ zur Horizontalen als Worst-Case-Annahme zu berücksichtigen. An Knotenpunkten und für spezielle Fahrsituationen kann eine abweichende Festlegung des zentralen Blickfelds notwendig sein.

Auch eine Blendquelle außerhalb des notwendigen Fixationsbereichs der Augen kann zu relevanten Blendungen föhren, die die Erfüllung der Sehaufgabe erschweren. Helligkeitsreize im peripheren Blickfeld, in dem Umgebungsinformationen aufgenommen werden, die der Orientierung (z.B. Spurhalten) und der Wahrnehmung von Veränderungen in der Umgebung (Bewegung, Leuchtdichteunterschiede) dienen, wirken als Distraktoren. Es entsteht ein Ablenkungsreiz, der eine Blickzuwendung auslöst. Bei länger



anhaltender Blendsituation, oder sehr leuchtstarken Blendquellen im peripheren Blickfeld, kann eine Relativblendung hervorgerufen werden, bei der die gerichteten Lichtstrahlen der Reflexionen durch Streueffekte des Augenapparats eine Schleierleuchtdichte auf der Netzhaut bewirken, die eine Einschränkung der Sehleistung vor allem durch eine Kontrastminderung und die Ablenkung von der Sehaufgabe mit sich bringt. Im Extremfall wird eine Adaptionsstörung ausgelöst, die die allgemeine Sehfähigkeit zeitweilig stark herabsetzt.

Im peripheren Blickfeld sind ein horizontaler Differenzwinkel von bis zu 30° zur Blickachse der Fahrzeugführenden und ein Höhenwinkelbereich von -6° bis +8° als Risikobereich für Relativblendungen zu berücksichtigen. Dabei erhöht sich das Risiko einer Blendung mit abnehmender Winkeldifferenz der Reflexionen zur Blickachse, der Dauer der Blendsituation und der Beleuchtungsstärke der Reflexionen, die den Einfluss der Helligkeit der Blendquelle und deren Winkelgröße im Blickfeld zusammenfasst.

Wenn die Sonne zum Zeitpunkt der Reflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld mit einem Abstandswinkel von weniger als 6° zu den reflektierenden Flächen steht und nicht mit einer Sonnenblende (bis 6° Sonnenhöhe) abgeschirmt werden kann, überwiegt deren Blendwirkung, so dass die Reflexionen vernachlässigt werden können.

Bei PV-Anlage mit einachsiger-horizontalem Trackersystem werden die PV-Module dem Sonnenstand nachgeführt, so dass im Nachföhrbetrieb keine Sonnenlichtreflexionen auf Verkehrsteilnehmer gerichtet werden können. Es ist es hinreichend, die Parkpositionen des Trackersystems und den Backtracking-Algorithmus so zu gestalten, dass eine Blendwirkung auf Verkehrsteilnehmer ausgeschlossen werden kann.



5 Beschreibung der Methodik

5.1 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 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 für 12 Tage im Jahr (jeweils für den 21. jeden Monats) mit den Sonneneinfallswinkeln am Standort der Anlage berechnet. Die Berechnungsergebnisse werden 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 geografisch Nord bezogenen Planausrichtung, Planneigung und der baufeldbedingten Querneigung angegeben (hier: Anlagenteil: BF_1, Planausrichtung: 180°, Planneigung: 18°, Querneigung: 0°),
- ▶ der Zeitabstand zwischen zwei Reflexionspunkten,
- ▶ 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. Zwischen den Markierungspunkten liegt im Beispieldiagramm ein Zeitraum von 5 min. Die graue Umrandung der Markierungspunkte zeigt, dass der Abstandswinkel zwischen der reflektierenden Fläche und der Sonne bei weniger als 6° liegt. Die eingezeichneten Analemmata für ausgewählte Uhrzeiten geben eine Orientierung hinsichtlich des Zeitpunkts, an dem die Reflexionen in den betreffenden Bereich gerichtet werden.

Die Detailbetrachtung in dem unteren Diagramm zeigt die Eingrenzung des maximalen Blendbereichs der Reflexionen. Da die Immissionsorte an den potenziellen Immissionsorte nur von bodennahen Reflexionen erreicht werden können, lassen sich für den östlichen und westlichen Azimutbereich die Grenzwinkel bestimmen, zwischen denen potenziell blendwirksame Reflexionen mit einem Abstandswinkel von > 6° zur Sonne auftreten können.

Für die Blendanalyse im Rahmen des Immissionsschutzes ist nach den „Hinweisen zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen“ (kurz: LAI-Richtlinie“ ein Abstandswinkel zur Sonne von > 10° anzusetzen, ab dem den Reflexionen eine eigenständige Blendwirkung zuzurechnen ist, und diese somit als Lichtimmissionen zu werten sind.

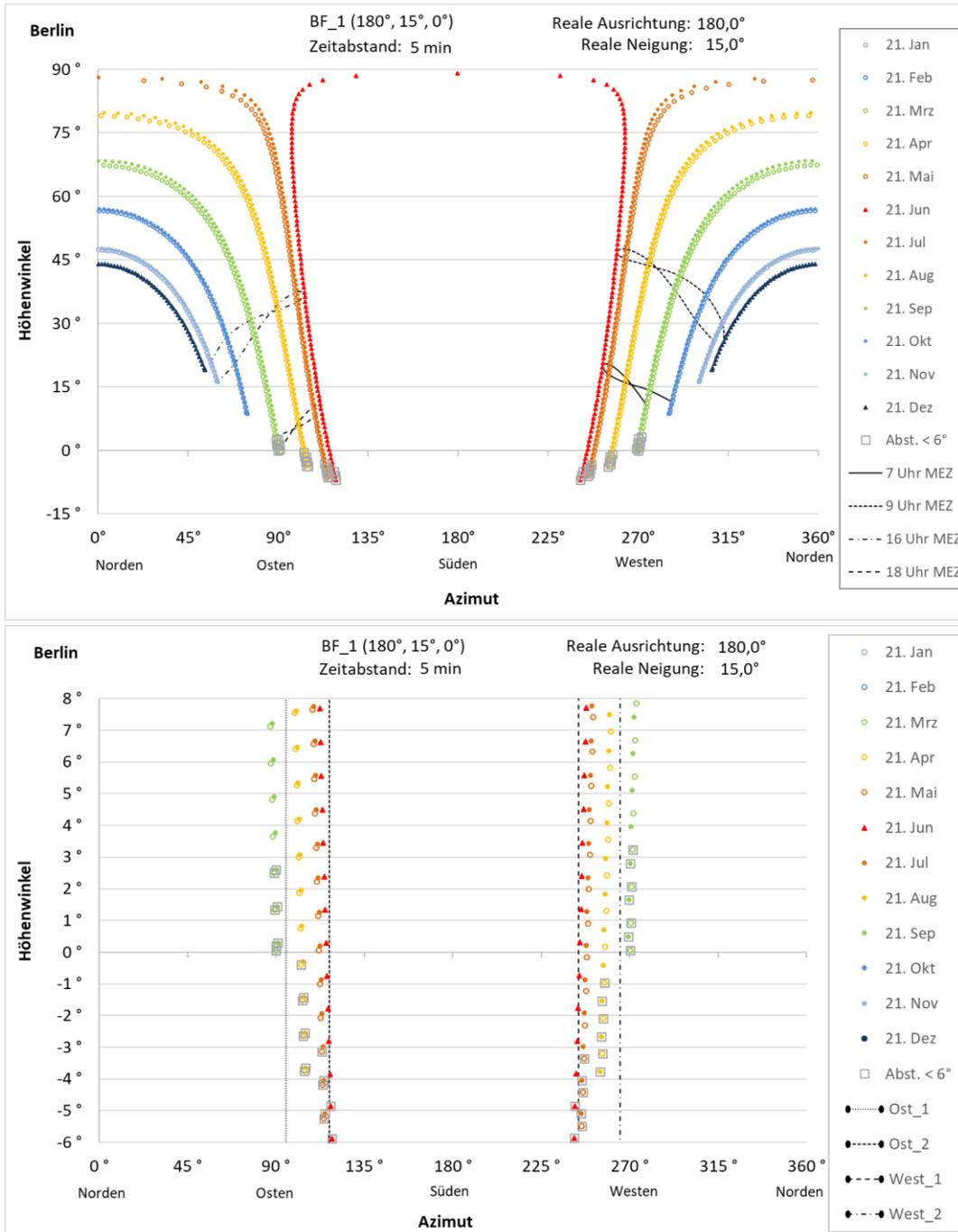


Abbildung 2: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm (oben) und Detailansicht mit Bestimmung der Azimutbereiche, in die bodennahe blendwirksame Reflexionen gerichtet werden können (unten)

5.2 Lichttechnische Berechnungen

Zur Beurteilung der Blendwirkung auf Verkehrswege werden neben den Winkelgrößen die Beleuchtungsstärken der Sonnenlichtreflexionen und des Umgebungslichts (direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Sonnenlicht) herangezogen.



Zur Ermittlung der Beleuchtungsstärken durch das Umgebungslicht wird der Sonnenhöhenwinkel zum untersuchten Reflexionszeitpunkt bestimmt und anschließend die horizontale Beleuchtungsstärke bei klarem Himmel aus direktem Sonnenlicht und Himmelslicht abgeschätzt. 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.

Für die Berechnung der Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen am Blickpunkt wird die nach Formel 22 der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 berechnete Beleuchtungsstärke der Sonne verwendet. Als Reflexionsgrad wird, soweit keine entsprechenden Modulkenwerte vorliegen, ein konservativer Standardwert angesetzt, der abhängig vom Einfallswinkel der Sonnenstrahlen ist. Zusätzlich wird ein empirisch ermittelter Diffusionsfaktor von 0,4 für ungerichtete und gestreute Reflexionen berücksichtigt.

5.3 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Für die blickpunktbezogene Blendanalyse werden ausgewählte Punkte auf der reflektierenden Oberfläche als Reflexionspunkte modelliert, typischerweise mindestens die vier Eckpunkte eines PV-Tisches, der an den untersuchten Blickpunkten sichtbar ist. Die x-y-z-Koordinaten der Reflexionspunkte werden dem nach geographisch Nord gedrehten Belegungsplan der Anlage entnommen. Dabei ergeben sich die z-Koordinaten aus der Höhe der Geländeoberkante (GOK) am Tischpunkt und der Höhe der Unter- und Oberkanten der PV-Module gemäß der Plandimensionierung der Tische. Falls der Belegungsplan keine Höheninformationen beinhaltet, werden ersatzweise die Höhendaten des landesspezifischen Geoportals oder aus einer Pfadvermessung mit Google Earth Pro genutzt.

Für die Verkehrsteilnehmer werden repräsentative Blickpunkte im potenziellen Blendbereich der PV-Anlage ermittelt und im gleichen Koordinatensystem der Plangrundlage modelliert. Die z-Koordinaten ergeben sich dabei aus der Höhe der Geländeoberkante zuzüglich der Augenpunkthöhe am Blickpunkt. Dazu werden im Straßenverkehr gemäß den Richtlinien der FGSV 1 m (PKW) und 2,5 m (LKW) angesetzt, im Schienenverkehr auf Hauptstrecken 2 m bis 4 m.

5.4 Ergebnisdarstellung

5.4.1 Verkehr

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

Abbildung 3 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen zu einem Blickpunkt im Straßenverkehr und die dazugehörige Detailbetrachtung, in der die blendrelevanten Sichtbeziehungen zwischen den Reflexionspunkten und dem untersuchten Blickpunkt schwarz umrandet sind. Wenn ein Blickpunkt zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni und den 21. Dezember liegt, dann können Reflexionen auf den Blickpunkt gerichtet sein.



In diesem Beispiel können über einen Zeitraum von ca. drei Wochen um den 21. April und 21. August herum kurz vor Sonnenuntergang Reflexionen einiger PV-Tische in das zentrale oder periphere Blickfeld (BF) der Richtung Westen fahrenden Verkehrsteilnehmer gerichtet werden. Die Detailbetrachtung zeigt dabei typischerweise nur das Reflexionsgeschehen für die stärker betroffenen hoch sitzenden Fahrzeugführenden (BP_hoch). 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 wird anschließend geprüft, ob die Reflexionen eine relevante Blendung mit Auswirkungen auf die Sehaufgabe und die Verkehrssicherheit verursachen können.

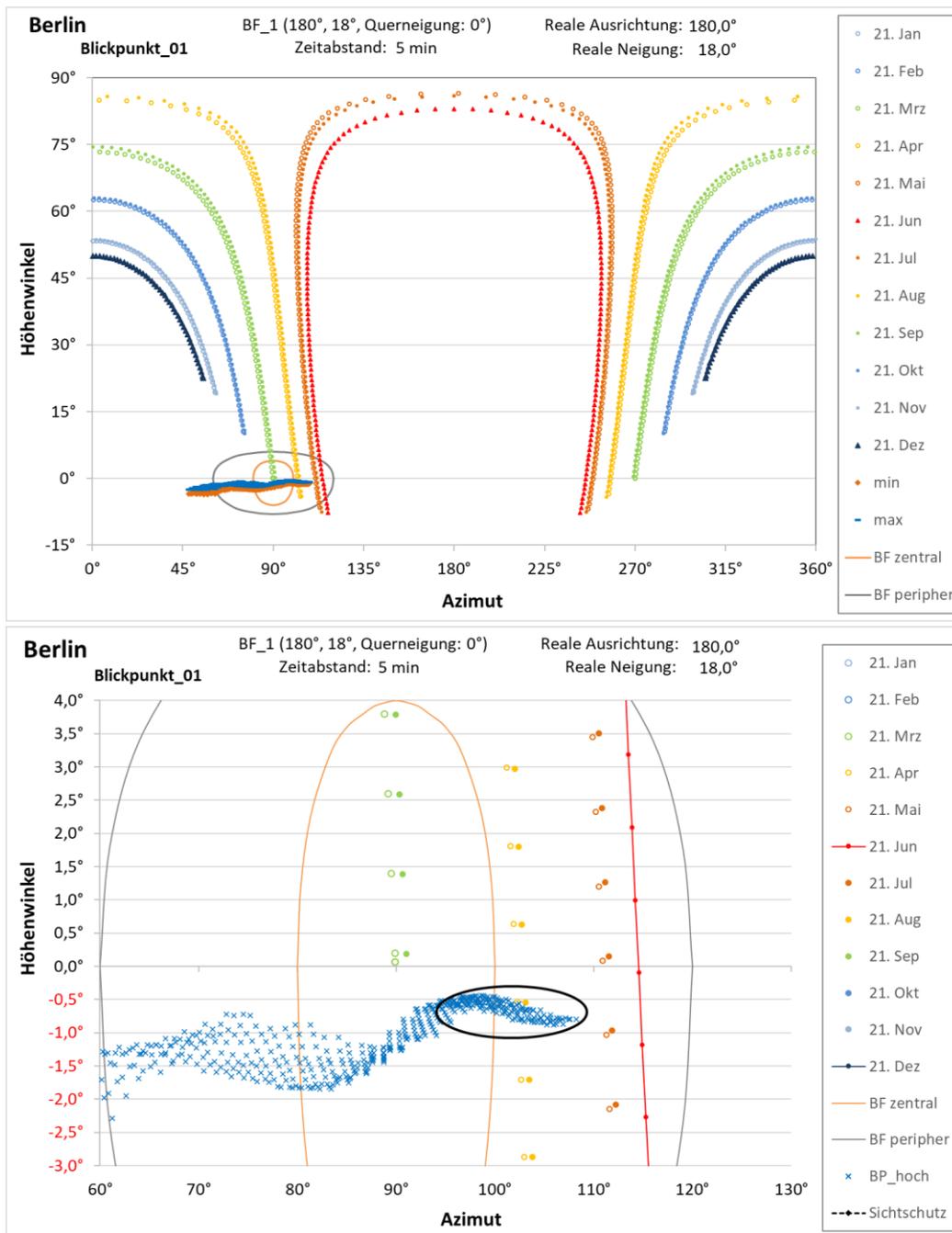


Abbildung 3: Beispielhafte Reflexionsdiagramme mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden, ohne Sichtschutz



5.4.2 Schützenswerte Räume

Abbildung 4 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 schwarze Linie umgrenzt wird. Die graue Umrandung der Reflexionspunkte kennzeichnet die Zeitpunkte, zu denen der Abstandswinkel der Reflexionsstrahlen zur Sonne $< 10^\circ$ ist, und die damit nicht als Lichtimmissionen im Sinne der Licht-Richtlinie zu werten sind. Im gezeigten Beispiel beträgt die maximale tägliche Immissionsdauer 3 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 schwarze Linie in der Detailansicht, beträgt weniger als 5 Stunden.

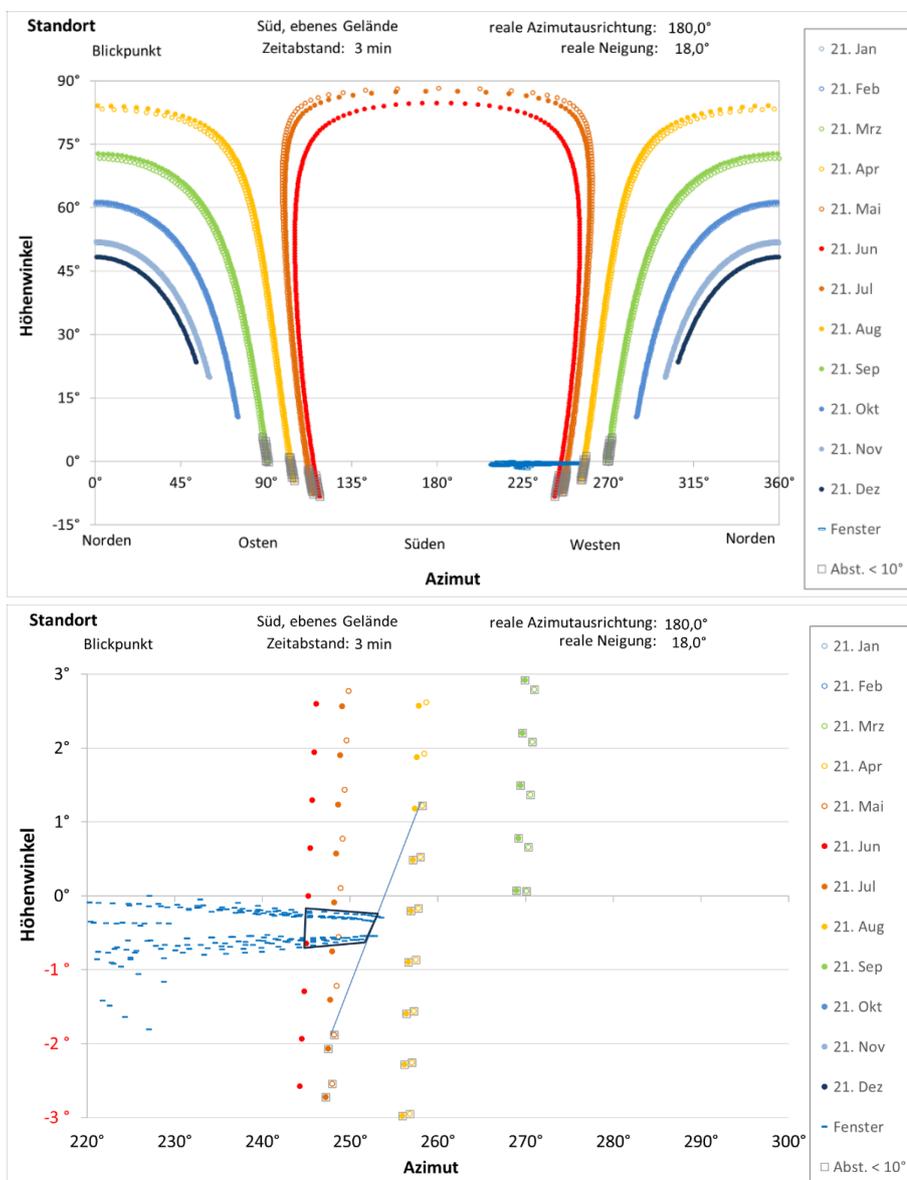


Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)



6 Beschreibung der PV-Anlage und der Umgebung

Die „PVA Schmadebeck“ soll auf der ca. 48 ha großen Fläche des im Bebauungsplan Nr. 19 „PVA Schmadebeck“ ausgewiesenen Sondergebiets mit Zweckbestimmung Photovoltaik (SO-PV) der Gemarkung Schmadebeck der Stadt Kröpelin im Kreis Rostock in Mecklenburg-Vorpommern errichtet werden. Die Fläche ist wellig und kuppig ausgeprägt. Die Höhe der Geländeoberkante liegt zwischen 64 m üNNH und 90 m üNNH.

Das Vorhabensgebiet liegt nordöstlich der K 5 (Bützower und Satower Straße) und nordöstlich des Landweges nach Brusow. Im Norden des Gebiets liegen Ackerflächen. Nach Süden wird das Gebiet durch einen Kiessand-Tagebau begrenzt. Abbildung 5 zeigt das Vorhabensgebiet als Ausschnitt des Entwurfs zum B-Plan „PVA Schmadebeck“



Abbildung 5: Vorhabensgebiet SO-PV "PVA Schmadebeck"; Quelle: Entwurf B-Plan Nr. 19 „PVA Schmadebeck“, Stand: 10.03.2025

Der Solarpark ist in 8 Belegungsfelder mit einheitlicher Ausrichtungen der PV-Tischreihen aufgeteilt. Abbildung 6 zeigt die Lage der PV-Tischreihen der Belegungsfelder und die Baugrenzen der Felder. Die Höhen der Geländeoberkanten und der Bereich der Achsneigungen des Trackersystems wird für die gesamte Anlage und die einzelnen Belegungsfelder in Tabelle 1 dargestellt.



Abbildung 6: Belegungsplan der PV-Anlage (Modultischreihen in blau, Baugrenzen in rot)

Der in einem UTM-Koordinatensystem erstellte Belegungsplan der PV-Anlage sieht eine Achsausrichtung der Trackersysteme in Nord-Süd-Richtung von 180° vor. Die Meridiankonvergenz des UTM-Koordinatensystems zu geographisch Nord beträgt am Standort der Anlage $-2,4^\circ$. Bezogen auf geographisch Nord betragen die Planausrichtungen der geeigneten PV-Module $87,6^\circ$ Ost und $267,6^\circ$ West.

Die Anlage ist mit dem einachsigen horizontalen Trackersystem ZIM Track des Unternehmens Zimmermann PV-Steel Group GmbH & Co. KG geplant, das im astronomischen Nachführregime die Neigung der PV-Module dem Sonnenstand anpasst und damit für System auf ebenem Gelände verhindert, dass potenziell blendende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln entstehen. Die astronomische Nachführung des Trackersystems wird durch einen Algorithmus ergänzt, der Verschattungen reduziert und den Energieertrag optimiert. In den morgendlichen Backtracking-Phasen werden die Module dann zu Sonnenaufgang 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.

Für Trackersysteme auf ebenem Gelände können nur Betriebszustände außerhalb der astronomischen Nachführung zu einem Blendrisiko führen. Diese Zustände umfassen neben der Backtracking-Regelung die voreingestellten Parkpositionen des Trackersystems für Mäh- und Wartungsarbeiten, bei Störungen und bei Sturm.

Die Höhe der Moduloberfläche in Horizontalposition des Trackersystems wird mit $2,0$ m über GOK angesetzt.

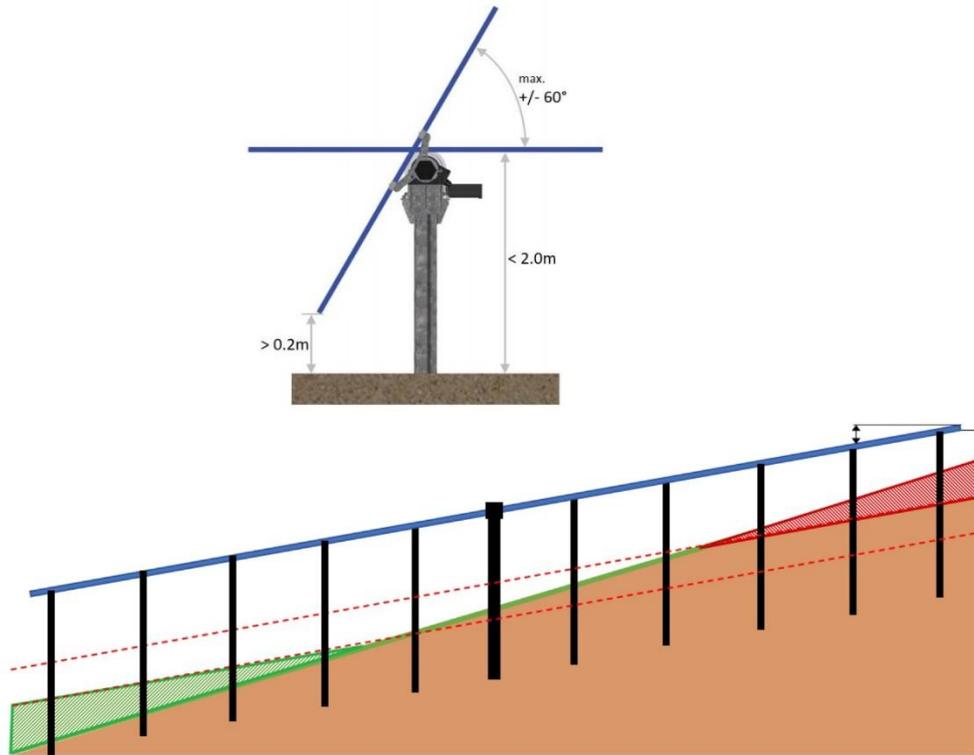


Abbildung 7: Trackersystem im Querschnitt (oben) und in Seitenansicht bei Hanglage (unten); Quelle: Kundenmaterial

Tabelle 1 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage zusammen.

Tabelle 1: Systemangaben der PV-Anlage

PV-Anlage:	PVA Schmadebeck
Standort:	Gemarkung Schmadebeck Breite.: 54,052°, Länge: 11,821°
Höhe des Baugrunds:	Gesamt: 63 m üNNH bis 89 m üNNH BF_1: 63,8 m üNNH bis 80,2 m üNNH BF_2: 76,7 m üNNH bis 88,8 m üNNH BF_3: 66,6 m üNNH bis 80,9 m üNNH BF_4: 63,7 m üNNH bis 73,6 m üNNH BF_5: 71,8 m üNNH bis 81,0 m üNNH BF_6: 76,9 m üNNH bis 80,6 m üNNH BF_7: 66,2 m üNNH bis 75,5 m üNNH BF_8: 69,7 m üNNH bis 79,8 m üNNH
Planausrichtungen:	Ost: 87,4° - Horizontal - West: 267,4°
Planneigungen:	0° bis ±60°
Achsneigungen:	Anstieg nach Norden: bis 10°, Anstieg nach Süden: bis 6° BF_1: 6° bis 3° BF_2: 5° bis 5° BF_3: 5° bis 2° BF_4: 9° bis 5° BF_5: 4° bis 4° BF_6: 2° bis 2° BF_7: 10° bis 4° BF_8: 5° bis 6°
Höhe der Modulkante:	2,0 m über GOK



7 Ermittlung blendrelevanter Trackerpositionen

7.1 Topografische Bedingungen

Die Augenpunkthöhen an den potenziellen Immissionsorten westlich des Vorhabensgebiets liegen unterhalb des Geländes der Belegungsfelder der PV-Anlage, so dass nur Lichtreflexionen mit negativen Höhenwinkeln auf Verkehrsteilnehmer oder schützenswerte Nutzungen gerichtet werden können. In der östlichen Hemisphäre des Vorhabensgebiets können Sonnenlichtreflexionen mit gering negativen oder gering positiven Höhenwinkeln auf Verkehrsteilnehmer oder schützenswerte Nutzungen gerichtet werden.

7.2 Ausrichtung der PV-Module nach Osten

Abbildung 8 zeigt exemplarisch das Reflexionsdiagramm (oben) für nach Osten ausgerichteten PV-Module mit einer Neigung zur Horizontalen von 5° auf ebenem Boden, wie sie bei astronomischer Nachführung kurz nach Sonnenaufgang vorliegen würde. Das Diagramm veranschaulicht, dass keine Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln in die westliche Hemisphäre gerichtet sein können. Hingegen kann bei dieser Einstellung abends Sonnenlicht mit negativen oder gering positiven Höhenwinkeln in einem Azimutbereich von ca. 30° bis 120° auf die Immissionsorte in der östlichen Hemisphäre gerichtet werden.

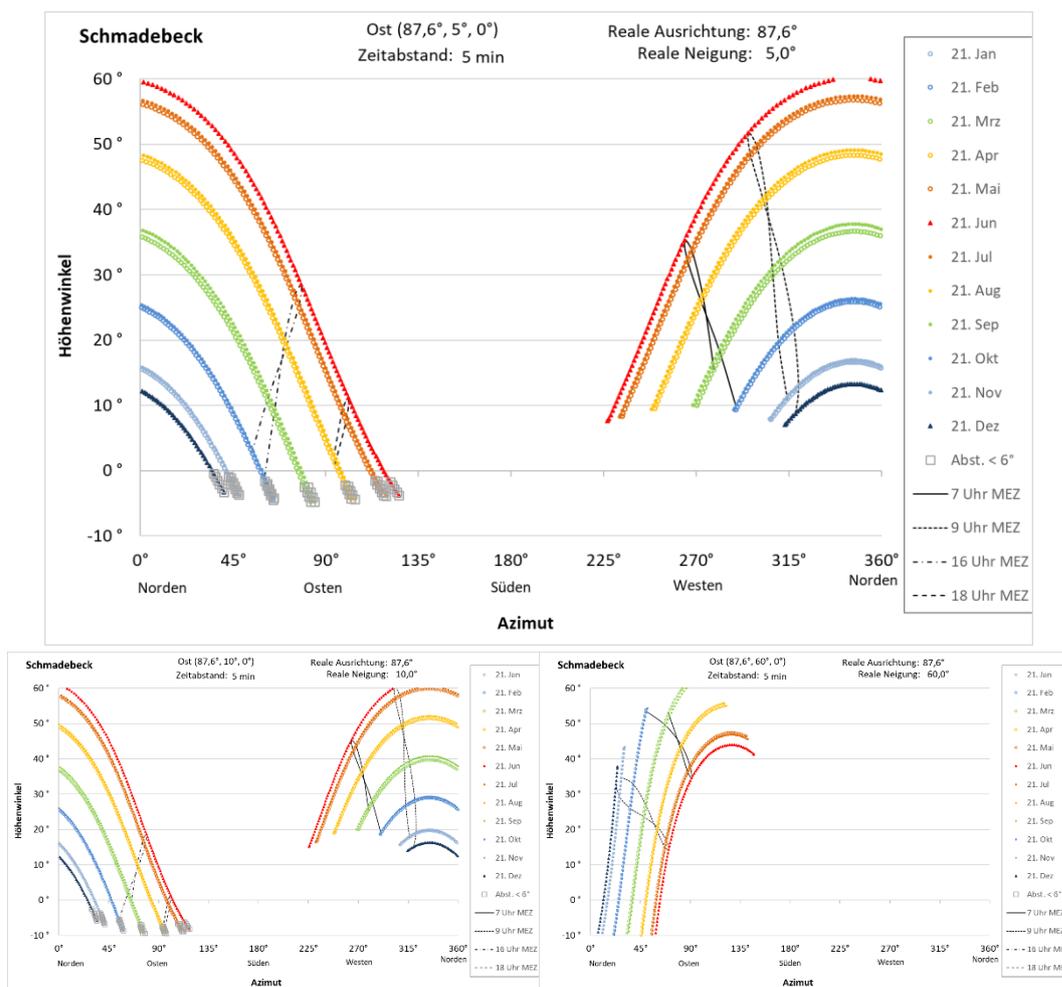


Abbildung 8: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Neigung



Die beiden Reflexionsdiagramme in Abbildung 8 unten zeigen den Einfluss einer zunehmender Modulneigung auf das Reflexionsgeschehen. Es sind weiterhin keine blendrelevanten Reflexionen in die westliche Hemisphäre möglich, während der Azimutbereich der in die östliche Hemisphäre gerichteten Reflexionen sich nach Norden verschiebt.

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 9 zeigen den Einfluss der möglichen Achsneigungen für Gelände mit Anstieg in nördliche Richtung auf das Reflexionsgeschehen. Bei der geländebedingt maximal möglichen Achsneigung von 10° verändert sich die Azimutausrichtung der reflektierenden Ebene der PV-Module bei einer Planneigung von 5° zur Horizontalen auf 150,9°. Die realen Modulneigung zur Horizontalen beträgt 11,2°. Damit können kurz nach Sonnenaufgang blendrelevante Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln nach Südwesten gerichtet werden. Ab einer Planneigung von 10° sind keine Reflexionen mit geringen Höhenwinkel in die westliche Hemisphäre mehr möglich.

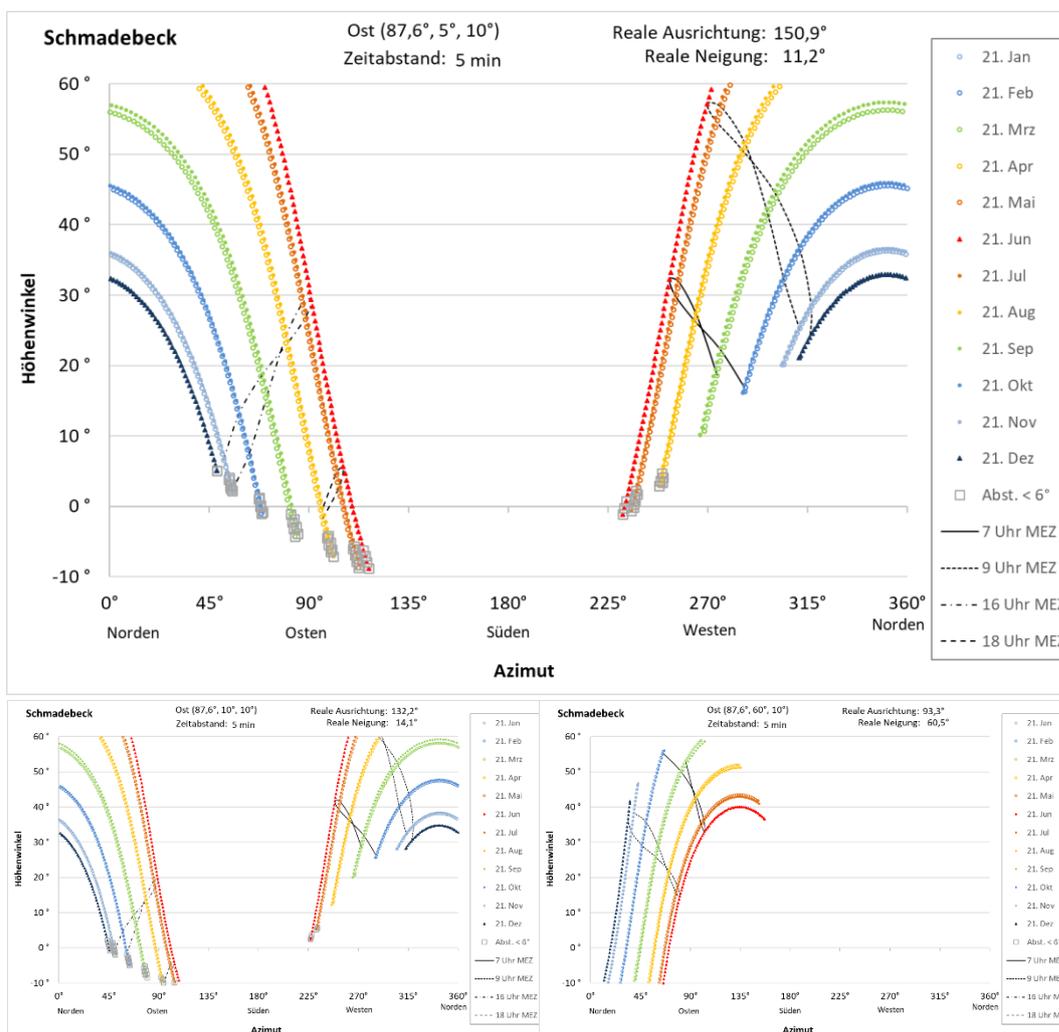


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsneigung des Trackersystems von 10° mit Anstieg in nördliche Richtung

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 10 zeigen den Einfluss der möglichen Achsneigungen für Gelände mit Anstieg in südliche Richtung auf das Reflexionsgeschehen. Bei der geländebedingt maximal möglichen Achsneigung von 6° verschiebt sich die Azimutausrichtung der reflektierenden Ebene der PV-Module in nördliche Richtung. Eine Planneigung von 5° zur Horizontalen führt zu einer realen solaren Ausrichtung von



37,5° und einer realen Modulneigung von 7,8°. Damit können in den Wintermonaten morgens blendrelevante Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln auch in die westliche Hemisphäre (Nordnordwest) gerichtet werden. Bei einer Planneigung von 10° kann die westliche Hemisphäre nur noch spätmittags von fast nach Norden gerichteten Reflexionen betroffen werden.

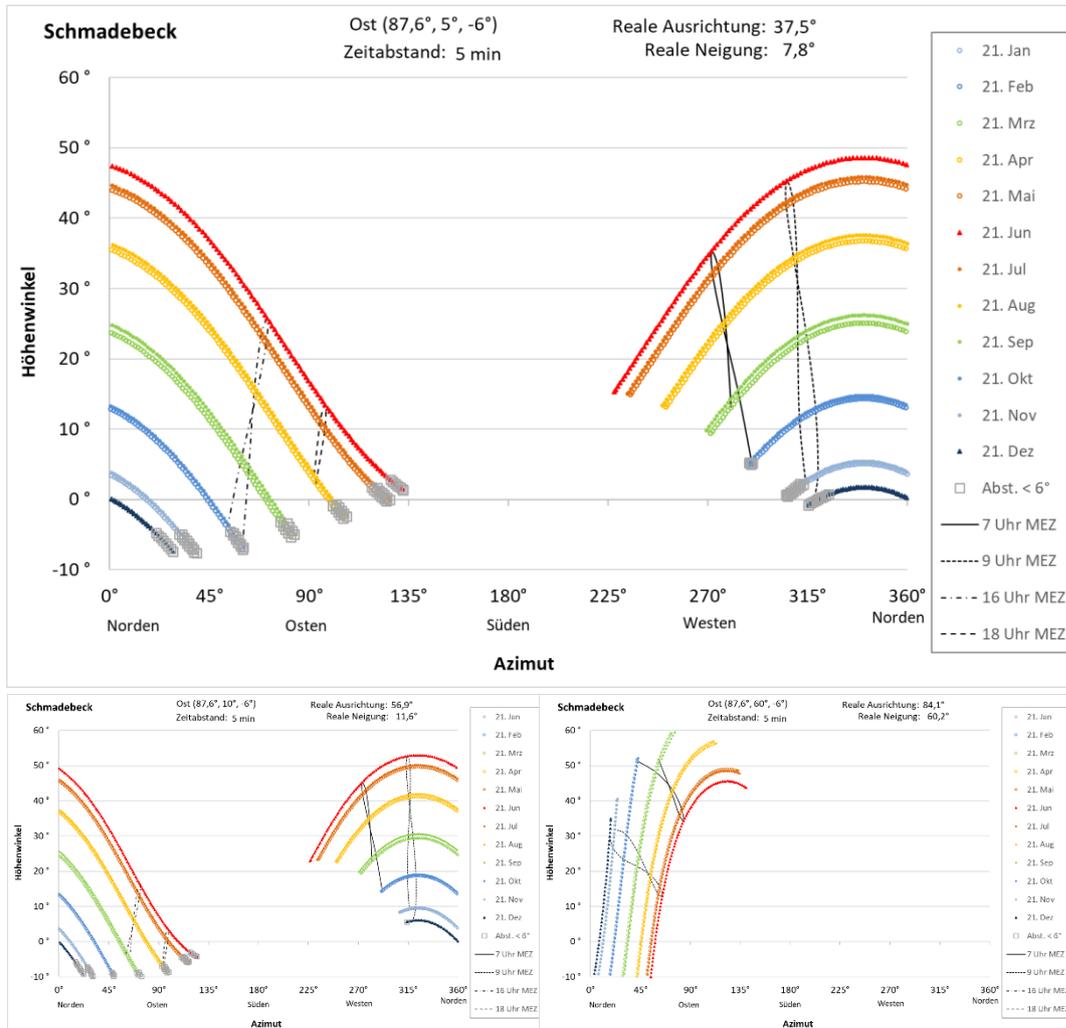


Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 10° (Gefälle in nördliche Richtung)

7.3 Ausrichtung der PV-Module nach Westen

Abbildung 11 zeigt die Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichteten PV-Module. Bei einer Neigung zur Horizontalen von 5° auf ebenem Boden, wie sie bei astronomischer Nachführung kurz vor Sonnenuntergang vorliegen würde, können keine Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln in die östliche Hemisphäre gerichtet werden. Hingegen können bei dieser Einstellung morgens Sonnenlichtreflexionen mit negativen Höhenwinkeln in einem Azimutbereich von ca. 240° bis 320° auf die Immissionsorte in der westlichen Hemisphäre gerichtet werden.

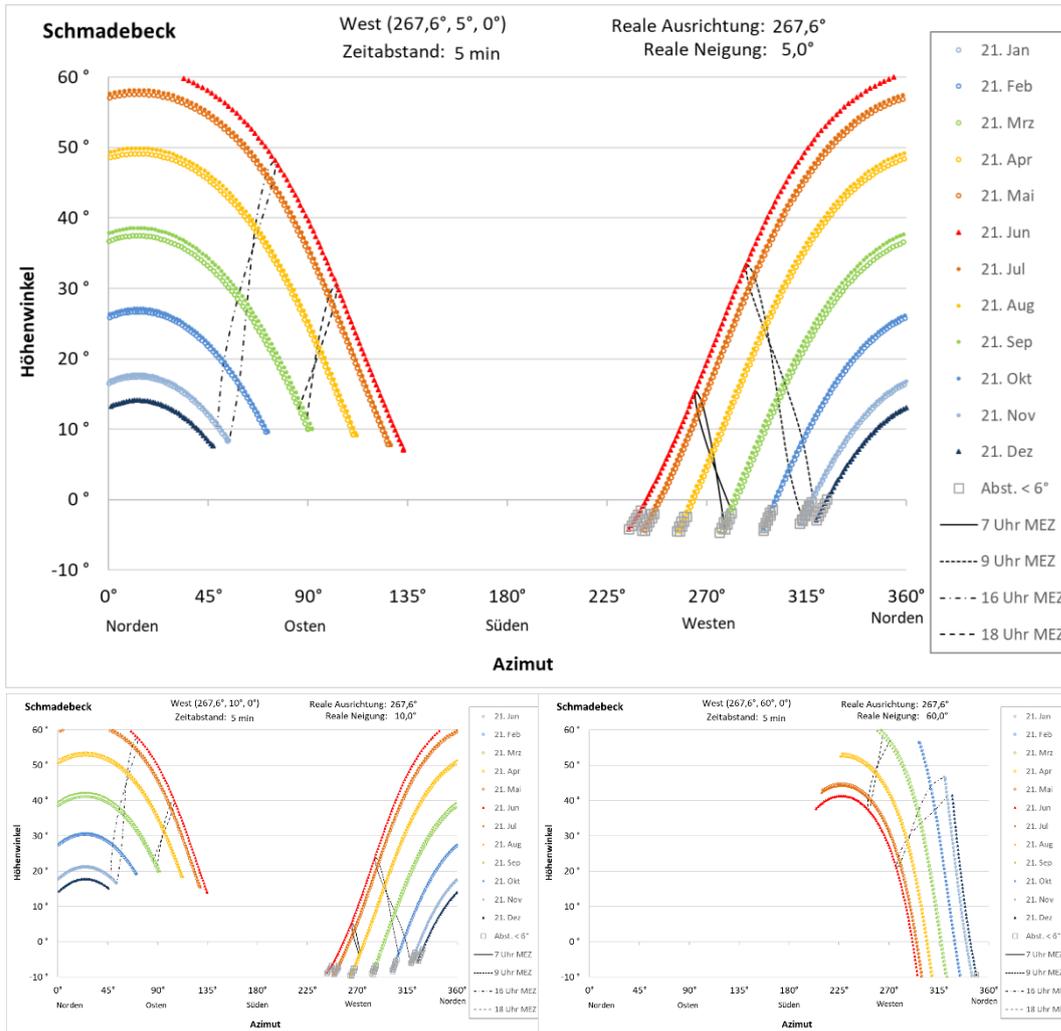


Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Neigung

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 12 zeigen den Einfluss der möglichen Achsneigungen für Gelände mit Anstieg in nördliche Richtung auf das Reflexionsgeschehen. Bei der geländebedingt maximal möglichen Achsneigung von 10° verändert sich die Azimutausrichtung der reflektierenden Ebene der PV-Module bei einer Planneigung von 5° zur Horizontalen auf 204,3°. Die reale Modulneigung zur Horizontalen beträgt 11,2°. Damit können kurz vor Sonnenuntergang blendrelevante Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln nach Südosten gerichtet werden. Auch bei einer Planneigung von 10° sind noch Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln in die östliche Hemisphäre möglich.

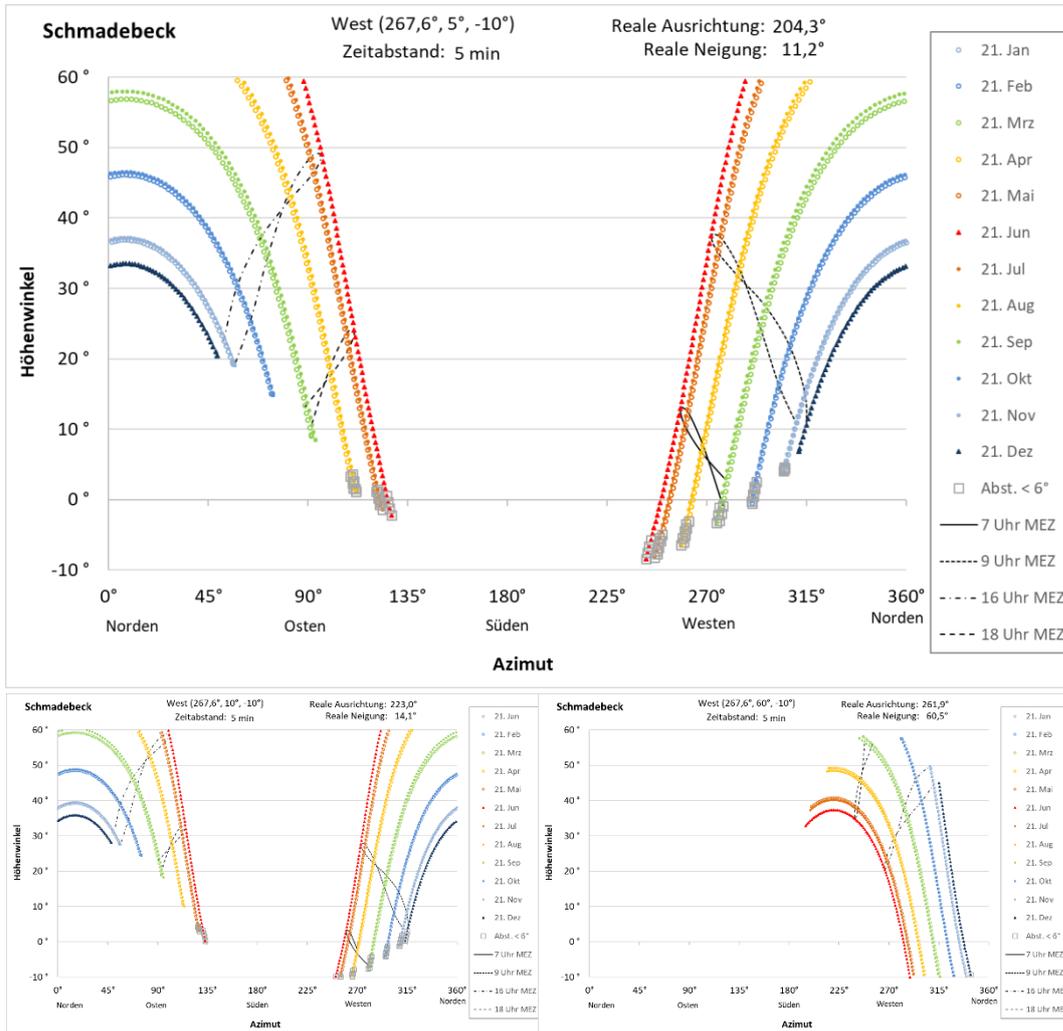


Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsneigung des Trackersystems von 10° mit Anstieg in nördliche Richtung

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 13 zeigen den Einfluss der möglichen Achsneigungen für Gelände mit Anstieg in südliche Richtung auf das Reflexionsgeschehen. Bei der geländebedingt maximal möglichen Achsneigung von 6° verändert sich die Azimutausrichtung der reflektierenden Ebene der PV-Module bei einer Planneigung von 5° zur Horizontalen auf 317,7°. Die reale Modulneigung zur Horizontalen beträgt 7,8°. Damit können in den Wintermonaten abends blendrelevante Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln auch in die östliche Hemisphäre (Nordnordost) gerichtet werden. Bei einer Planneigung von 10° kann die östliche Hemisphäre nur noch frühmorgens von fast nach Norden gerichteten Reflexionen betroffen werden.

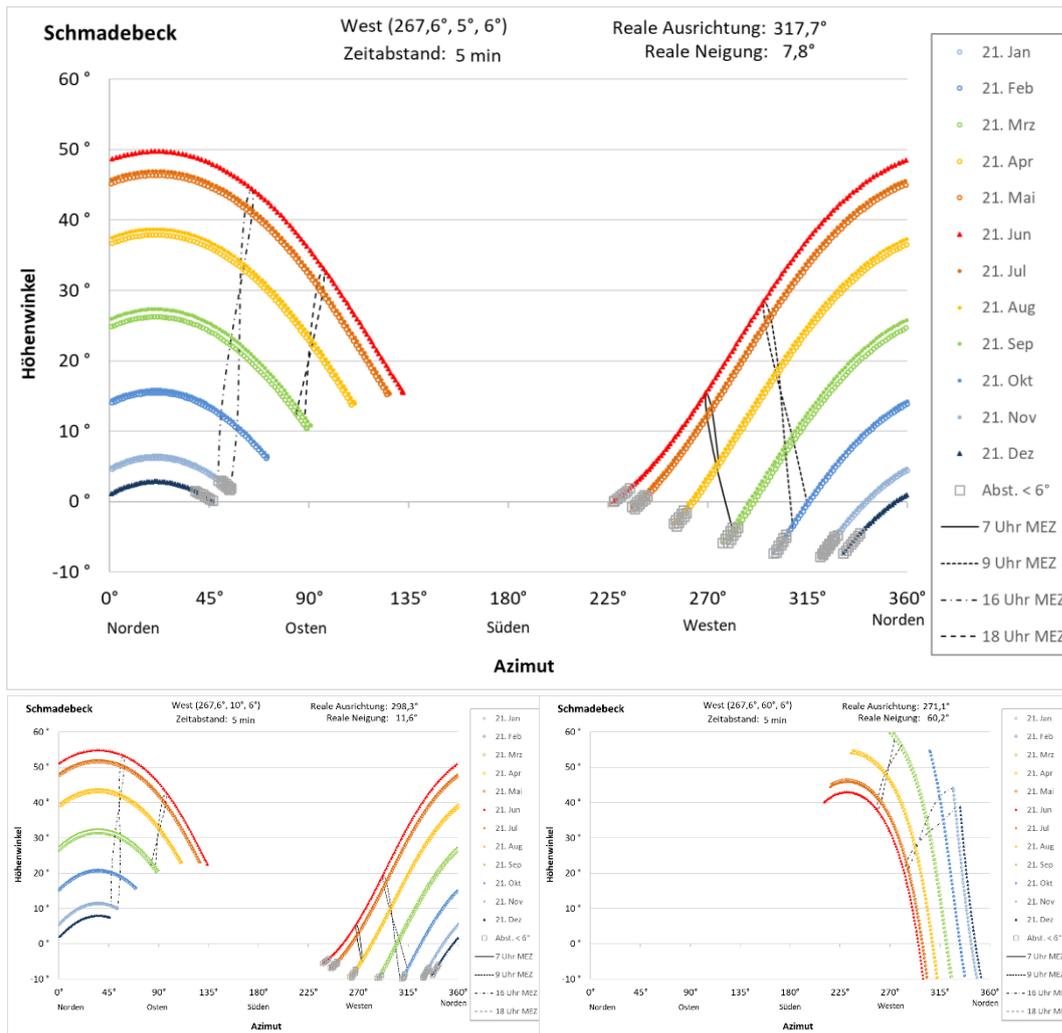


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 6° mit Anstieg in südliche Richtung

7.4 Horizontalposition

Abbildung 14 zeigt die Reflexionsdiagramme für die Horizontalstellung der PV-Module auf ebenem Gelände und bei maximalem Geländeanstieg nach Norden respektive Süden. Auf ebenem Gelände können nur Reflexionen mit positiven Höhenwinkeln auftreten, da die Sonne über der Horizontalebene stehen muss, um die Moduloberfläche zu erreichen. Ein Hang mit Anstieg nach Norden bewirkt eine Azimutausrichtung nach Süden und damit kurz nach Sonnenaufgang Reflexionen mit negativen Höhenwinkeln in südwestliche Richtung und kurz vor Sonnenuntergang in südöstliche Richtung. Eine Hanglage mit Anstieg nach Süden bewirkt eine Azimutausrichtung nach Norden und führt kurz nach Sonnenaufgang zu Reflexionen mit negativen Höhenwinkeln in nordwestliche Richtung und kurz vor Sonnenuntergang in nordöstliche Richtung.

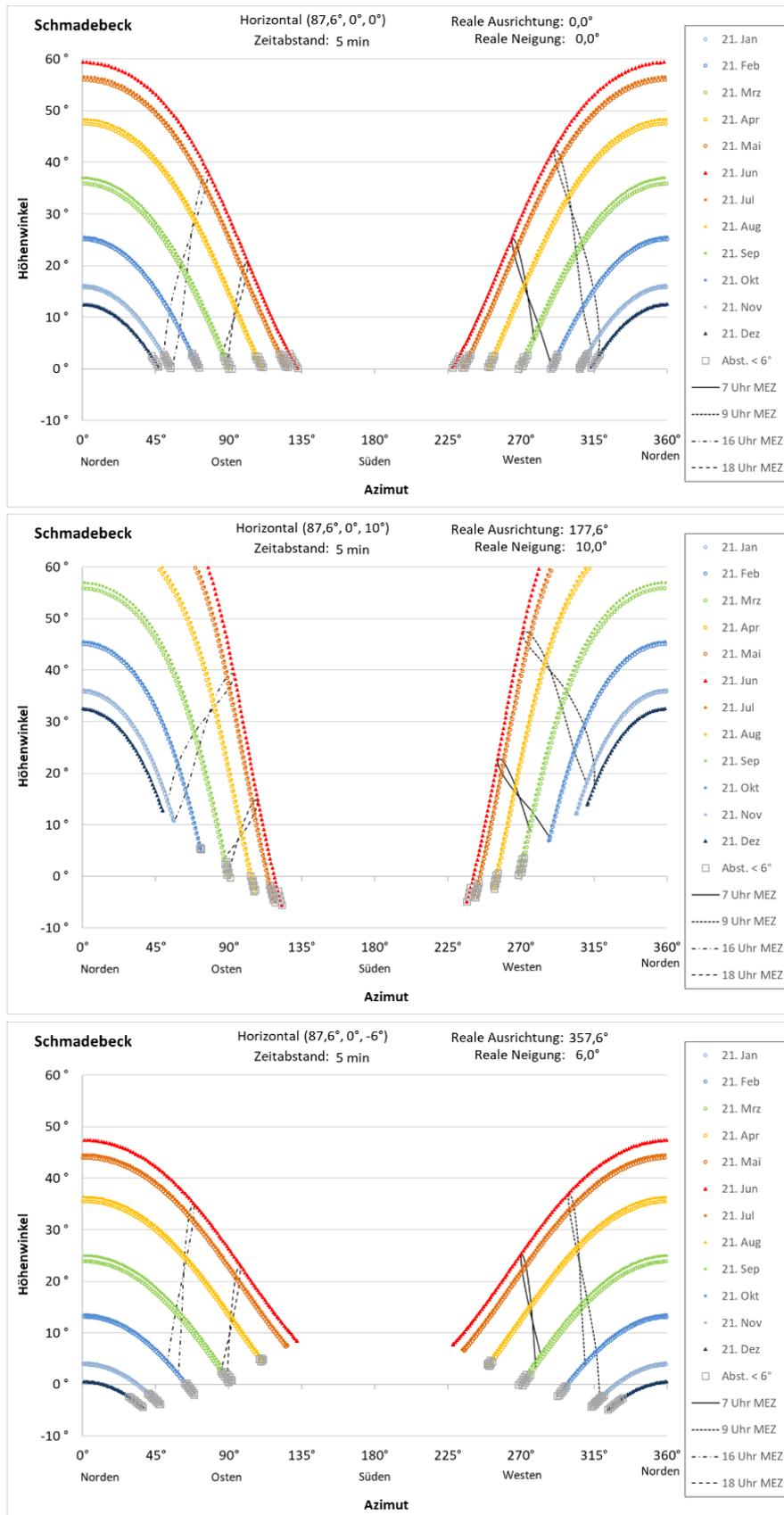


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für PV-Module in Horizontalposition bei einer Neigungen der Drehachse von 0° (oben), 10° mit Anstieg nach Norden (Mitte) und 6° mit Anstieg nach Süden (unten)



8 Ermittlung der zu prüfenden Immissionsorte

Ein Blendrisiko für die Fahrzeugführenden im Straßenverkehr besteht nur dann, wenn Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld gerichtet werden können. Abbildung 15 zeigt die Hauptblickrichtung und die Grenzen des peripheren Blickfelds für repräsentative Blickpunkte auf unterschiedlichen Streckenabschnitten der K 5 und des Brusower Landwegs bei der Annäherung an die Belegungsfelder der PV-Anlage. Für die hellgrün markierten Blickpunkte liegen zwar die PV-Module einiger Belegungsfelder im peripheren Blickfeld, diese sind aber durch Hügelkuppen verdeckt, so dass nur für die cyanfarbenen markierten Blickpunkte eine Blendanalyse erforderlich ist.

Für den Verkehr auf der K 5 (Satower Straße) aus südlicher Richtung besteht kein Blendrisiko, da zu keinem Zeitpunkt PV-Modulen im zentralen oder peripheren Sichtfeld sichtbar sind.

Für den Verkehr auf der K 5 (Bützower Straße) aus nördlicher Richtung geraten die PV-Module der Belegungsfelder BF_1 und BF_4 ab einer Entfernung von ca. 800 m in das Blickfeld der Fahrzeugführenden. Es ist für die Blickpunkte K5_vN_1 und K5_vN_2 zu prüfen, bei welchen Systemzuständen blendwirksame Reflexionen auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

Für den Verkehr auf dem Brusower Landweg aus südlicher Richtung sind die PV-Module des Belegungsfelds BF_8 bei der Annäherung sichtbar. Das Belegungsfeld BF_6 ist hingegen durch eine Kuppe verdeckt. Bei der Annäherung aus nördlicher Richtung geraten die PV-Module des Belegungsfelds BF_6 ab einer Entfernung von ca. 200 m in das Blickfeld der Fahrzeugführenden. Nach der folgenden Linkskurve und der Passage des Anliegers westlich der Straße geraten die PV-Module des Belegungsfelds BF_8 in das Blickfeld der Fahrzeugführenden. Auch hier ist eine detaillierte Blendanalyse erforderlich.

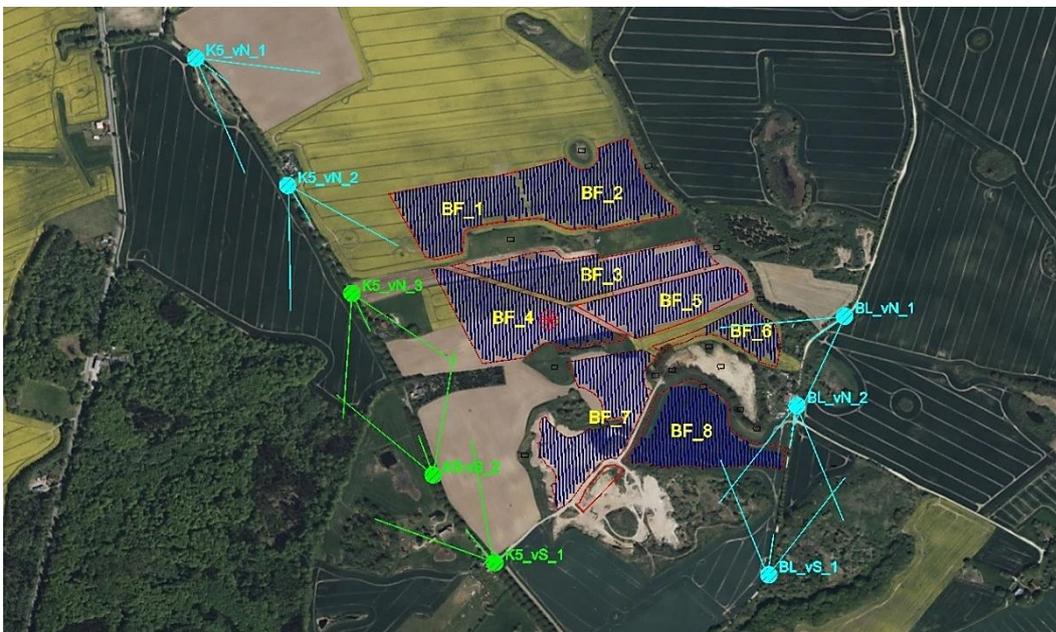


Abbildung 15: Blickfelder der Fahrzeugführenden bei der Annäherung an die Belegungsfelder der PV-Anlage



9 Reflexions- und Blickpunkte für die Blendanalyse

Es ist zu prüfen, bei welchen Positionen der Trackersysteme

- ▶ die Fahrzeugführenden am Blickpunkt K5_vN_1 von Reflexionen der Belegungsfelder BF_1 und BF_4 betroffen sein können,
- ▶ die Fahrzeugführenden am Blickpunkt KN_vN_2 von Reflexionen des Belegungsfelds BF_4 betroffen sein können,
- ▶ die Fahrzeugführenden am Blickpunkt BL_vS_1 von Reflexionen des Belegungsfelds BF_8 betroffen sein können,
- ▶ die Fahrzeugführenden am Blickpunkt BL_vN_1 von Reflexionen des Belegungsfelds BF_6 betroffen sein können,
- ▶ die Fahrzeugführenden am Blickpunkt BL_vN_2 von Reflexionen des Belegungsfelds BF_8 betroffen sein können.

Abbildung 16 zeigt die modellierten Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene. Als Reflexionspunkt wurde jeweils die nordwestliche Kante einer Tischreihe in Horizontalposition gewählt.

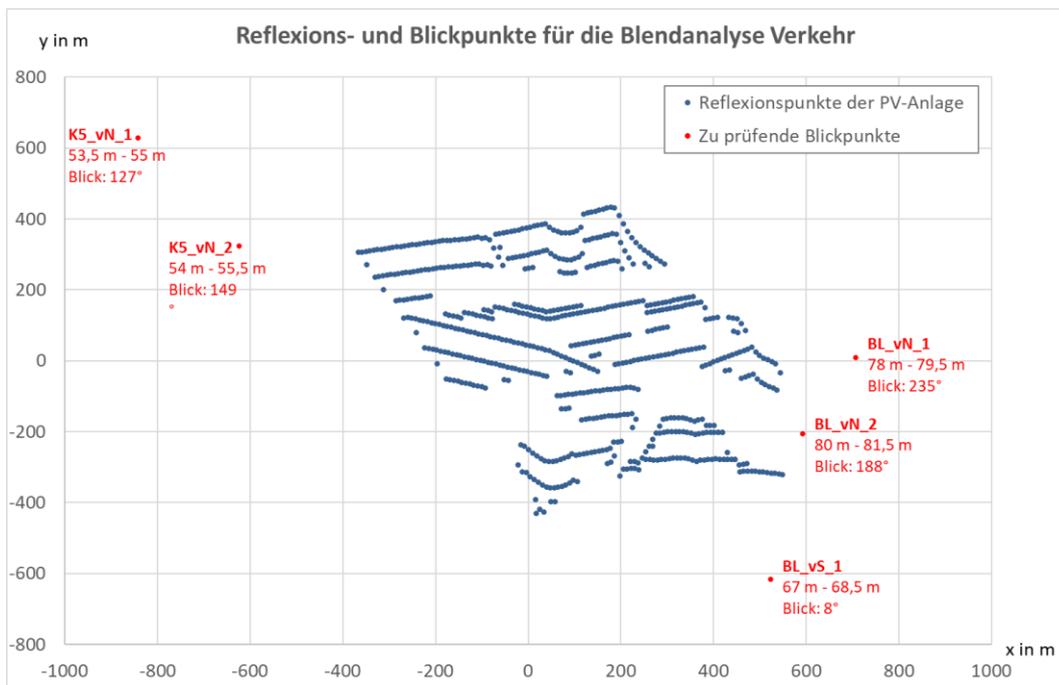


Abbildung 16: Modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen und Blickrichtung am Blickpunkt



10 Berechnungsergebnisse

10.1 Blickpunkt K5_vN_1

Am Blickpunkt K5_vN_1 liegen die PV-Tische der Belegungsfelder BF_1 und BF_4 im Blickfeld der Fahrzeugführenden mit Fahrtrichtung Südsüdost. Für die am Blickpunkt sichtbaren PV-Tische ist eine maximale Achsneigung von 6° mit Anstieg nach Norden und 5° mit Anstieg nach Süden zu berücksichtigen. Für Verkehr aus nördlicher Richtung stellt der maximale Anstieg nach Süden den Worst-Case dar, für den die nachfolgenden Berechnungen durchgeführt werden.

Das Reflexionsdiagramm für das nach Osten ausgerichtete Trackersystem mit einer Planneigung von 5° und einem Anstieg der Drehachse um 5° in Richtung Süden in Abbildung 17 zeigt, dass keine Sonnenlichtreflexionen auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein können und damit kein Blendrisiko besteht. Mit zunehmender Planneigung des Trackersystems wächst der Abstand der Reflexionen zum Blickpunkt weiter an.

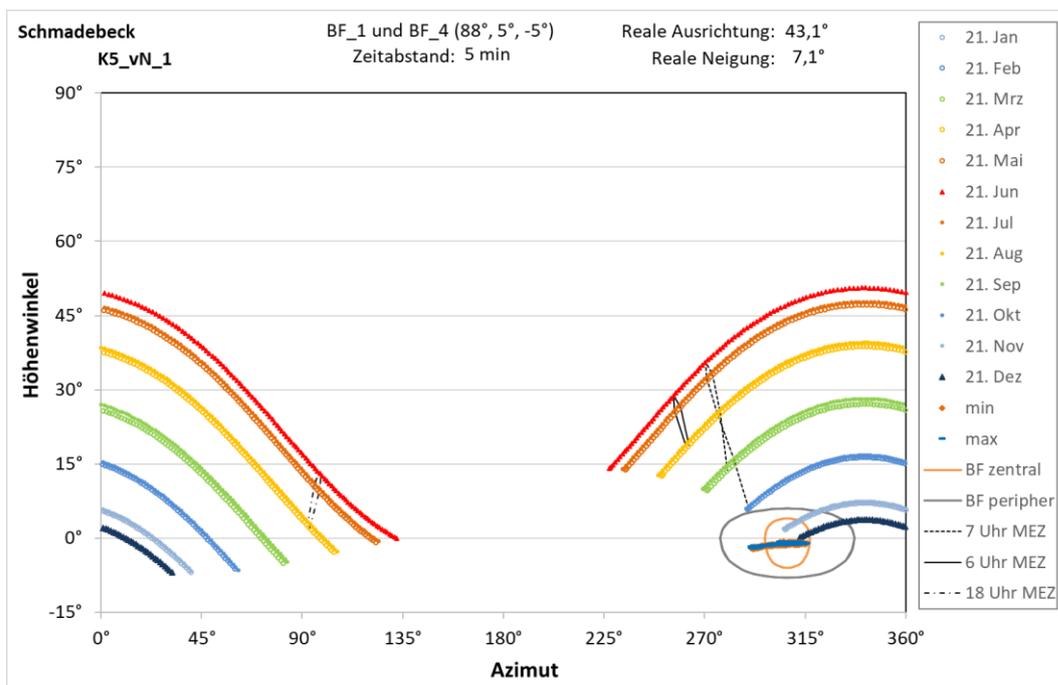


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 mit Ausrichtung nach Osten und 5° Planneigung bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1

Die Reflexionsdiagramme für das nach Westen ausgerichtete Trackersystem mit einer Planneigung von 5° (oben) und in Horizontalposition (unten), jeweils bei einem Anstieg der Drehachse um 5° in Richtung Süden in Abbildung 18 veranschaulichen, dass die Fahrzeugführenden bei beiden Trackerpositionen kurz nach Sonnenaufgang von Reflexionen in das zentrale Blickfeld betroffen werden können. Während die Reflexionen der mit 5° Neigung nach Westen ausgerichteten PV-Module ein Blendrisiko verursachen, kann in der Horizontalposition auf Grund der geringen Lichtstärke ein Blendrisiko ausgeschlossen werden. Die lichtschwachen Reflexionen werden durch die auf einer maximalen Höhe von 6° über der reflektierenden Fläche stehenden Sonne überstrahlt. Tabelle 2 fasst die bewertungsrelevanten lichttechnischen Berechnungsergebnisse für den Blickpunkt K5_vN_1 zusammen.

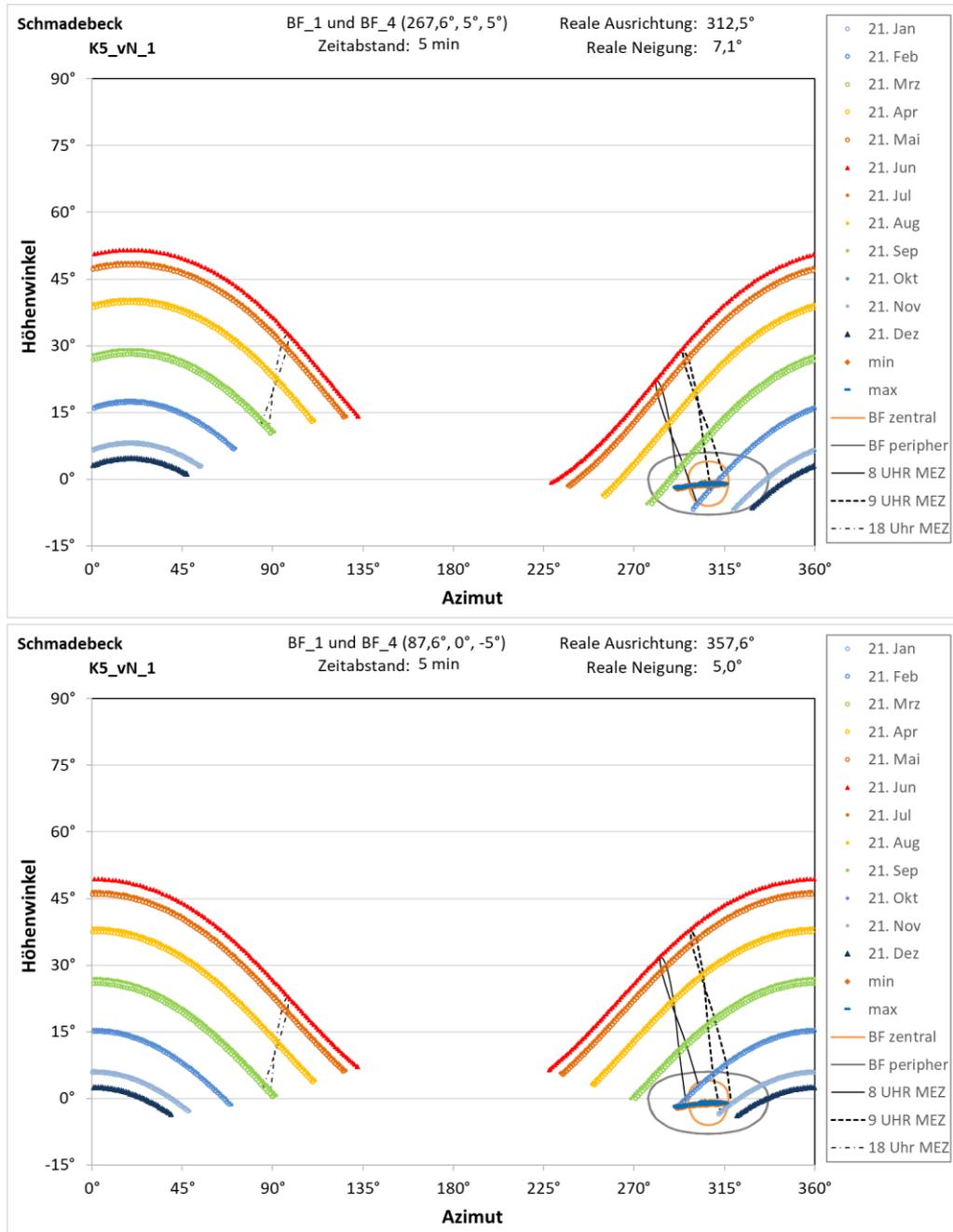


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 mit einer Ausrichtung nach Westen und 5° Planneigung (oben) sowie in Horizontalpositionen (unten) bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1

Tabelle 2: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt K5_vN_1

Reflexion	Az-Diff. Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke	Sonnenhöhe	Az-Diff. Sonne
K5_vN_1_268-5-5_hell	5,4°	-0,8°	1.046 lx	13,4°	5,4°
K5_vN_1_268-5-5_nah	0,1°	-0,9°	1.014	13,1°	0,2°
K5_vN_1_88-0-5_hell	8,6°	-1,0°	291 lx	6,4°	8,3°
K5_vN_1_88-0-5_nah	0,1°	-0,9°	210 lx	5,3°	0,4°



10.2 Blickpunkt K5_vN_2

Am Blickpunkt K5_vN_2 liegen nur noch die PV-Module des Belegungsfelds BF_4 im Blickfeld der Fahrzeugführenden. Das Reflexionsdiagramm für das nach Osten ausgerichtete Trackersystem mit einer Planneigung von 5° und einem Anstieg der Drehachse um 5° in Richtung Süden in Abbildung 19 zeigt, dass keine Sonnenlichtreflexionen auf die Fahrzeugführenden gerichtet sein können und damit kein Blendrisiko besteht.

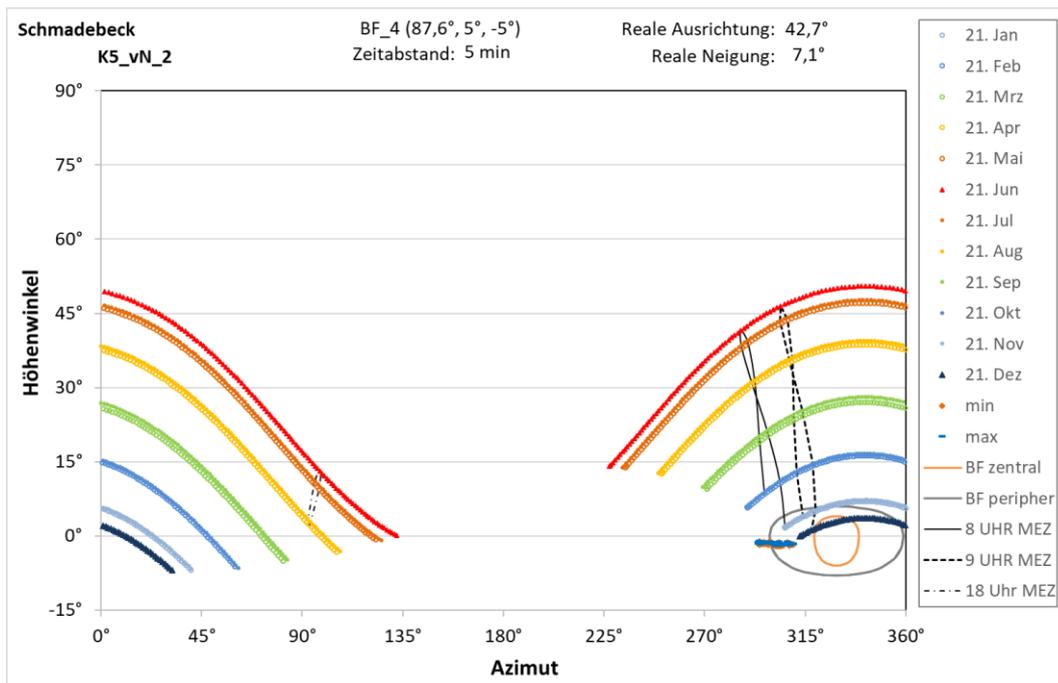


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld BF_4 mit Ausrichtung nach Osten und 5° Planneigung bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_2

Die Reflexionsdiagramme für das nach Westen ausgerichtete Trackersystem mit einer Planneigung von 5° (oben) und in Horizontalposition (unten), jeweils bei einem Anstieg der Drehachse um 5° in Richtung Süden in Abbildung 20 veranschaulichen, dass die Fahrzeugführenden bei beiden Trackerpositionen kurz nach Sonnenaufgang von Reflexionen in das periphere Blickfeld betroffen werden können, die auf Grund ihrer Position im Blickfeld und ihrer relativ geringen Beleuchtungsstärke kein Blendrisiko bewirken können. Tabelle 3 fasst die bewertungsrelevanten lichttechnischen Berechnungsergebnisse für den Blickpunkt K5_vN_2 zusammen.

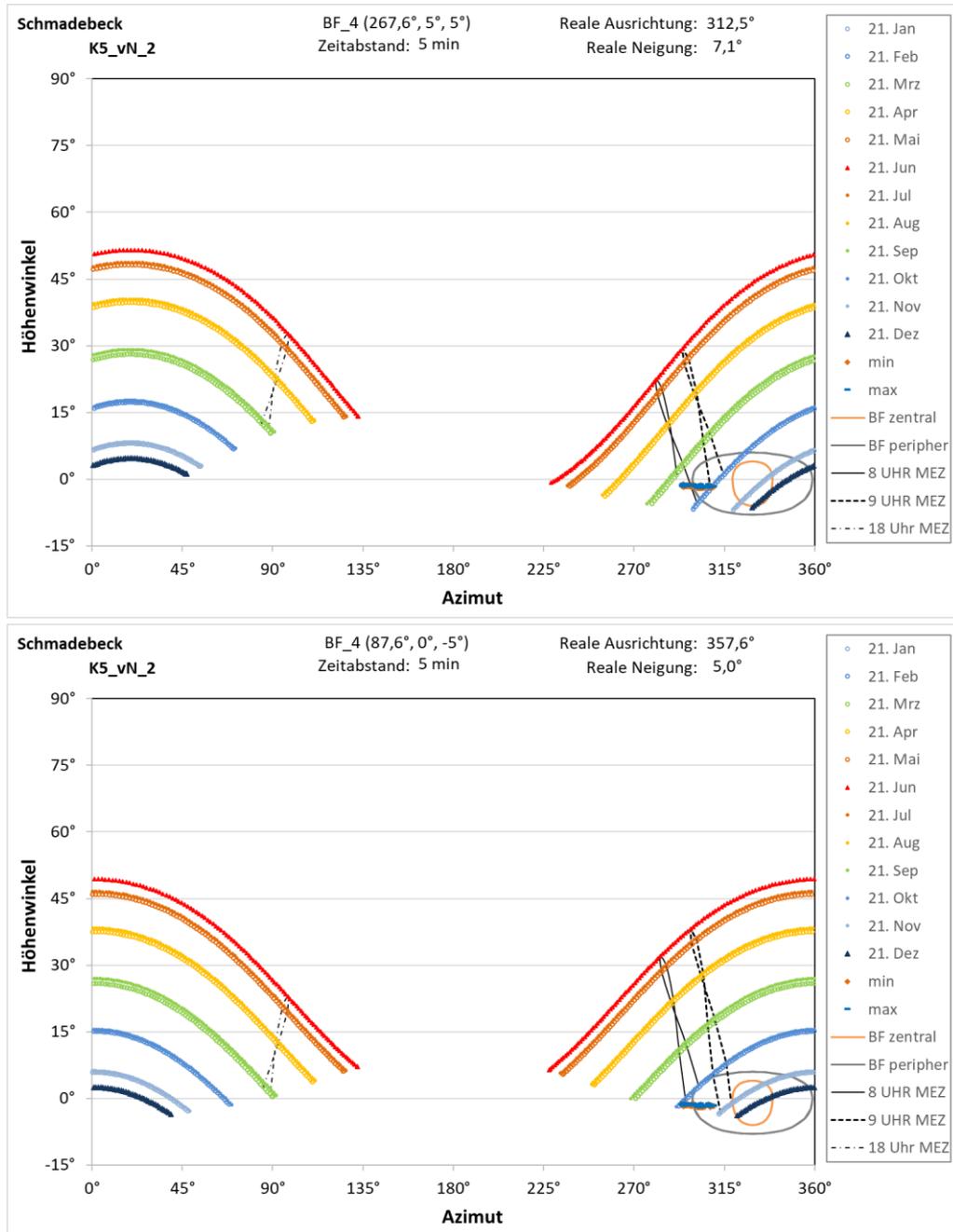


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 bei einer Ausrichtung nach Westen und 5° Planneigung (oben) sowie in Horizontalpositionen (unten) bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1

Tabelle 3: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt K5_vN_2

Reflexion	Az-Diff. Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke	Sonnenhöhe	Az-Diff. Sonne
K5_vN_2_268-5-5_nah	19,1°	-1,6°	913 lx	12,4°	19,2°
K5_vN_2_268-5-5_hell	22,1°	-1,2°	965 lx	12,8°	22,2°
K5_vN_2_88-0-5_nah	19,1°	-1,6°	166 lx	5,2°	19,3°
K5_vN_2_88-0-5_hell	22,1°	-1,2°	176 lx	5,1°	22,3°



10.3 Blickpunkt BL_vS_1

Am Blickpunkt BL_vS_1 sind die PV-Module des Belegungsfelds BF_8 für die Fahrzeugführenden aus südlicher Richtung auf dem Brusower Landweg in einer Entfernung von mehr als 250 m links der Fahrbahn sichtbar. Für die am Blickpunkt sichtbaren PV-Tische ist eine Achsneigung von 4° mit Anstieg nach Norden zu berücksichtigen.

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 21 für die nach Osten (oben), Westen (Mitte) und Horizontal (unten) ausgerichteten PV-Module zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt im Jahr Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

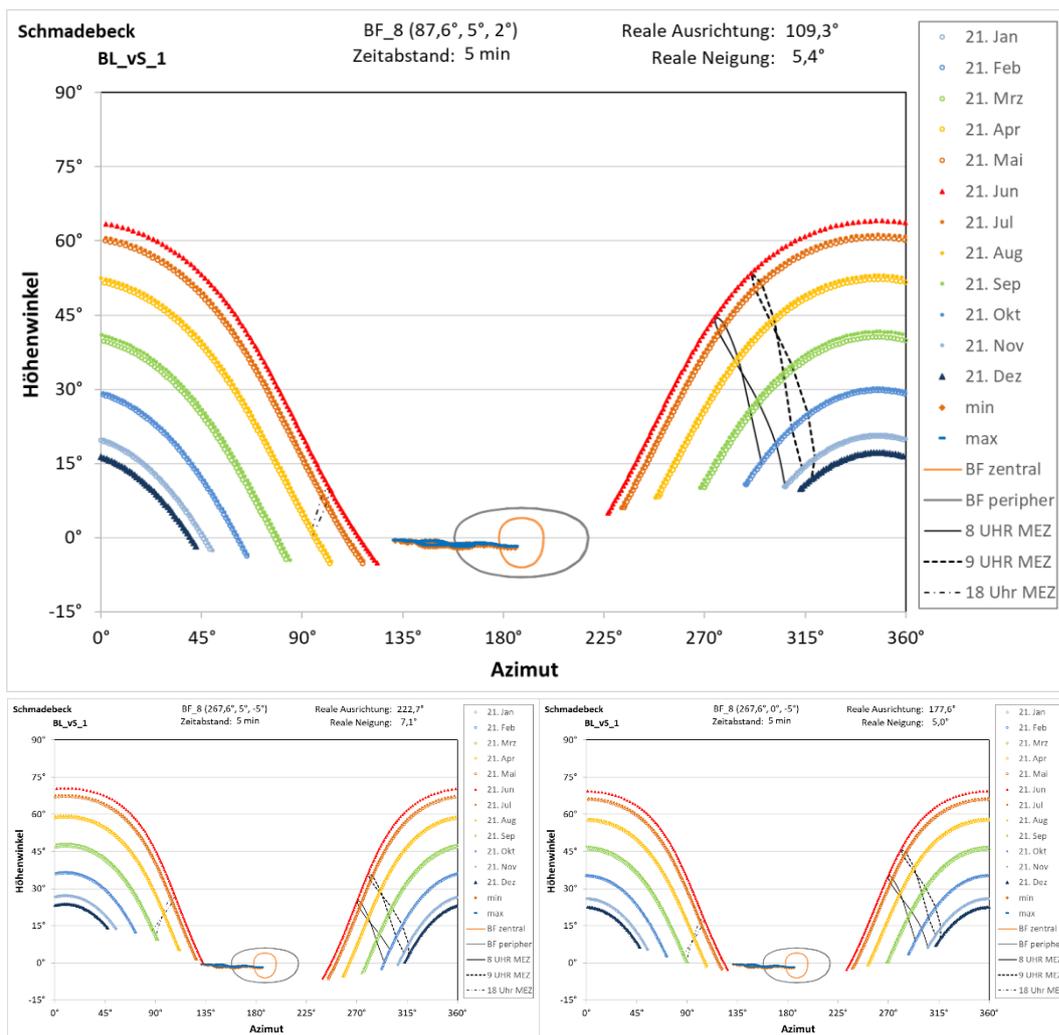


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_8 mit Ausrichtung nach Osten (oben), Ausrichtung nach Westen (unten) und in Horizontalposition am Blickpunkt BL_vS_1



10.4 Blickpunkt BL_vN_1

Am Blickpunkt BL_vN_1 sind die PV-Module des Belegungsfelds BF_6 für die Fahrzeugführenden aus nordnordöstlicher Richtung auf dem Brusower Landweg in einer Entfernung von mehr als 150 m in Fahrtrichtung und links der Fahrbahn sichtbar. Für die am Blickpunkt sichtbaren PV-Tische ist eine Achsneigung von bis zu 2° mit Anstieg nach Norden und nach Süden zu berücksichtigen.

Bei Ausrichtung nach Osten stellt der maximale Anstieg der Drehachse nach Norden den Worst-Case dar. Das Reflexionsdiagramm für eine Modulausrichtung nach Osten bei einer Planneigung von 5° und einem Anstieg der Drehachse von 2° nach Norden in Abbildung 22 veranschaulicht, dass die PV-Module des Belegungsfelds BF_6 von Ende Februar bis Ende April und von Mitte August bis Mitte Oktober zwischen 16 Uhr und 18 Uhr MEZ für ca. 5 min in das zentrale und periphere Blickfeld reflektieren können. Tabelle 4 zeigt die bewertungsrelevanten Berechnungsergebnisse.

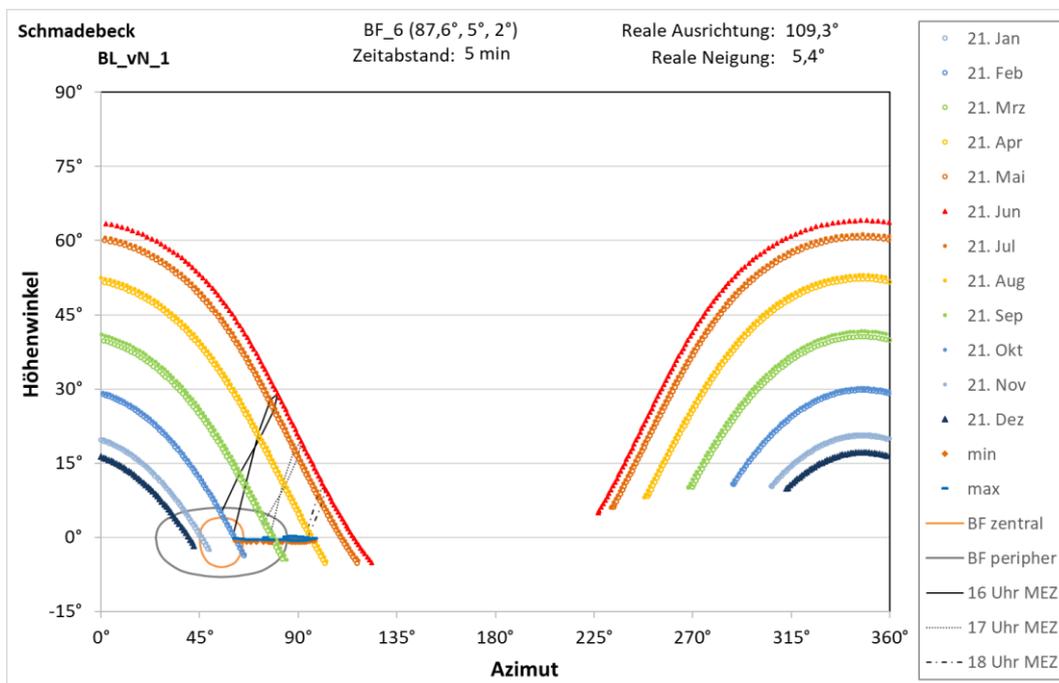


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld BF_6 mit Ausrichtung nach Osten (oben) bei 5° Planneigung und Anstieg der Drehachse um 2° nach Norden am Blickpunkt BL_vN_1

Tabelle 4: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt BL_vN_1

Reflexion	Az-Diff. Blickachse	Höhenwinkel	Bel.-stärke	Sonnenhöhe	Az-Diff. Sonne
BL_vN_1_87-5-2_nah	6,3°	-0,2°	381 lx	7,0°	5,8°
BL_vN_1_87-5-2_hell	29,2°	0,2°	690 lx	9,4°	28,8°

Die Reflexionsdiagramm für die Horizontalposition und bei Ausrichtung nach Westen in Abbildung 23 zeigen, dass keine Reflexionen in die Blickfelder der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

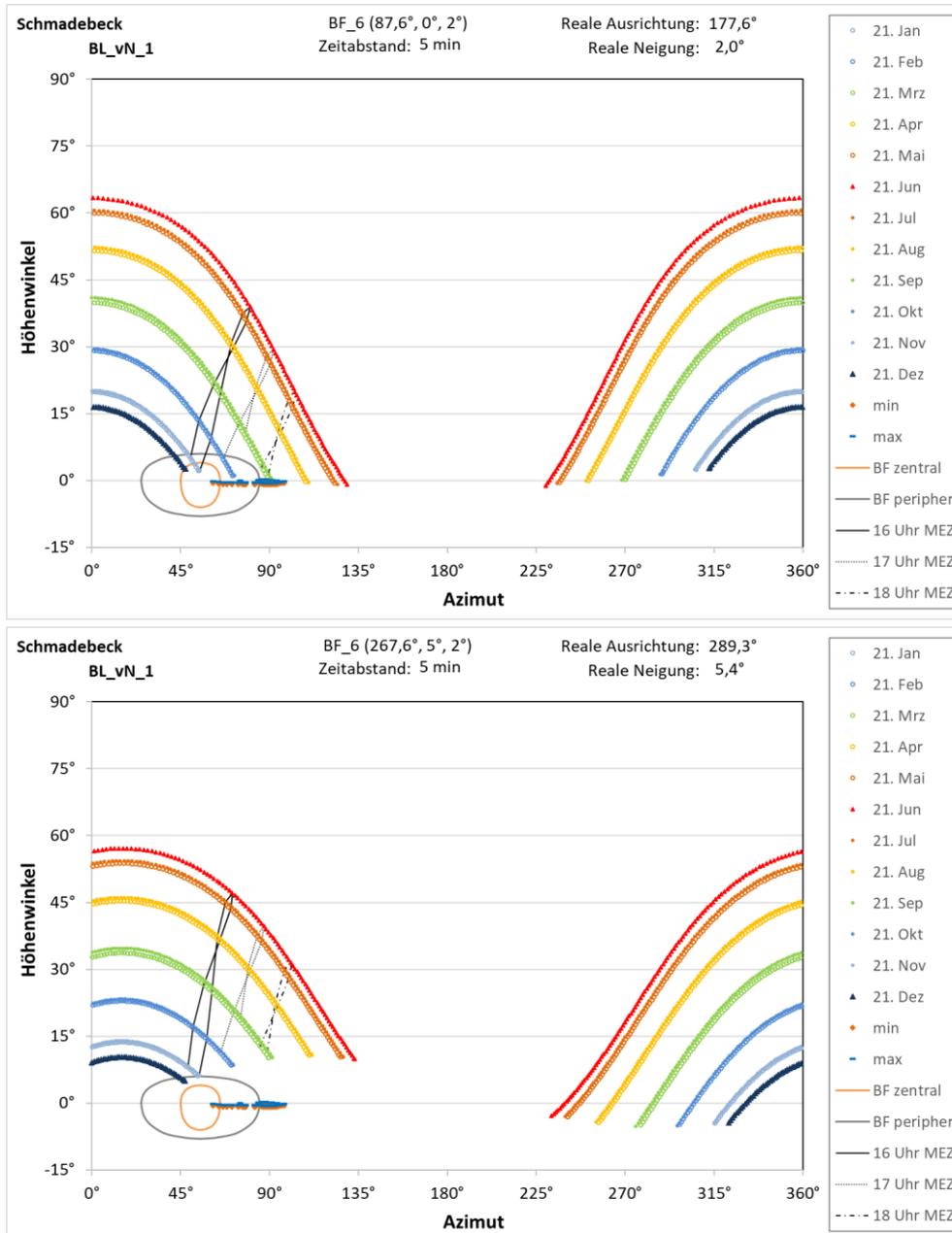


Abbildung 23: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_6 in Horizontalposition (oben) und mit Ausrichtung nach Westen bei 5° Planneigung (unten) am Blickpunkt BL_vN_1

10.5 Blickpunkt BL_vN_2

Am Blickpunkt BL_vN_2 sind die PV-Module des Belegungsfelds BF_8 für die Fahrzeugführenden aus nordnordöstlicher Richtung auf dem Brusower Landweg in einer Entfernung von mehr als 120 m rechts der Fahrbahn sichtbar. Für die im Blickfeld sichtbaren PV-Tische ist eine Achsneigung von 4° mit Anstieg nach Norden und nach Süden zu berücksichtigen.

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 24 veranschaulichen, dass die PV-Module bei einer Neigung von bis zu 5° keine Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden auf dem Brusower Landweg richten können.

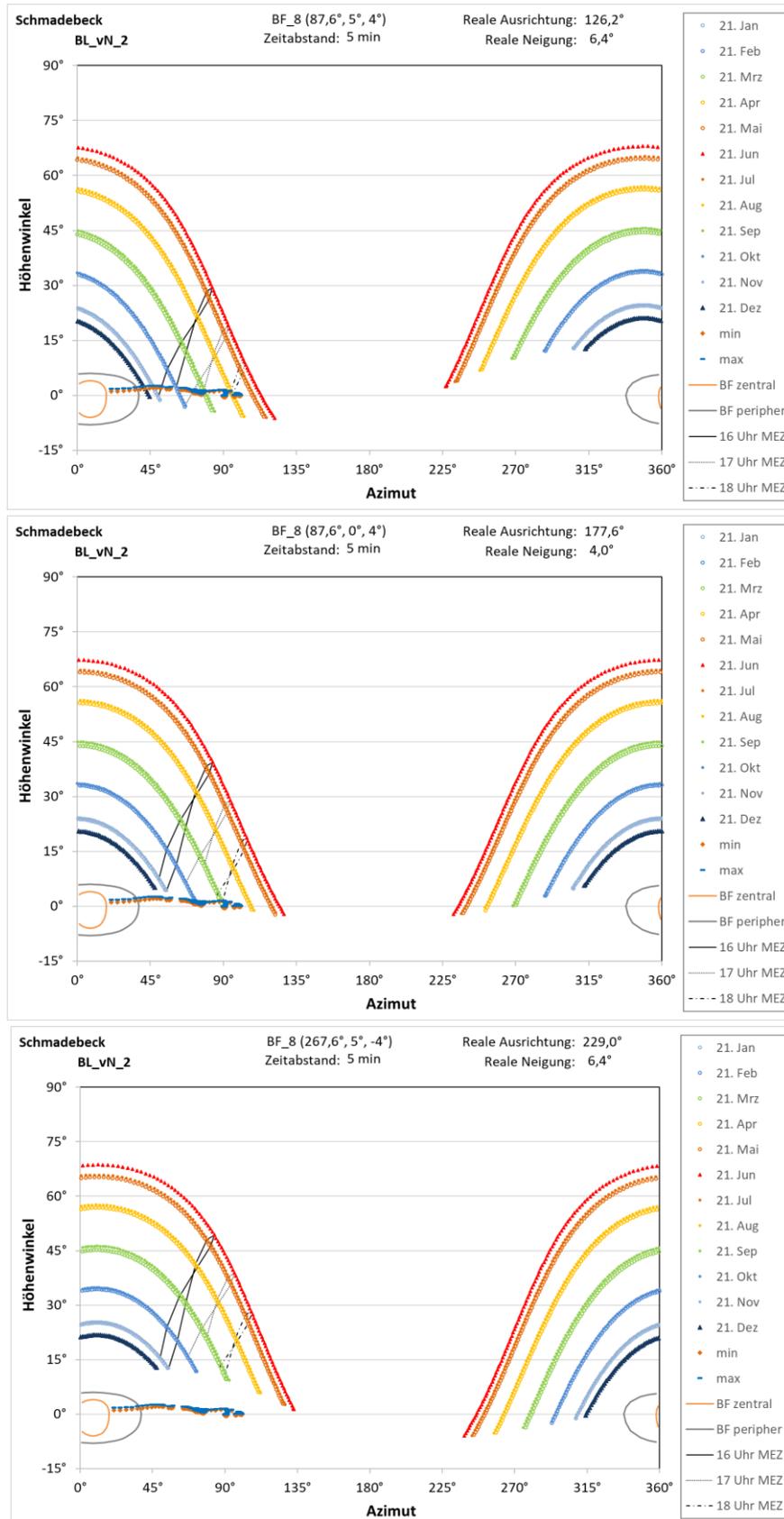


Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_8 mit 5° Planneigung und Ausrichtung nach Osten (oben), Westen (Mitte) und in Horizontalposition (unten) bei einer Hangneigung von 4° am Blickpunkt BL_vN_2



11 Bewertung der Blendrisiken

11.1 Nachführbetrieb

Durch das Nachführungsregime des einachsigen horizontalen Trackersystems der PV-Anlage werden die PV-Module vormittags nach Osten und nachmittags nach Westen ausgerichtet. Ihre Neigung wird dabei vormittags im Winkelbereich von 60° bis 0° der Sonnenhöhe nachgeführt, am Nachmittag dann in umgekehrte Richtung. Wenn die Drehachse keine Neigung zur Horizontalen aufweist, können deshalb prinzipbedingt keine Sonnenlichtreflexionen auf bodennahe Immissionsorte gerichtet werden. Durch die Topografie des Geländes im Vorhabensgebiet können jedoch Neigungen der Drehachse zur Horizontalen von bis zu 10° in nördliche Richtung und von bis zu 6° in südliche Richtung auftreten, die zu einer Änderung der Ausrichtung der reflektierenden Flächen in Richtung Süden, bzw. Norden führen. Dies kann bei geringen Planneigungen der Module von < 10° dazu führen, dass von den nach Osten ausgerichteten PV-Modulen morgens Reflexionen in nordwestliche Richtung bzw. südwestliche Richtung möglich sind. Abends können wiederum bei flach nach Westen ausgerichteten PV-Modulen bodennahe Sonnenlichtreflexionen in nordöstliche bzw. südöstliche Richtung gerichtet werden.

Die Blendanalyse für den Verkehr auf der westlich der PV-Anlage in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Kreisstraße K 5 hat ergeben, dass die PV-Module der Belegungsfelder BF_1 und BF_4 auf den in Richtung Süden ansteigenden Hangabschnitten bei einer Ausrichtung nach Osten im Neigungsbereich zwischen 0° und etwas weniger als 5° zur Horizontalen morgens Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden aus nördlicher Richtung auf der K 5 Bützower Straße richten können. Betroffen ist ein ca. 500 m langer Streckabschnitt nordwestlich der PV-Anlage. Aus Sicht der Fahrzeugführenden liegen die reflektierenden Flächen auf einer Höhe von 1° und horizontal 5° bis 10° links des Straßenverlaufs. Auf Grund ihrer geringen Beleuchtungsstärke am Auge und der gleichzeitig auf einer Höhe von maximal 6° über der reflektierenden Fläche stehende Sonne, sind die Reflexionen als nicht blendwirksam einzustufen. Die Fahraufgabe verlangt keinen direkten Blick auf die reflektierende Fläche, und der Beitrag der Reflexionen zur durch die Sonne bedingten Relativblendung ist auf Grund der geringen Beleuchtungsstärke der Reflexionen von weniger als 300 lx an den Augen der Verkehrsteilnehmer vernachlässigbar.

Die Blendanalyse für den Verkehr auf dem östlich der PV-Anlage überwiegend in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Brusower Landweg hat ergeben, dass die Fahrzeugführenden abends zu keinem Zeitpunkt von Sonnenlichtreflexionen der nach Westen ausgerichteten PV-Modulen der Belegungsfelder BF_6 und BF_8 betroffen sein können.

Der Nachführbetrieb der geplanten Anlage „PVA Schmadebeck“ führt zu keinen Risiken für die Sicherheit und Leichtigkeit des Straßenverkehrs.

11.2 Parkpositionen

Die Blendanalyse hat ergeben, dass der Verkehr auf der westlich der PV-Anlage verlaufenden K 5 abends bei einer Modulausrichtung nach Westen von blendwirksamen Sonnenlichtreflexionen betroffen werden kann. Um jegliches Blendrisiko auszuschließen, sollten die Parkpositionen (Anlagenstillstände, Wartungs- oder Mäharbeiten) der westlichen Belegungsfelder BF_1, BF_4 und BF_7 mit einer Neigung von mindestens 5° nach Osten ausgerichtet werden.

Die Blendanalyse hat ergeben, dass der Verkehr auf dem östlich der PV-Anlage verlaufenden Brusower Landweg morgens bei einer Modulausrichtung nach Osten von blendwirksamen Sonnenlichtreflexionen



betroffen werden kann. Um jegliches Blendrisiko auszuschließen, sollten die Parkpositionen (Anlagenstillstände, Wartungs- oder Mäharbeiten) der östlichen Belegungsfelder BF_6 und BF_8 mit einer Neigung von mindestens 5° nach Westen ausgerichtet werden.



12 Verwendete Materialien

12.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei 250214_Schmadebeck_OW_Tracker.dwg
- ▶ Entwurf des Bebauungsplans als Datei 2025-03-10 P225_Kroepelin_B-Plan_Nr.19_PV_Schmadebeck_Entwurf.pdf
- ▶ Beschreibungen des Trackersystems als Dateien 2024-09-19 ZM-Planning Datasheet - 2024_V01.pdf und ZM23-Pitch&Azimuth yield analysis_V02.pdf

12.2 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
- ▶ 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
- ▶ 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
- ▶ Hinweise der LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz) zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen (LAI-Richtlinie); Stand 3.11.2015
- ▶ 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
- ▶ 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



13 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage „Schmadebeck“ (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)	4
Abbildung 2: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm (oben) und Detailansicht mit Bestimmung der Azimutbereiche, in die bodennahe blendwirksame Reflexionen gerichtet werden können (unten)	11
Abbildung 3: Beispielhafte Reflexionsdiagramme mit Sichtbeziehung zu Fahrzeugführenden, ohne Sichtschutz	13
Abbildung 4: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)	14
Abbildung 5: Vorhabensgebiet SO-PV "PVA Schmadebeck"; Quelle: Entwurf B-Plan Nr. 19 „PVA Schmadebeck“, Stand: 10.03.2025	15
Abbildung 6: Belegungsplan der PV-Anlage (Modultischreihen in blau, Baugrenzen in rot)	16
Abbildung 7: Trackersystem im Querschnitt (oben) und in Seitenansicht bei Hanglage (unten); Quelle: Kundenmaterial	17
Abbildung 8: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Neigung	18
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 10° mit Anstieg in nördliche Richtung	19
Abbildung 10: Reflexionsdiagramme für nach Osten ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 10° (Gefälle in nördliche Richtung)	20
Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Neigung	21
Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 10° mit Anstieg in nördliche Richtung	22
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für nach Westen ausgerichtete PV-Module mit 5° (oben), 10° (unten links) und 60° (unten rechts) Planneigung bei einer Achsenneigung des Trackersystems von 6° mit Anstieg in südliche Richtung	23
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für PV-Module in Horizontalposition bei einer Neigungen der Drehachse von 0° (oben), 10° mit Anstieg nach Norden (Mitte) und 6° mit Anstieg nach Süden (unten)	24
Abbildung 15: Blickfelder der Fahrzeugführenden bei der Annäherung an die Belegungsfelder der PV-Anlage	25
Abbildung 16: Modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenpunkthöhen und Blickrichtung am Blickpunkt	26



Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 mit Ausrichtung nach Osten und 5° Planneigung bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1.....27

Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 mit einer Ausrichtung nach Westen und 5° Planneigung (oben) sowie in Horizontalpositionen (unten) bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1.....28

Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld BF_4 mit Ausrichtung nach Osten und 5° Planneigung bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_229

Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für die Belegungsfelder BF_1 und BF_4 bei einer Ausrichtung nach Westen und 5° Planneigung (oben) sowie in Horizontalpositionen (unten) bei maximale Achsneigung mit Anstieg nach Süden am Blickpunkt K5_vN_1.....30

Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_8 mit Ausrichtung nach Osten (oben), Ausrichtung nach Westen (unten) und in Horizontalposition am Blickpunkt BL_vS_131

Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für das Belegungsfeld BF_6 mit Ausrichtung nach Osten (oben) bei 5° Planneigung und Anstieg der Drehachse um 2° nach Norden am Blickpunkt BL_vN_1.....32

Abbildung 23: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_6 in Horizontalposition (oben) und mit Ausrichtung nach Westen bei 5° Planneigung (unten) am Blickpunkt BL_vN_133

Abbildung 24: Reflexionsdiagramme für das Belegungsfeld BF_8 mit 5° Planneigung und Ausrichtung nach Osten (oben) , Westen (Mitte) und in Horizontalposition (unten) bei einer Hangneigung von 4° am Blickpunkt BL_vN_2.....34



14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemangaben der PV-Anlage	17
Tabelle 2: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt K5_vN_1	28
Tabelle 3: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt K5_vN_2	30
Tabelle 4: Bewertungsrelevante Ergebnisse der lichttechnischen Berechnungen am Blickpunkt BL_vN_1	32