

Solarpraxis Engineering GmbH · Alboinstraße 36-42 · 12103 Berlin, Germany

► **Blendgutachten Solarpark Gerswalde**

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Solarpark Uckerland GmbHG
Ort Weiler 12
17268 Gerswalde

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-396
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: ralfschmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 02.01.2023

Projektnummer: P22443/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens.....	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	Gesetzliche Grundlagen.....	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht.....	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.2	Blendung.....	7
3.2.1	Blendung allgemein.....	7
3.2.2	Blendung im Verkehrsbereich.....	8
3.2.3	Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich.....	11
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	11
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben.....	12
4	Situation vor Ort	13
5	Berechnungen	15
5.1	Reflexions- und Blickpunkte	15
5.1.1	Modellierungsansatz	15
5.1.2	Straßenverkehr.....	15
5.1.3	Wohnbebauung	17
5.2	Allgemeines Reflexionsdiagramm	19
5.3	Reflexionsdiagramme mit Blickbeziehungen	20
5.4	Lichttechnische Aspekte.....	23
6	Berechnungsergebnisse.....	24
6.1	Straßenverkehr.....	24
6.1.1	K7318 aus Richtung Osten.....	24
6.1.2	K7318 aus Richtung Westen.....	33
6.2	Wohnbebauung.....	39
6.2.1	Ort Pinnow 37	39



6.2.2	Ort Pinnow 34.....	41
6.2.3	Ort Pinnow 31.....	42
6.2.4	Ort Pinnow 29a.....	43
6.2.5	Ort Pinnow 21.....	44
7	Bewertung der Blendrisiken.....	45
7.1	Straßenverkehr.....	45
7.1.1	Straßenverkehr aus Richtung Süden oder Norden.....	45
7.1.2	Straßenverkehr aus Richtung Osten.....	45
7.1.3	Straßenverkehr aus Richtung Westen.....	45
7.2	Wohngebäude.....	46
8	Blendschutz.....	47
9	Verwendete Materialien.....	48
9.1	Dokumente vom Auftraggeber.....	48
9.2	Literatur.....	48
10	Abbildungsverzeichnis.....	50
11	Tabellenverzeichnis.....	54



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll geprüft werden, ob von den Modulen der geplanten PV-Anlage Gerswalde Sonnenlicht auf die Verkehrsteilnehmer auf der Kreisstraße K7318 aus Richtung Pinnow oder aus Richtung Buchholz oder auf schützenswerte Räume der Wohnbebauung im Ortsteil Pinnow (Gerswalde) reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende, unzumutbare oder verkehrgefährdende Blendwirkungen auftreten können.

Die Lage der geplanten Photovoltaikanlage und der zu prüfenden potenziellen Immissionsorte ist in Abbildung 1 dargestellt.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung von Blendungen aufzuzeigen.

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

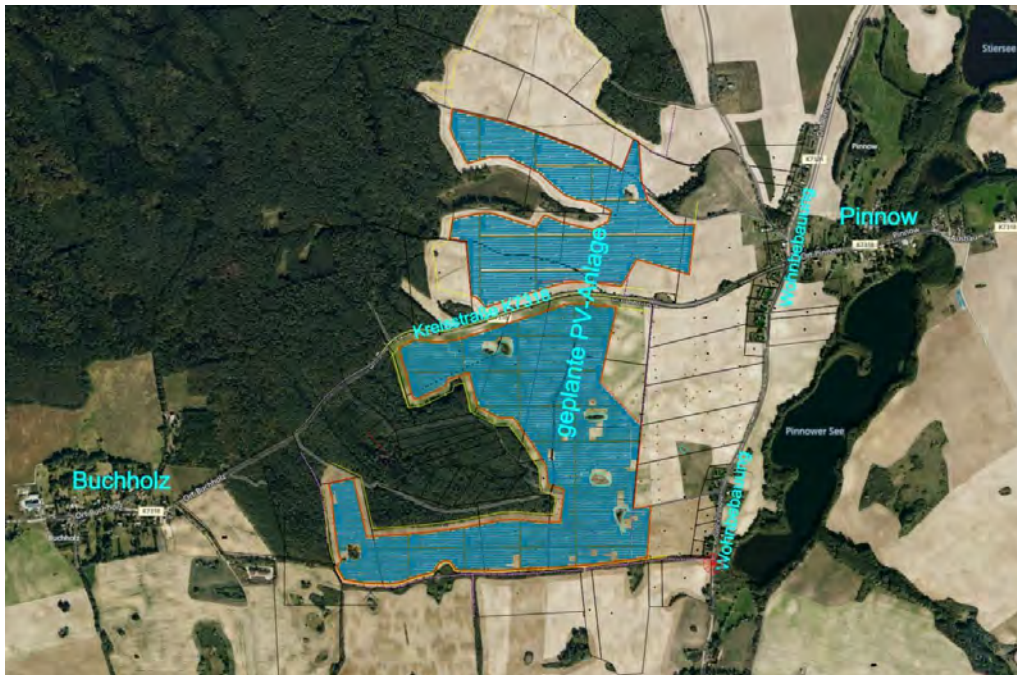


Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Gerswalde (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass von den potenziellen Sonnenlichtreflexionen der in Gerswalde, OT Pinnow geplanten PV-Anlage ein Blendrisiko für den Straßenverkehr auf der Kreisstraße K7318 in beiden Richtungen ausgehen kann. Bei Umsetzung der vorgeschlagenen Blendschutzmaßnahmen besteht kein Blendrisiko für den Straßenverkehr auf der K7318.

Die Anlieger der geplanten PV-Anlage können von Frühjahr bis Herbst für einige Minuten am Abend von Lichtreflexionen der geplanten Anlage betroffen sein. Zu diesen Zeitpunkten steht die untergehende Sonne tief über den reflektierenden Modulen. Die maximale Zeitdauer der potenziellen Lichtimmissionen im Sinne der Brandenburger Licht-Leitlinie beträgt weniger als 9 Minuten täglich und weniger als 15 h im Jahr. Eine damit verbundene Belästigung der Anlieger ist als zumutbar anzusehen. Ein zusätzlicher Blendschutz ist nicht erforderlich.



3 Einleitung

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

3.1 Gesetzliche Grundlagen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

Die Ziele der Raumordnung der Bundesrepublik Deutschland liegen in der Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge, der Unterstützung von nachhaltigem Wirtschaftswachstum und Innovation, der Sicherung von Entwicklungspotenzialen und dem nachhaltigen Ressourcenschutz. Als Aufgabe der Raumordnung benennt das Gesetz u.a., die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge zu gewährleisten und die Schaffung der räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien.

Das Baugesetzbuch (BauGB) definiert die Nutzung erneuerbarer Energien als öffentlichen Belang, der bei der Aufstellung der Bauleitpläne zu berücksichtigen sei. Als Reaktion auf den Atomausstieg in Deutschland nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima wurde die Bedeutung erneuerbarer Energien im BauGB durch das „Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes bei der Entwicklung in den Städten und Gemeinde“ gestärkt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert. U.a. wurde

- ▶ die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien als Teil des Flächennutzungsplans vorgesehen,
- ▶ die Festsetzung von Flächen und Gebieten im Bebauungsplan ermöglicht, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

Mit der Gesetzesänderung wird der Handlungsspielraum von Städten und Gemeinden hinsichtlich der Nutzung erneuerbarer Energien erweitert. War also schon vorher die Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. BauGB zu berücksichtigen, so ist jetzt die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 2 des Gesetzes wird festgelegt: „Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen sowie den dazugehörigen Nebenanlagen liegen im überragenden öffentlichen Interesse und dienen der öffentlichen Sicherheit. Bis die Stromerzeugung



im Bundesgebiet nahezu treibhausgasneutral ist, sollen die erneuerbaren Energien als vorrangiger Belang in die jeweils durchzuführenden Schutzgüterabwägungen eingebracht werden.“

3.1.2 Immissionsschutz

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) soll den Menschen, die natürliche Umwelt sowie Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen und deren Entstehung vorbeugen. Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne des Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen. Immissionen im Sinne des BImSchG sind „auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.“

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. Für genehmigungspflichtige Anlage wird eine entsprechende Vorsorge nach dem Stand der Technik gefordert. Bei nicht genehmigungsbedürftigen Anlagen sind schädliche Umweltwirkungen nach dem Stand der Technik auf ein Mindestmaß zu beschränken.

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten. Es existiert aber keine die Errichtung und den Betrieb von Photovoltaikanlagen regelnde Immissionsschutz-Verordnung. Für die immissionsschutzrechtliche Bewertung der Lichtimmissionen von Photovoltaikanlagen werden deshalb Grenzwerte aus anderen Regelungsbereichen herangezogen.

3.2 Blendung

3.2.1 Blendung allgemein

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



Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen². Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.

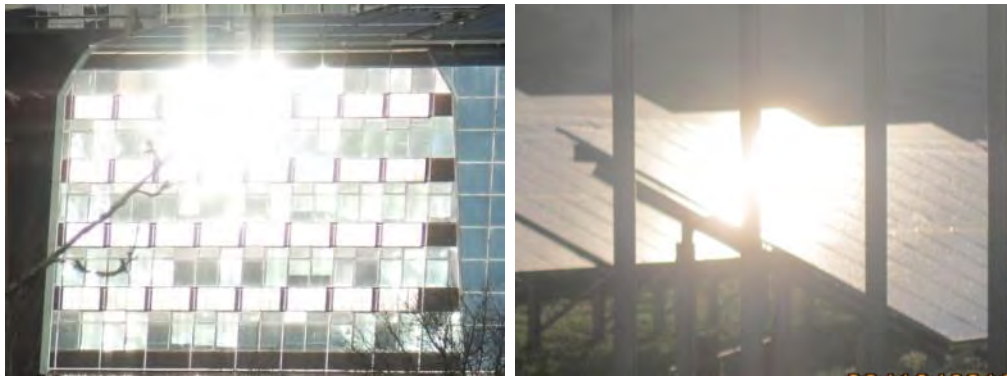


Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar

3.2.2 Blendung im Verkehrsbereich

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

Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine Schleierleuchtdichte hervorruft und dadurch die Kontrasterkennung vermindert. Für die Gefährdungsbeurteilung entscheidend ist die Beleuchtungsstärke am Auge von Verkehrsteilnehmern, die sich aus dem Produkt von Leuchtdichte und Blendquellengröße im Blickfeld und dem Winkel zwischen Blickrichtung und Blendquelle ergibt, in Relation zur Beleuchtungsstärke am Auge durch direktes, gestreutes und diffus von der Umgebung reflektiertes Sonnenlicht. Darüber hinaus sind die jeweils mögliche Einwirkzeit und die Position der Blendquelle im Blickfeld zu berücksichtigen.

¹ Wittlich 2010

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



Für die Bewertung der möglichen Blendung durch Reflexionen auf Verkehrsteilnehmer sind demgemäß das Blickfeld und die räumliche Lage der Blendquelle darin wesentlich. Beim Menschen unterscheidet man folgende Arten von Blickfeldern:

- ▶ das **monokulare Blickfeld**, das sich aus der Exkursionsfähigkeit (maximale Beweglichkeit) des jeweils rechten und linken Auges ergibt
- ▶ das **binokulare Blickfeld**, der Bereich, in dem beide Augen gemeinsam mit maximaler Sehschärfe (foveolar) fixieren können
- ▶ das **Fusionsblickfeld**, in dem binokulares Einfachsehen möglich ist
- ▶ das **Umblickfeld**, das die Summe der Wahrnehmungen ergibt, die bei unveränderter Standposition mit allen Blickbewegungen und maximalen Kopf- und Körperdrehungen erzielt werden können
- ▶ das **Gebrauchsblickfeld** als Bereich innerhalb des binokularen Blickfeldes, innerhalb dessen Objekte ohne zusätzliche, unterstützende Kopfbewegungen fixiert werden können; in der Literatur wird dieser Bereich mit $+25^{\circ}/-40^{\circ}$ vertikal und 30° Rechts- und Linksblick definiert.

Außerhalb des Gebrauchsblickfeldes werden im menschlichen binokularen Blickfeld Objekte nicht unmittelbar wahrgenommen, vielmehr wird das Umgebungsbild im Kurzzeitgedächtnis eingefroren und nur bei starken Veränderungen bewusst erneuert. Bei sog. „Sehaufgaben“ („visual tasks“), z.B. Autofahren, Arbeit am Computer etc., verengt sich dieses bewusst wahrgenommene Blickfeld weiter. Hier werden Änderungen im Umgebungsblickfeld bis zu einer Blickrichtungsänderung von 10° nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von 20° auf der horizontalen Ebene.^{3 4}

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „Blickfeld“ oder „maximales Blickfeld“ benannt) und das eingeschränkte für Sehaufgaben („zentrales Blickfeld“) werden in Tabelle 1 und in Abbildung 3 einander betragsmäßig und grafisch gegenübergestellt.

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

Gebrauchsblickfeld	Benennung im Text	horizontal	vertikal
für Sehaufgaben	zentrales Blickfeld	$\pm 10^{\circ}$	$+25^{\circ}, -35^{\circ}$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^{\circ}$	$+30^{\circ}, -45^{\circ}$

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986

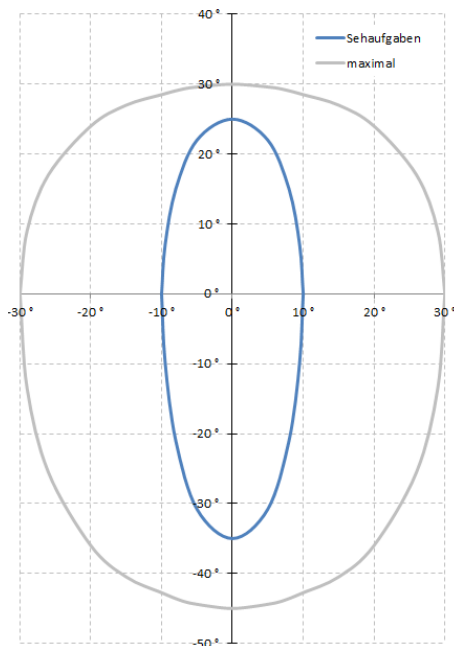


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rund um die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbmpfindlichen Zapfen haben ihre größte Dichte in der Foveola. Ihre hohe Dichte ermöglicht auch die höchste Sehschärfe nahe der Sehachse bei ausreichender Helligkeit. Zu Blendung unter Tageslichtbedingungen gibt es so gut wie keine Untersuchungen. Die Unterschiedlichkeit der Sehvorgänge, eigene Beobachtungen, Informationen von Betroffenen und Diskussionen mit anderen Sachverständigen in diesem Bereich legen es nahe, unter Tageslichtbedingungen nicht den gesamten Bereich des maximalen Blickfeldes gleich stark zu bewerten.

Bei der Gefährdungsbeurteilung bzgl. Blendung von Fahrzeugführern bei Tageslicht wird deshalb der Bereich im zentralen Blickfeld von $\pm 5^{\circ}$ neben der Blickachse als höchst kritisch und derjenige von $\pm 10^{\circ}$ als kritisch angesehen (zentrales Blickfeld). Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^{\circ}$ werden hier als physiologisch unerheblich bewertet. Zwischen $\pm 10^{\circ}$ und $\pm 30^{\circ}$ werden abgestufte Anforderungen an das Verhältnis der Beleuchtungsstärken durch Reflexionen und direkt einfallendes Sonnenlicht gestellt, da sich die Schleierleuchtdichte, die im Auge durch Streuung eindringenden Lichts erzeugt wird und die Sehleistung beeinträchtigen kann, reziprok zum Quadrat des



Abstandswinkels zwischen Strahlungsquelle und Blickrichtung verhält. Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

3.2.3 Blendung im Wohn- und Arbeitsbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen (PVA), Grenzwerte aus einem anderen Regelungsbereich, der sogenannten Schattenwurf-Richtlinie für Windenergieanlagen (WEA), zu übernehmen und die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012 bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Die Umsetzung in Brandenburg erfolgt durch die „Licht-Leitlinie“. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlicht-Reflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von $0,56^\circ$ können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

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

3.3 Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen

Eine Photovoltaikanlage besteht aus den Haupt-Komponenten Montagegestell, Wechselrichter und Photovoltaik-Modul (PV-Modul).

Komponenten, an denen ggf. relevante direkte Reflexionen entstehen können, sind in erster Linie die Deckgläser der PV-Module. Daneben bewirken Reflexionen an inneren Grenzflächen von Einbettmaterialien oder Rückseitenfolien sowie die Texturierung der Oberflächen, dass auch Anteile diffuser Reflexion auftreten können. Dies kann zu Bündelaufweitung und Versatz der ideal gerichteten Reflexionsstrahlen führen.

Potenziell blendende Lichtreflexionen an den Gläsern der PV-Module können nur zu Zeiten direkter Sonneneinstrahlung auftreten. Bei diffusem Licht mit ungerichteter Strahlung kann keine gerichtete Reflexion auftreten.

Die Deckgläser der PV-Module bestehen im Allgemeinen aus unstrukturiertem eisenarmen Weißglas. Es wird ein spezielles Glas verwendet, um die Transmission zu erhöhen, also den Lichteinfall des



gesamten Strahlungsspektrums auf die solar aktive Fläche der PV-Module zu maximieren. So werden ein hoher energetischer Wirkungsgrad, ein hoher Ertrag und eine geringe Reflexion gesichert. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahlt sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

Die Reflexionseigenschaften von Glas variieren mit dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen, wie Abbildung 4 verdeutlicht.

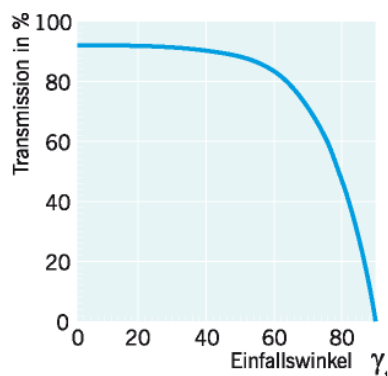


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene (0°) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von 65° etwa 80 %. In diesem Falle werden für das Beispiel in Abbildung 4 ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert.

Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont $6 \cdot 10^6$ cd/m² beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9$ cd/m² erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($>10^5$ cd/m²) bei Beobachtern gerechnet werden.

3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Allgemein werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden ($=0^\circ$) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit -90° und eine Westausrichtung mit $+90^\circ$ angegeben wird.

Da die Berechnungsmethode zur Bestimmung der Reflexionen jedoch aus der Geodäsie entnommen worden ist und dort allgemein vom Norden ($=0^\circ$) aus im Uhrzeigersinn gerechnet wird, werden in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebende Azimutangabe verwendet: Norden = 0° , Osten = 90° , Süden = 180° und Westen = 270° .

Zur leichteren Lesbarkeit für Leser, die in der Regel mit der in der Solartechnik üblichen Bezeichnung zu tun haben, wird dagegen die Ausrichtung der Anlagen regelmäßig in der Solardiktion aufgeführt.



4 Situation vor Ort

Die geplante PV-Anlage soll im brandenburgischen Gerswalde westlich des Ortsteils Pinnow errichtet werden. Das Baufeld liegt auf hügeligem Grund auf einer Höhe von 60 m üNNH bis 90 m üNNH. Das umliegende Gelände fällt in Richtung Osten bis auf 40 m üNNH am Ufer des Pinnower Sees ab.

Die Anlage ist als Freiflächenanlage mit einer Leistung von 128 MWp geplant. Die PV-Module sollen nach geographisch Nord ausgerichtetem Belegungsplan mit einer Ausrichtung nach 179,6° Süd (- 0,4° nach Solardiktion) errichtet werden. Die Planneigung der Module beträgt 15°. Die Unterkanten der Module liegen 0,8 m über Baugrund und die Oberkanten 2,7 m. Das Baufeld ist ein welliges Gelände mit unterschiedlichen Hangneigungen in Ost-West-Richtung, so dass die Modultische unterschiedliche seitliche Tischneigungen aufweisen. Die maximale seitliche Neigung eines Modultisches beträgt $\pm 7^\circ$.

Das Baufeld wird durch die von Pinnow in Richtung Buchholz führende Kreisstraße K7318 in ein nördliches und südliches Feld unterteilt. Die Straße verläuft aus Pinnow kommend Richtung Westen nach Buchholz und durchquert dabei die geplante PV-Anlage. Von Pinnow aus steigt die Straße von einer Höhe von 52 m üNNH am Ortsausgang auf 95 m üNNH am Waldrand westlich der Anlage. Dabei führt sie im ersten 350 m langen Teilstück von Pinnow aus ansteigend in Richtung Südwesten (249°) auf die geplante PV-Anlage zu. Dann folgt eine Rechtskurve, so dass die Blickachse der Fahrzeugführenden auf Höhe der ersten PV-Module nach Westen (276°) gerichtet ist. Nach weiteren 350 m wird zwischen den Tischreihen der geplanten Anlage ein nur geringfügig ansteigender Straßenabschnitt erreicht und es folgt eine Linkskurve. Danach liegt die Blickachse bei 252° und die Straße führt für weitere 400 m zwischen den geplanten Tischreihen hindurch. Mit dem Beginn des nördlichen Waldrands steigt die Straße nach einer leichten Rechtskurve wieder an und führt in einer Linkskurve in den Wald.

Die umliegende Wohnbebauung befindet sich ausschließlich östlich der geplanten PV-Anlage an der in Richtung Ost-West verlaufenden Kreisstraße K7318 und an der in Nord-Süd-Richtung verlaufenden Kreisstraße K7321. Beide Straßen sind in Pinnow mit Ort Pinnow benannt. Der Abstand des der geplanten Anlage nächsten Wohngebäudes Ort Pinnow 37 zum nächstgelegenen PV-Modul beträgt 250 m. Die weiteren Wohngebäude weisen einen Abstand von etwas mehr als 350 m zum jeweils nächstgelegenen Modul auf.

Abbildung 5 zeigt die Lage der geplanten Anlage und die Topografie des Geländes.

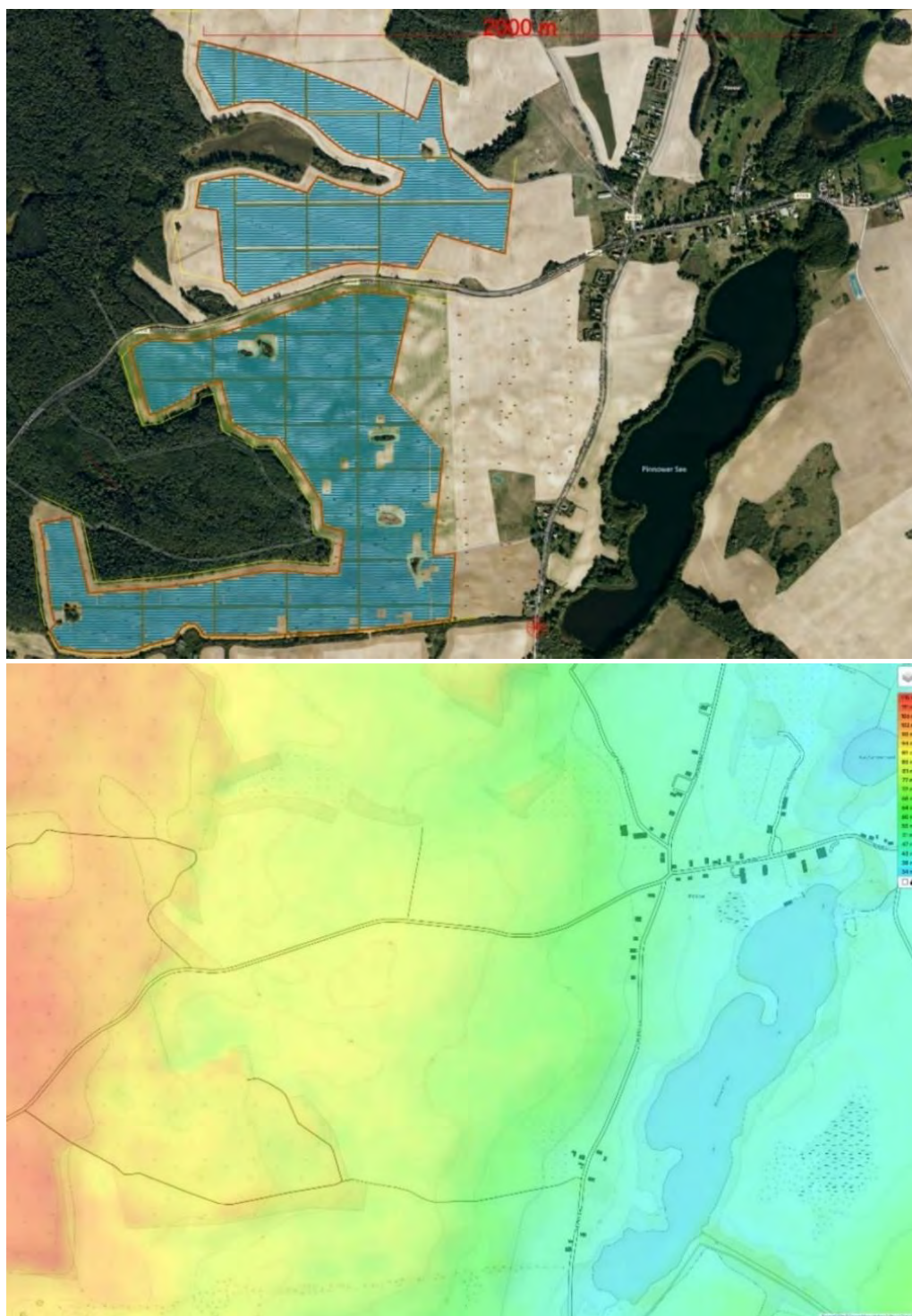


Abbildung 5: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Gerswalde (oben) und die Topografie des Geländes als Schummerungsdarstellung (unten) im Bereich 112 m üNNH (rot) und 35 m ÜHN (Blau); Quelle: OpenTopoMap



5 Berechnungen

5.1 Reflexions- und Blickpunkte

5.1.1 Modellierungsansatz

Der Belegungsplan der geplanten Solaranlage wird georeferenziert und auf eine nach geographisch Nord ausgerichtete Karte in winkeltreuer Lambert-Kegelprojektion übertragen. Die Koordinaten der Immissionsorte werden als Blickpunkte und die der Unter- und Oberkanten der PV-Module als Reflexionspunkte auf der Karte ermittelt. Für die Fenster schützenswerter Räume werden die beiden Außenpunkte in der x-y-Ebene aufgenommen. Die x-y-Koordinaten werden mit den Höhendaten (z-Werte) der Reflexions- und Blickpunkte als Höhen über Normalhöhennull (üNHN) ergänzt. Für die Reflexionspunkte wird der untere Punkt mit 80 cm und der obere Punkt mit 2,70 m über Geländehöhe angesetzt. Bei Gebäuden werden die oberen und unteren Fensterkanten berücksichtigt. Im Straßenverkehr wird die minimale Augenhöhe mit 1 m und die maximale mit 3 m über Fahrbahnhöhe angesetzt.

Aus den Daten wird ein Modell im dreidimensionalen, kartesischen Koordinatensystem mit der Einheit Meter erstellt. Die positive y-Achse zeigt Richtung Norden, die positive x-Achse Richtung Osten und die z-Koordinate stellt die Höhe dar. Die Reflexionen werden durch ihre Winkel (Azimut in der x-y-Ebene und Höhenwinkel zwischen x-y-Ebene und z-Achse gemessen) charakterisiert. Ob ein Reflexionsstrahl einen Immissionsort treffen kann, hängt nur von den Azimut- und Höhenwinkeln zwischen Reflexions- und Immissionsort ab, die sich aus Entfernung und Höhendifferenzen ergeben. Der Nullpunkt des Koordinatensystems kann frei gewählt werden. Im Rahmen dieser Betrachtung wird er südwestlich der Anlage gewählt, damit alle Koordinaten positive Werte erhalten.

Die Berechnungen erfolgen im ersten Schritt unter der Annahme, dass alle Tischreihen auf ebenem Gelände errichtet werden. Anschließend wird geprüft, ob die Berücksichtigung der maximalen seitlichen Tischneigungen der Module im Prüfungsbereich die Ergebnisse der Reflexionsberechnungen insoweit verändert, dass es die Bewertung des Blendrisikos beeinflusst.

5.1.2 Straßenverkehr

Für den Straßenverkehr auf der K7318 aus östlicher Richtung werden die in Abbildung 6 dargestellten Blickpunkte geprüft. Die dargestellten Blickfelder lassen erkennen, welche PV-Module im jeweiligen Blickfeld liegen und damit blendrelevante Reflexionspunkte sein können. Die zu berücksichtigende maximale seitliche Tischneigungen wird anhand der am jeweiligen Blickpunkt sichtbaren

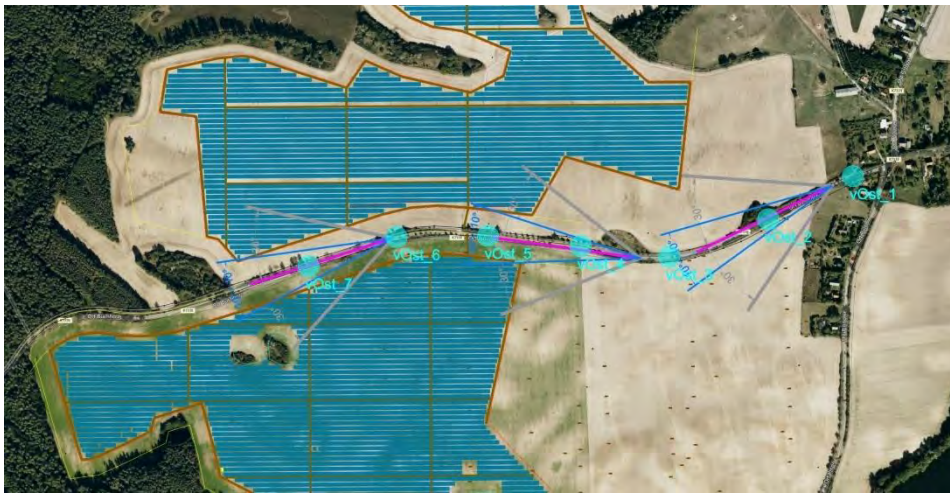


Abbildung 6: Blickpunkte (benannte Kreise in cyan) und Blickfelder (10° Winkel in blau, 30° Winkel in grau) des Straßenverkehrs auf der K7318 aus Richtung Osten für die Untersuchung der Blendrisiken

Für den Straßenverkehr auf der K7318 aus westlicher Richtung werden die in Abbildung 7 dargestellten Blickpunkte geprüft. Die Blickfelder lassen erkennen, welche PV-Module im jeweiligen Blickfeld liegen und blendrelevante Reflexionspunkte sein können.



Abbildung 7: Blickpunkte (benannte Kreise in cyan) und Blickfelder (10° Winkel in blau, 30° Winkel in grau) des Straßenverkehrs auf der K7318 aus Richtung Westen für die Untersuchung der Blendrisiken

Abbildung 8 veranschaulicht die Lage der für die Untersuchung der Blendrisiken für den Straßenverkehr ausgewählten Blick- und Reflexionspunkte in der x-y-Ebene des Koordinatensystems.

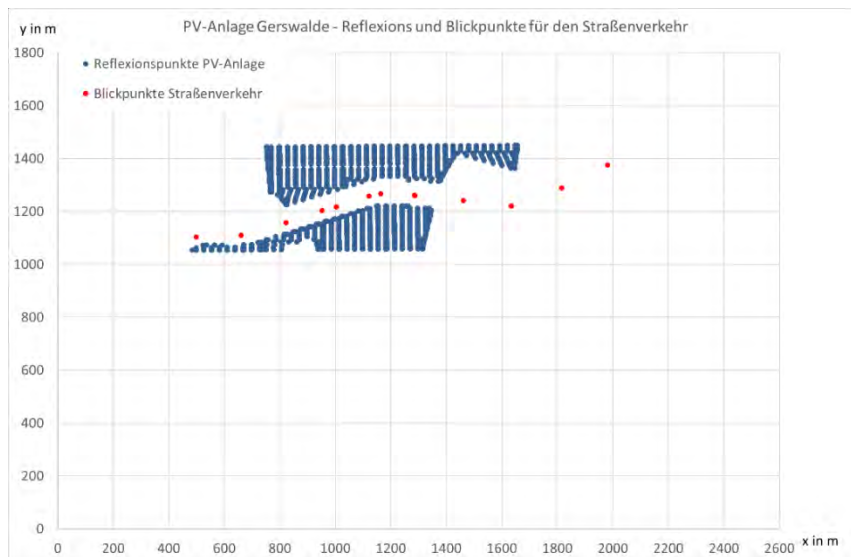


Abbildung 8: Reflexions- und Blickpunkte für die Prüfung auf Blendung des Straßenverkehrs in der x-y-Ebene

5.1.3 Wohnbebauung

Abbildung 9 zeigt die Lage der für die Blendanalyse repräsentativ ausgewählten Wohngebäude. Die Höhen des Baugrunds betragen 48 m üNNH (Ort Pinnow 37), 51 m üNNH (Ort Pinnow 34), 56 m üNNH (Ort Pinnow 31), 56 m üNNH (Ort Pinnow 29a) und 52 m üNNH für das Wohngebäude Ort Pinnow 21. Die Gebäude haben auf der der geplanten PV-Anlage zugewandten Seite Fenster zu schützenswerten Räumen im Erdgeschoss und im 1. OG. Für die Prüfung der potenziellen Blendung durch die geplante Anlage werden eine untere Höhe von 2 m und eine obere Höhe von 5m über Geländeoberkante angesetzt.



Abbildung 9: Zu untersuchende Wohngebäude in Pinnow mit Angabe der Adresse; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps



Im südlichen Bereich der PV-Anlage werden die östlichsten Modultische auf einer Höhe von etwas mehr als 60 m üNHN errichtet, so dass auch die oberen Teile der weiter westlich auf mehr als 80 m üNHN geplanten Module sichtbar sind. Im nördlichen Bereich erreicht der Baugrund für die östlichsten Module mehr als 75 m üNHN, so dass die westlicheren PV-Module aus Sicht der Häuser verdeckt werden. Für die beiden südlichen Wohngebäude wird die maximale seitliche Tischneigung nach Osten mit $7,0^\circ$ berücksichtigt, die maximale Neigung nach Westen mit $3,5^\circ$. Für die drei nördlichen Wohngebäude wird die maximale seitliche Tischneigung mit $\pm 5,0^\circ$ berücksichtigt. Die Modulunterkanten der PV-Anlage werden mit 0,8 m und die Oberkanten mit 2,7 m Höhe angesetzt.

Abbildung 10 zeigt die Lagebeziehungen der für die Prüfung der Blendrisiken für die umliegende Wohnbebauung modellierten Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene.

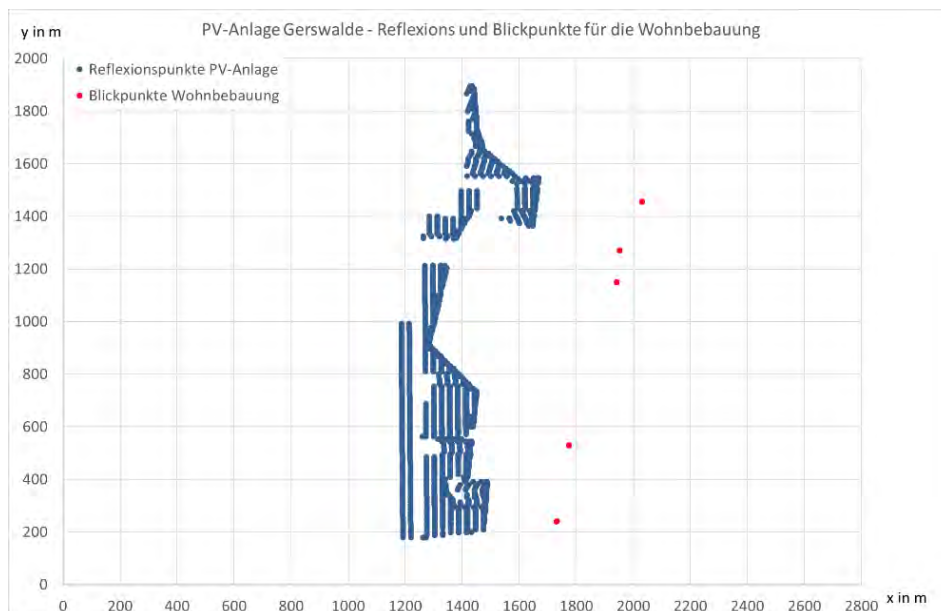


Abbildung 10: Übersicht der für die Prüfung auf Blendung im Wohnbereich modellierten Reflexions- (blau) und Blickpunkte (rot) in der x-y-Ebene



5.2 Allgemeines Reflexionsdiagramm

Die Reflexionsberechnung erfolgt nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Abbildung 11 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und dem Reflexionspunkt.

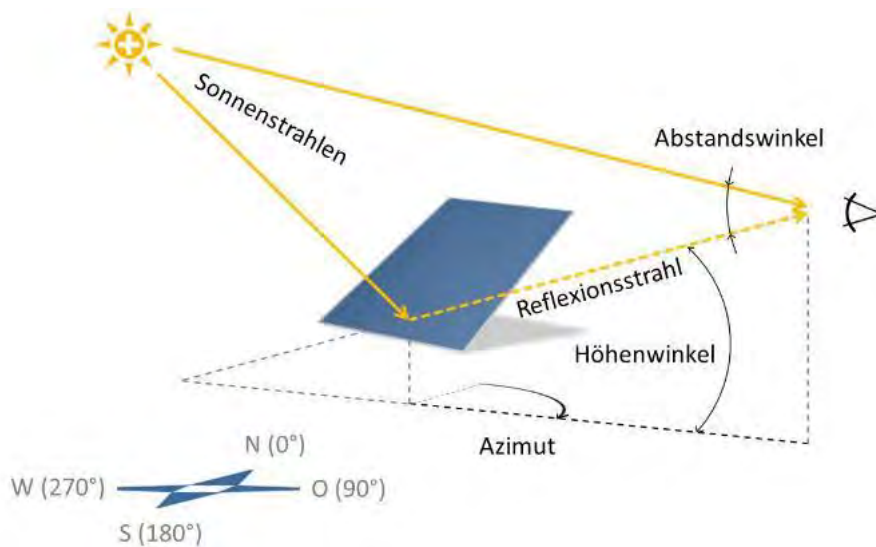


Abbildung 11: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Für die Berechnung des allgemeinen Reflexionsdiagramms wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Pinnow (geografische Länge 13,79°, Breite 53,21°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden berechnet und anschaulich aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts dargestellt. Alle möglichen Reflexionsrichtungen werden dabei durch Azimut (x-Wert) und Höhenwinkel (y-Wert) beschrieben.

Abbildung 12 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für die mit einer Neigung von 15° nach Süden ausgerichteten Module der Anlage. Für Anwohner potenziell störende Reflexionen mit negativen (nach unten gerichteten) Höhenwinkeln können von Ende März bis Mitte September in einem westlichen Azimutbereich von 240° bis 270° auftreten. Dabei kann der Abstandswinkel zur Sonne nur im Juni und Juli größer als 10° sein.

⁵ Berechnung nach Eicker 2001

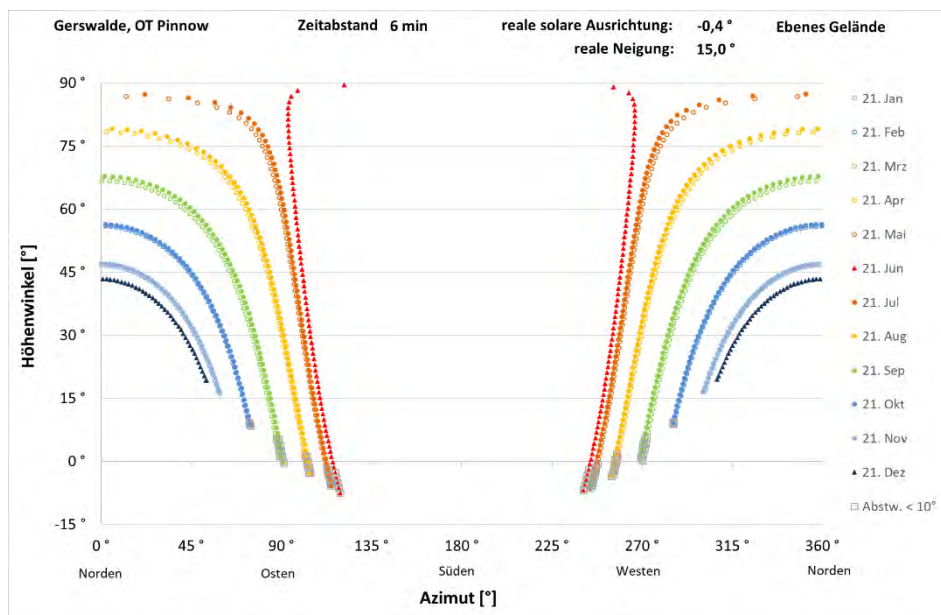


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen auf ebenem Baugrund mit südlicher Ausrichtung und 15° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln

5.3 Reflexionsdiagramme mit Blickbeziehungen

Das Reflexionsdiagramm dient zum Abgleich, ob ein Reflexionspunkt im Jahresverlauf zu einem Blickpunkt Reflexionen senden kann. Dazu werden die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel eines Blickpunktes aus Sicht des untersuchten Reflexionspunktes in das Reflexionsdiagramm eingetragen. Ob ein Reflexionsstrahl einen Immissionsort (Blickpunkt) treffen kann, hängt nur von den Azimut- und Höhenwinkeln zwischen Reflexions- und Immissionsort ab, die sich aus Entfernungs- und Höhendifferenzen ergeben.

Jeder einzelne Punkt der Moduloberfläche weist die gleiche Reflexionscharakteristik auf, aber aus Sicht jedes einzelnen Emissionspunktes unterscheiden sich Azimut- und Höhenwinkel zu ein und demselben Immissionsort. Um zu einem aussagekräftigen Diagramm zu gelangen, werden die Kugelkoordinaten eines Blickpunktes aus Sicht aller modellierten Punkte der PV-Anlage berechnet und in das Reflexionsdiagramm eingetragen.

Die minimale und maximale Höhe eines Blickpunktes mit gleichen x-y-Koordinaten wie die Fensterunter- und -oberkanten schützenswerter Räume oder die minimale und maximale Augenhöhe der Fahrzeugführenden werden dabei mit „min“ und „max“ gekennzeichnet.

Abbildung 13 zeigt, wie die Höhenwinkel zwischen Reflexionspunkt und Immissionsort variieren können.

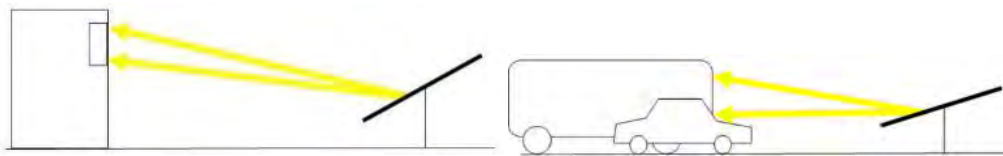


Abbildung 13: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts)

Abbildung 14 zeigt das Beispiel eines Reflexionsdiagramms für PV-Module der geplanten Anlage ohne seitliche Tischneigung und den Blickpunkt vOst_1 auf der Kreisstraße K7318. Die minimale und maximale Höhe der Fahrzeugführenden befindet sich an diesem Blickpunkt von allen Reflexionspunkten aus gesehen tiefer als die Reflexionspunkte (negative Höhenwinkel). Am Rand des in Gegenrichtung eingezeichneten Blickfelds reichen die grün markierten Tagesganglinien (21. März und 21. September) der Reflexionen bis knapp oberhalb der „min“ und der „max“ Markierungen des Blickpunkts. Das Blickfeld bleibt damit frei von Reflexionen.

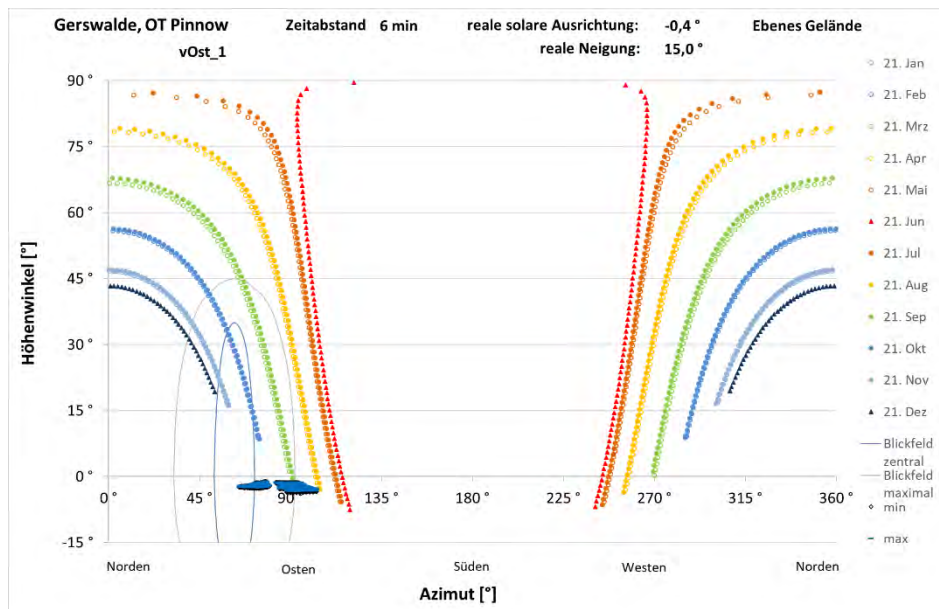


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für PV-Module der geplanten Anlage auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_1 auf der Kreisstraße K7318

Abbildung 15 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Blickbeziehungen für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37. Der Blickpunkt wird dabei aus Sicht der Reflexionspunkte mit den minimalen (blauer Strich) und maximalen (schwarze Raute) Höhenwinkeln bei gleichem Azimut dargestellt. Liegt der Blickpunkt zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni und den 21. Dezember (Abstand zwischen zwei Markierungspunkten einer Tagesganglinie = 6 min) kann er von Reflexionen getroffen werden. Die graue Umrandung der Reflexionspunkte zeigt an, dass der Abstandswinkel der Reflexionsstrahlen zur Sonnenstrahlung weniger als 10° beträgt, und damit der direkte Blick auf die Sonne die Blendwirkung dominiert.

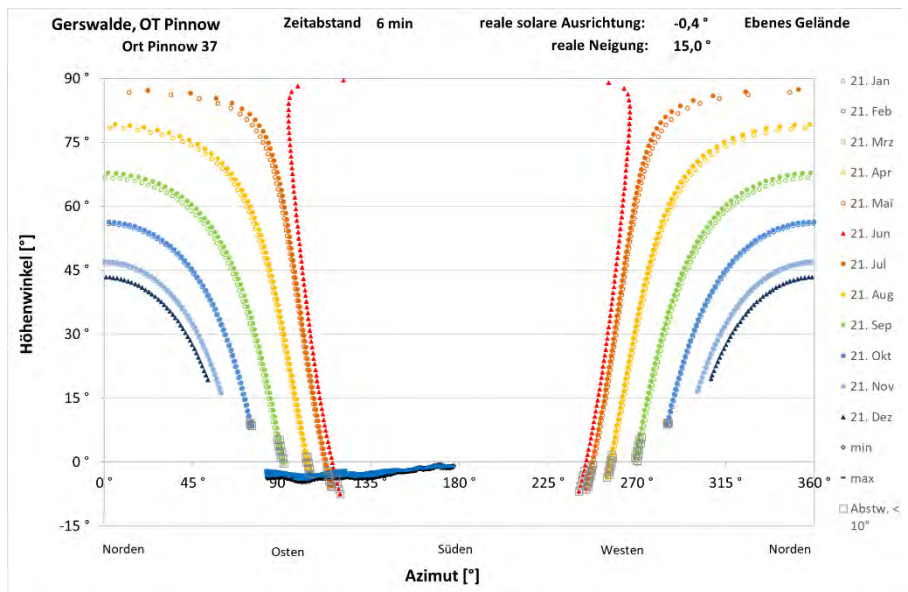


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37

Zur genaueren Bestimmung der Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen kann eine Detaildarstellung des Reflexionsdiagramms mit einem Abstand von 3 min zwischen den Markierungspunkten der Tagesganglinie herangezogen werden. Abbildung 16 zeigt eine solche exemplarisch für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37. Da alle potenziellen Reflexionen einen Abstandswinkel zur Sonne von $< 10^\circ$ aufweisen, entstehen keine Lichtimmissionen im Sinne des Immissionsschutzes.

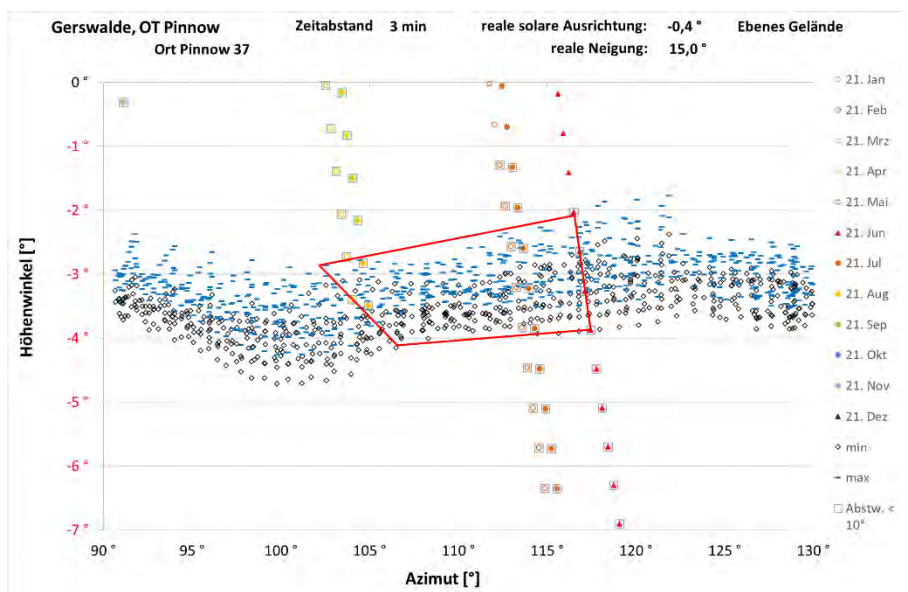


Abbildung 16: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37 mit roter Umrandung des maximalen Reflexionszeitraums



5.4 *Lichttechnische Aspekte*

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken am menschlichen Auge – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage, andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – ist wesentlich für die Beurteilung, ob Anlagenreflexionen im Blickfeld von Verkehrsteilnehmern eine potenzielle Gefährdung darstellen.

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken ist zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen zu bestimmen, um aus ihm auf diese Parameter schließen zu können. Dazu werden die Berechnungsformeln der DIN 5034 Teil 2 Abschnitt 5.3 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten.



6 Berechnungsergebnisse

6.1 Straßenverkehr

6.1.1 K7318 aus Richtung Osten

Blickpunkt vOst_1

Am Blickpunkt vOst_1 am Ortsausgang von Pinnow auf 54 m üNNH liegen die östlichen PV-Module der jeweiligen Tischreihen der geplanten Anlage im Blickfeld der Fahrzeugführenden. Auf Grund der Höhendifferenzen sind die weiter westlich gelegenen Tische durch diese verdeckt. Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung in Abbildung 17 zeigt, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können.

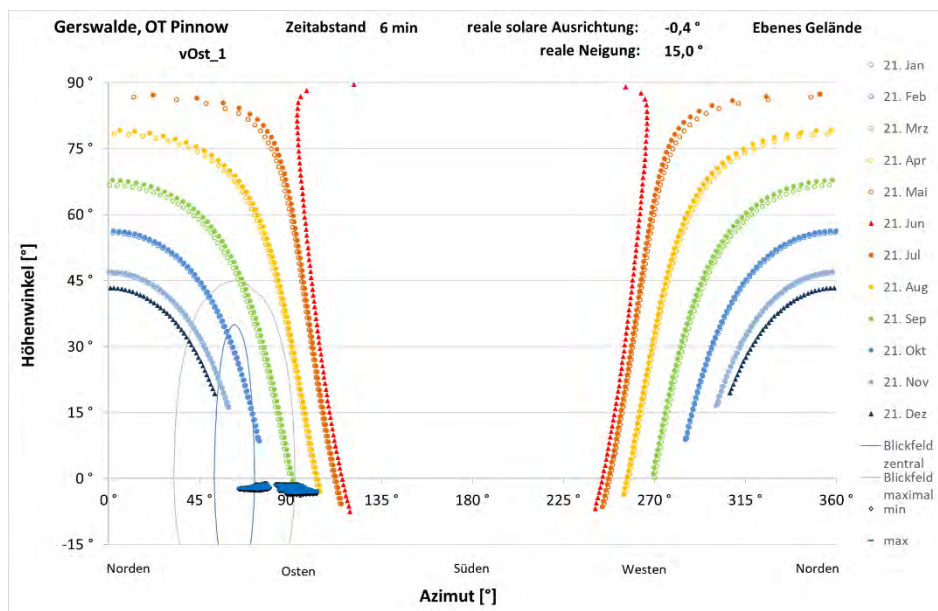


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_1

Für PV-Module mit einer seitlichen Tischneigung nach Osten ändert sich das Bild. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 18 zeigt, dass dann von Mitte März bis Mitte April und von Anfang bis Ende September kurz vor Sonnenuntergang von PV-Modulen mit der größten seitlichen Tischneigung von $4,8^\circ$ Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Berechnungen ergeben einen Mindestabstand der Reflexionen zur Blickachse von mehr als 15° und eine maximale Beleuchtungsstärke von 550 lx. Die mit einem Abstandswinkel von weniger als 10° über den Modulreihen stehende Sonne bewirkt gleichzeitig eine 20-fach höhere Beleuchtungsstärke auf senkrecht beschienene Flächen.

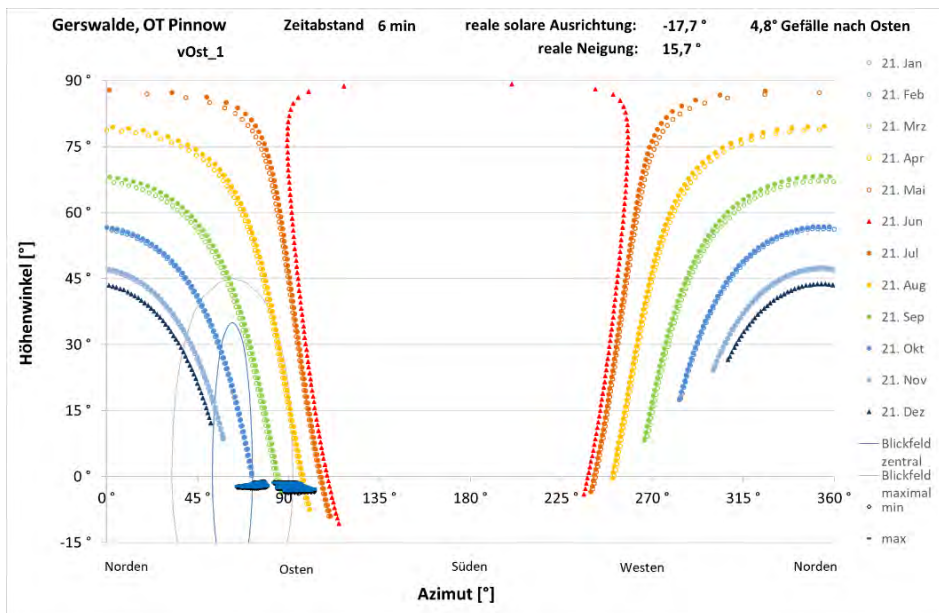


Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Module mit 4,8° seitlicher Tischneigung nach Osten am Blickpunkt vOst_1

Blickpunkt vOst_2

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_2 auf 61,5 m üNN in Abbildung 19 zeigt, dass von Anfang bis Mitte April und in der ersten Septemberhälfte Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Der Abstand der Reflexionen zur Blickachse beträgt mehr als 25° und die Beleuchtungsstärke erreicht maximal 111 lx.

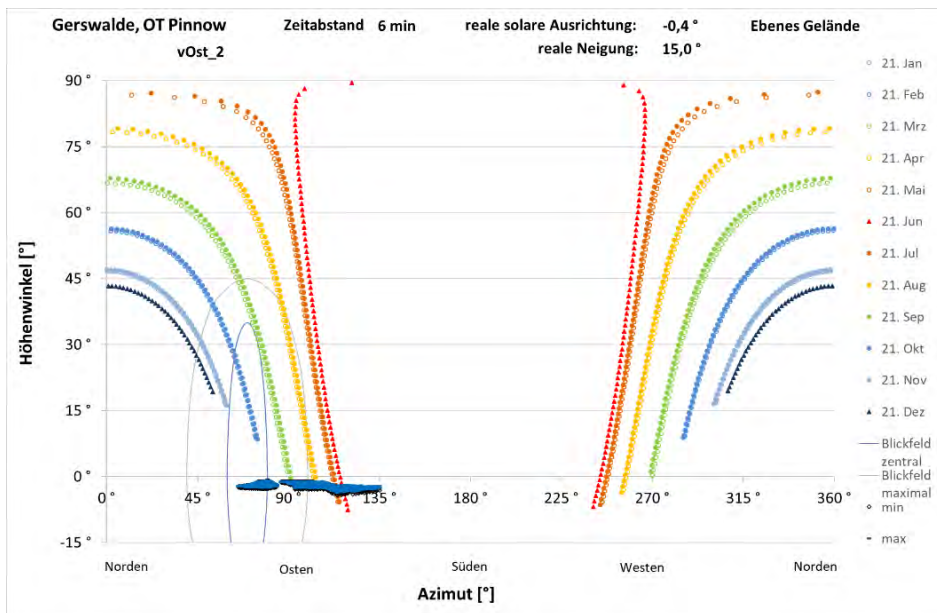


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_2

Die im Blickfeld der Fahrzeugführenden liegenden östlichen Tische der Tischreihen des südlichen Teilfelds weisen eine maximale seitliche Tischneigung von 3,5° mit Gefälle nach Westen auf. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 20 zeigt, dass das Blickfeld der Fahrzeugführenden jederzeit frei von Lichtreflexionen der geplanten Anlage bleibt.

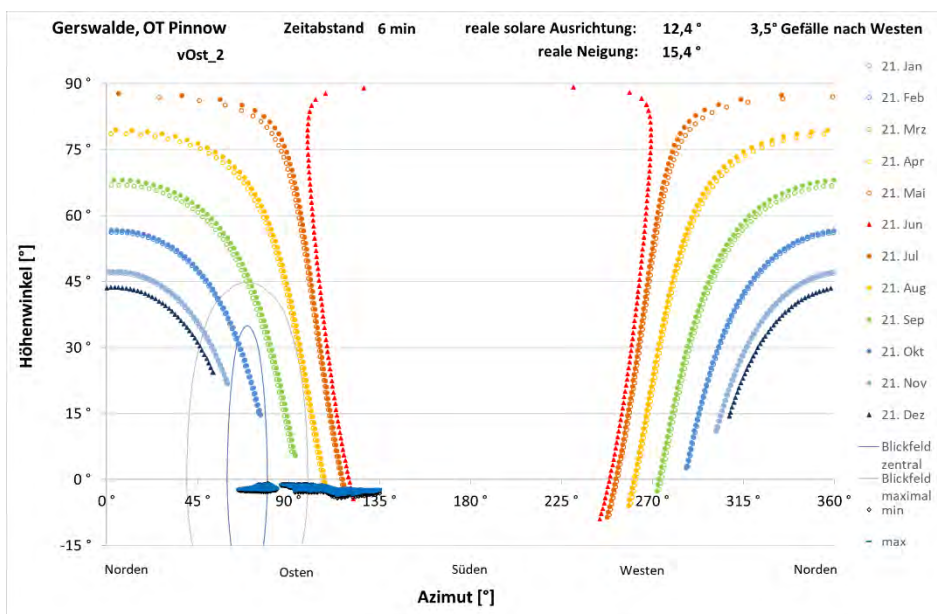


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_2



Blickpunkt vOst_3

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_3 auf 68 m üNNH in Abbildung 21 zeigt, dass von Ende März bis Mitte September kurz vor Sonnenuntergang Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können, von Ende März bis Ende April und von Mitte August bis Anfang September in das zentrale Blickfeld. Die Beleuchtungsstärke im zentralen Blickfeld erreicht maximal 400 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 7,5°.

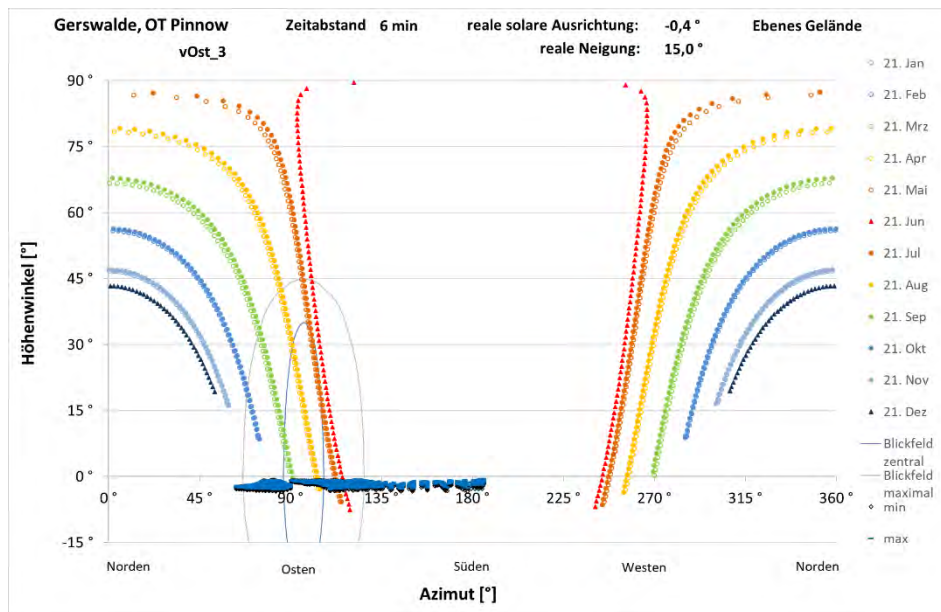


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_3

Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 22 zeigt das Geschehen für die maximale seitliche Tischneigung von 3,5° in westlicher Richtung. Es können keine Reflexionen in das zentrale Blickfeld gerichtet sein.

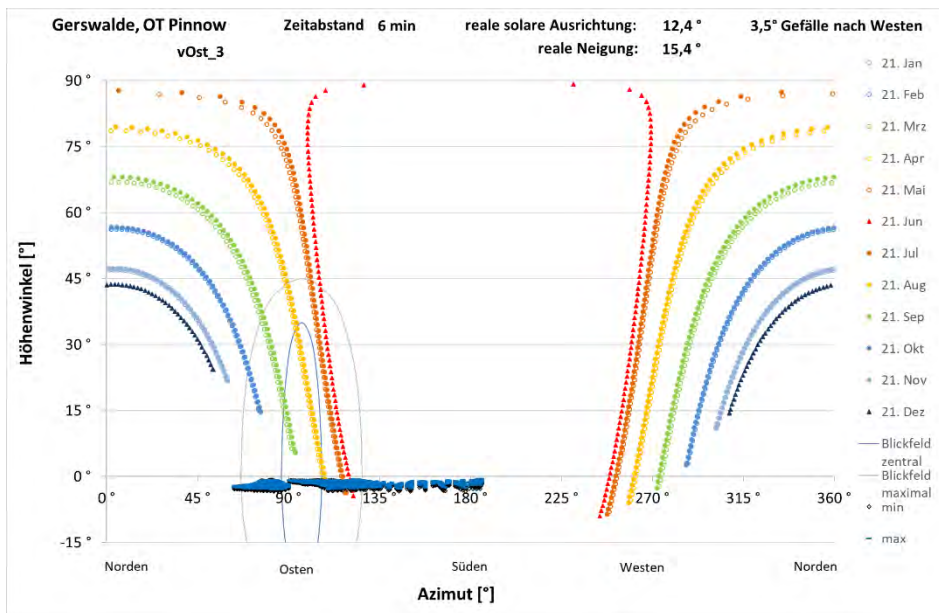


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_3

Blickpunkt vOst_4

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_4 auf 76 m üNNH in Abbildung 23 zeigt, dass von Ende März bis Mitte September kurz vor Sonnenuntergang Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können, von Ende März bis Ende April und von Mitte August bis Mitte September in das zentrale Blickfeld. Die Beleuchtungsstärke im zentralen Blickfeld erreicht maximal 500 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 8,2°.

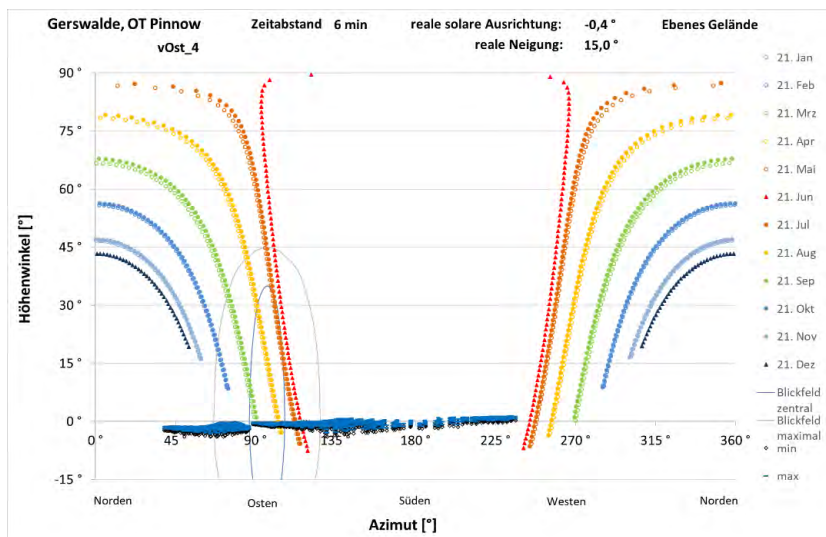


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_4



Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 24 zeigt das Geschehen für die maximale seitliche Tischneigung von 3,5° in westlicher Richtung. Es treffen keine Reflexionen in das zentrale Blickfeld.

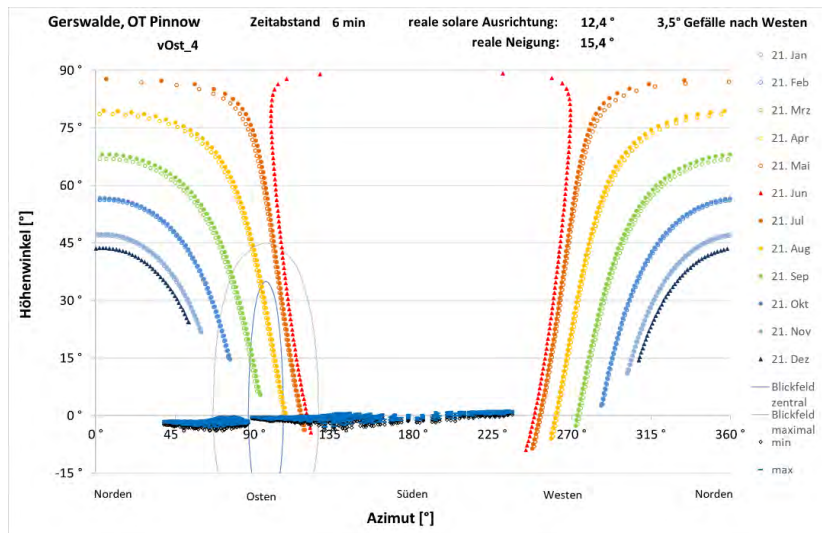


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_4

Blickpunkt vOst_5

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_5 auf 81 m üNHN in Abbildung 25 zeigt, dass von Mitte März bis Ende September Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können, von Ende März bis Mitte April und von Ende August bis Ende September in das zentrale Blickfeld. Die Beleuchtungsstärke erreicht im zentralen Blickfeld maximal 200 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 4,7°.

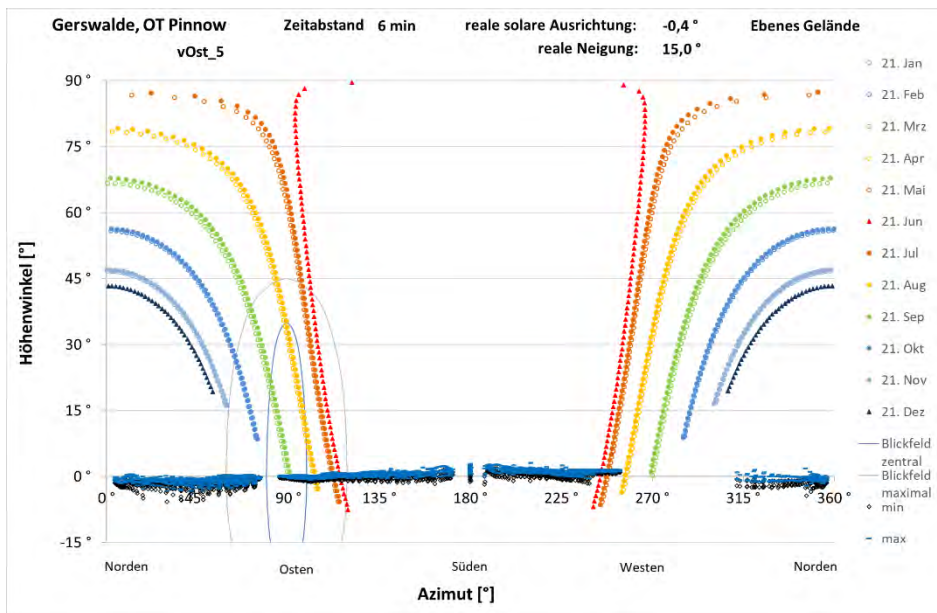


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_5

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 26 zeigt das Geschehen für die maximalen seitlichen Tischneigung von 1,8° in westlicher Richtung (linkes Diagramm) und 4,9° Tischneigung in Richtung Osten (rechtes Diagramm). Die Reflexionen der PV-Module mit seitlicher Neigung nach Westen erreichen im zentralen Blickfeld eine Beleuchtungsstärke von maximal 22 lx und die mit seitlicher Neigung nach Osten von bis zu 1.000 lx bei einem Höhenwinkel der Sonne von 12,5°.

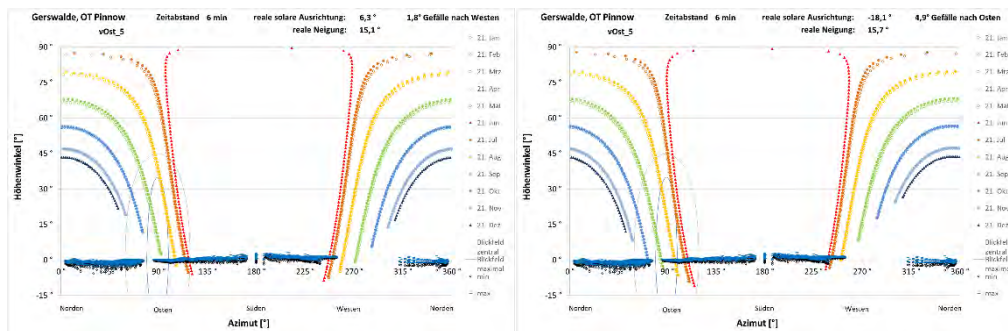


Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 1,8° seitlicher Neigung nach Westen (links) und 4,9° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vOst_5

Blickpunkt vOst_6

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_6 auf 81,5 m üNNH in Abbildung 27 zeigt, dass von Mitte März bis Mitte April und von Ende August bis Ende September Lichtreflexionen der geplanten PV-Anlage in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Der Abstandswinkel zur Blickachse beträgt mehr als 17°. Die Beleuchtungsstärke erreicht maximal 390 lx bei einem Höhenwinkel der Sonne von weniger als 6,7°.

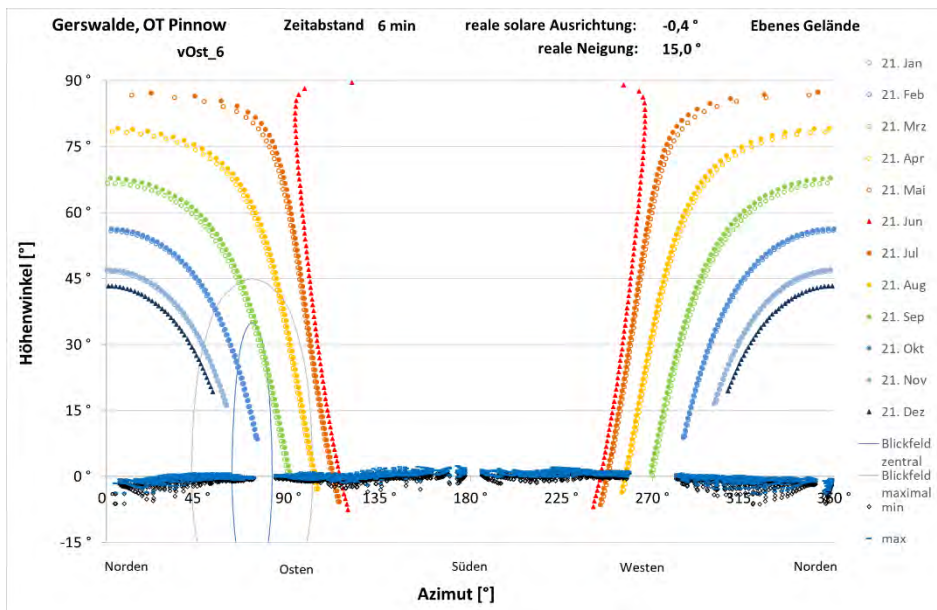


Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_6

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 28 zeigen, dass die potenziellen Reflexionen der PV-Module mit 1,8° seitlicher Neigung nach Westen in das Blickfeld der fahrzeugführenden gerichtet sein können. Sie bewirken eine Beleuchtungsstärke von maximal 125 lx. PV-Module mit einer seitlichen Neigung von 4,9° nach Osten können am äußersten Rand des Blickfelds eine Beleuchtungsstärke von bis zu 1.200 lx bewirken.

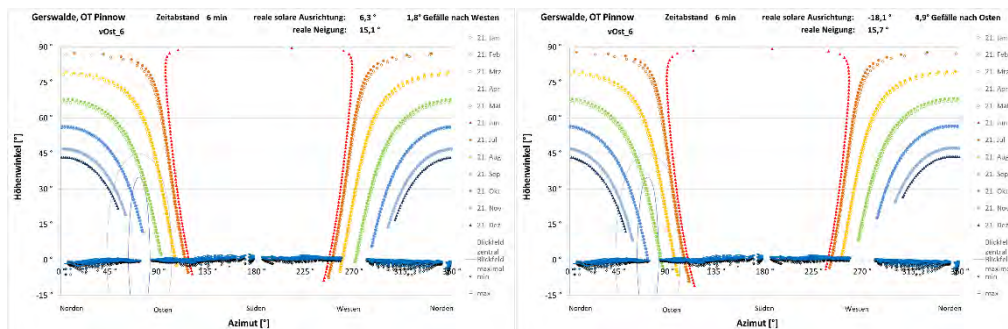


Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 1,8° seitlicher Neigung nach Westen (links) und 4,9° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vOst_6

Blickpunkt vOst_7

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vOst_7 auf 82 m üNNH in Abbildung 29 zeigt, dass Mitte April und Ende August für wenige Abende Lichtreflexionen der geplanten PV-Anlage in den Rand des Blickfelds der Fahrzeugführenden treffen können. Der Abstandswinkel zur Blickachse beträgt > 28°. Die Beleuchtungsstärke erreicht maximal



350 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 6,2°. Die Variation der seitlichen Tischneigung hat keinen nennenswerten Einfluss auf das Ergebnis.

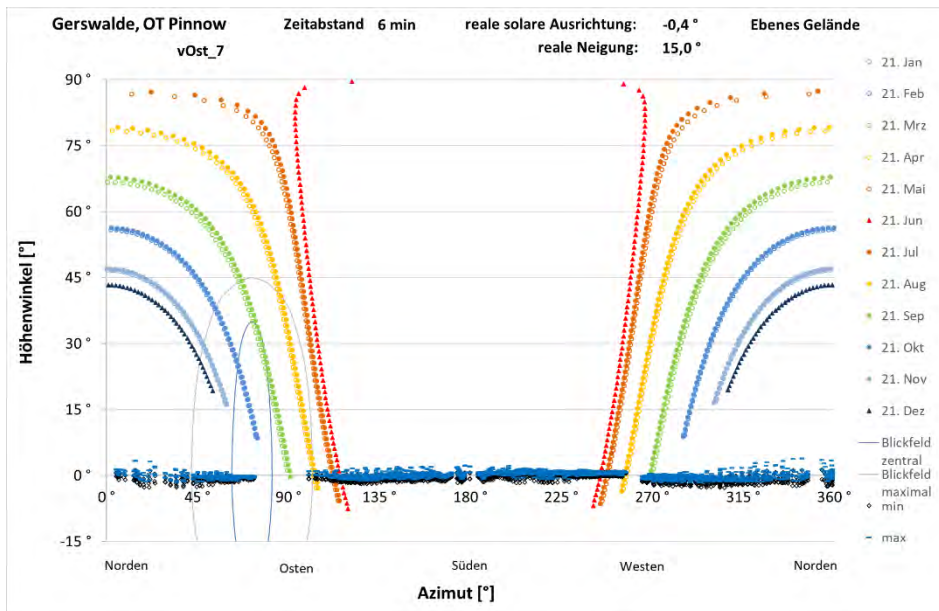


Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_7



6.1.2 K7318 aus Richtung Westen

Blickpunkt vWest_1

Am Blickpunkt vWest_1 auf 91 m üNN sind nur die nördlichen PV-Module des südlichen Teilfelds für die Fahrzeugführenden sichtbar. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 30 zeigt, dass von Mitte März bis Mitte April und von Ende August bis Ende September kurz nach Sonnenaufgang Sonnenlichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die maximale Beleuchtungsstärke beträgt 240 lx. Der Höhenwinkel der Sonne beträgt $< 4,7^\circ$.

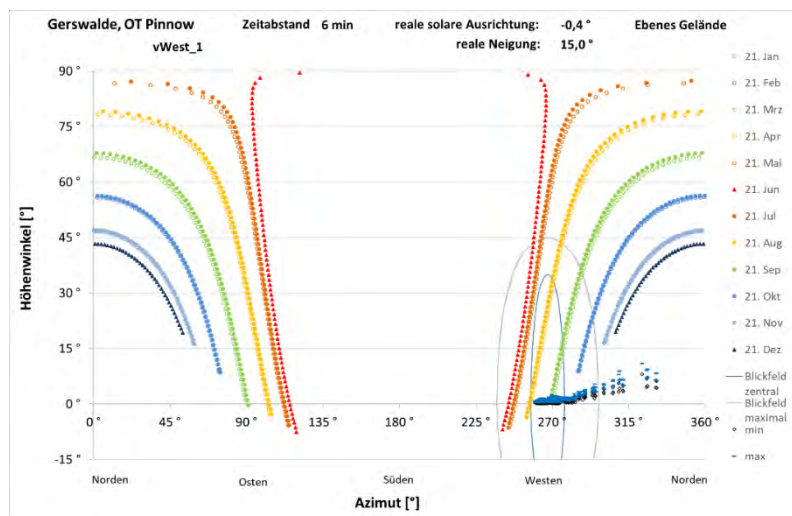


Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für sichtbare PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_1

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 31 zeigen, dass PV-Module mit einer seitlichen Tischneigung in westlicher Richtung (linkes Diagramm) in das zentrale Blickfeld reflektieren können. So bewirken bspw. die Reflexionen eines PV-Tisches (PV1677) mit einer seitlichen Neigung von $4,08^\circ$ in der Blickachse der Fahrzeugführenden eine Beleuchtungsstärke von bis zu 670 lx bei einem Höhenwinkel der Sonne von $9,3^\circ$. PV-Module mit einer seitlichen Neigung von $5,0^\circ$ nach Osten (rechtes Diagramm) können nicht in das Blickfeld der Fahrzeugführenden reflektieren.

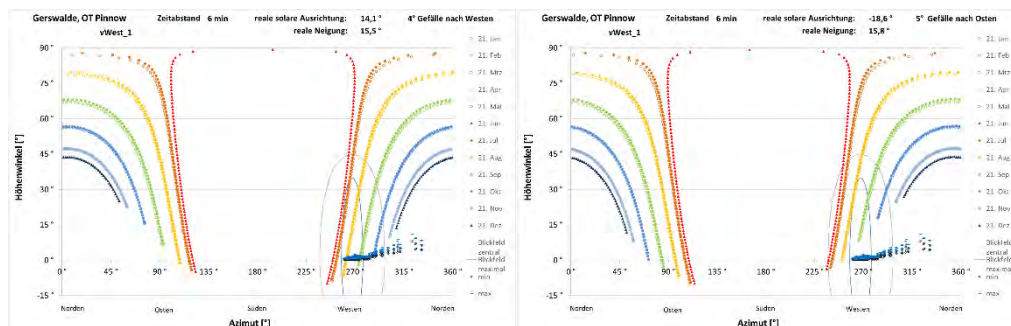


Abbildung 31: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit $4,0^\circ$ seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und $5,0^\circ$ nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_1



Blickpunkt vWest_2

Am Blickpunkt vWest_2 auf 84 m üNNH ist der Blick der Fahrzeugführenden auf das nördliche Teilfeld der geplanten Anlage durch Bäume eingeschränkt, aber einzelne Moduloberkanten können sichtbar sein. Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung in Abbildung 32 zeigt, dass von April bis September kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht maximal 1.120 lx. Die Sonne steht mit einem maximalen Höhenwinkel von 13,1° über den reflektierenden PV-Modulen.

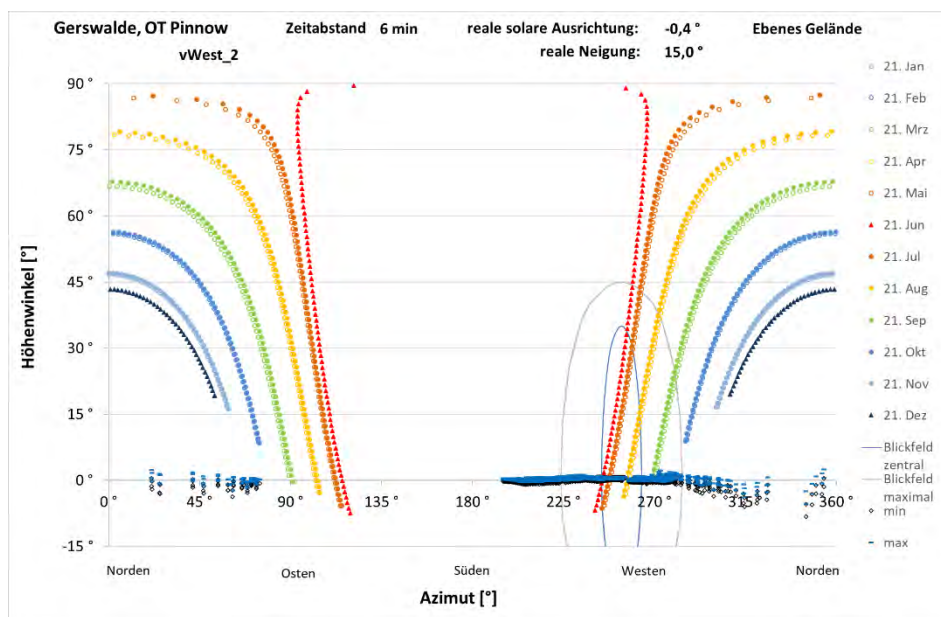


Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_2

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 33 zeigen, dass im gesamten seitlichen Neigungsbereich der PV-Module Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Verkehrsführenden gerichtet sein können.

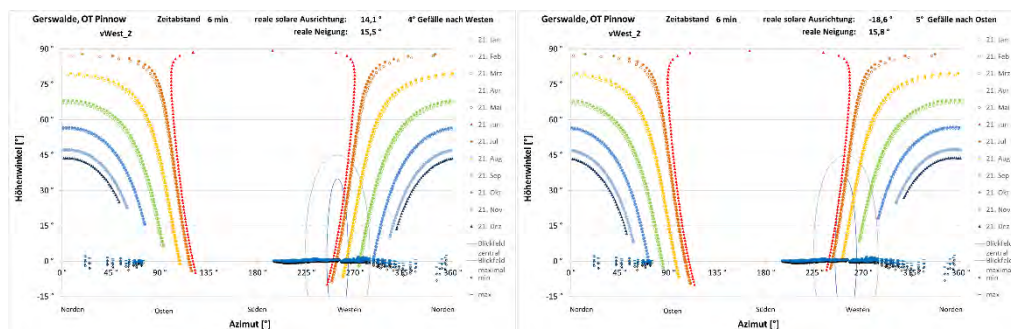


Abbildung 33: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_2



Blickpunkt vWest_3

Am Blickpunkt vWest_3 auf 83 m üNNH ist der Blick auf die PV-Anlage nicht mehr durch Bäume eingeschränkt. Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung in Abbildung 34 zeigt, dass von Mitte April bis Ende August kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht bis zu 1.240 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 14,3°.

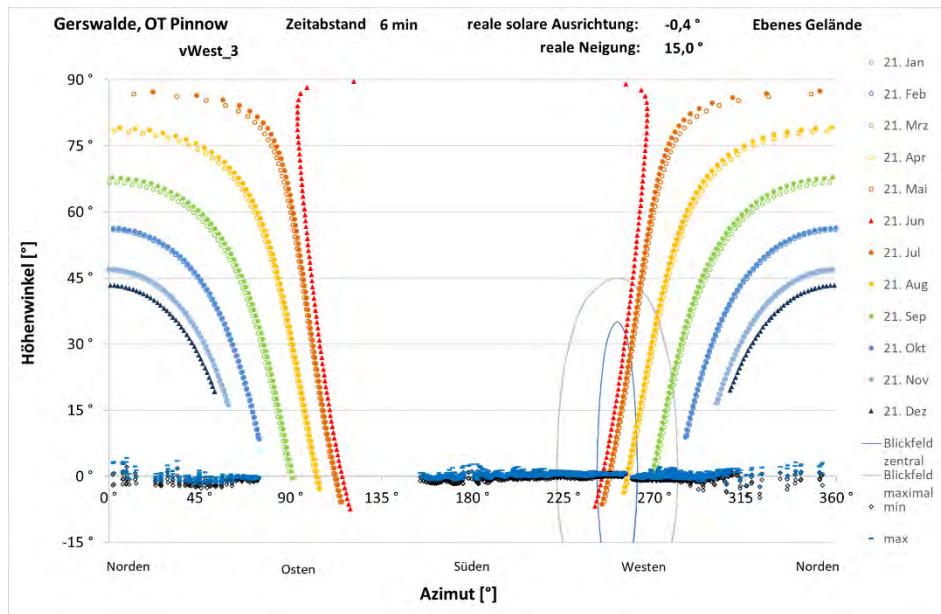


Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_3

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 35 zeigen, dass im gesamten seitlichen Neigungsbereich der PV-Module Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Verkehrsführenden gerichtet sein können.

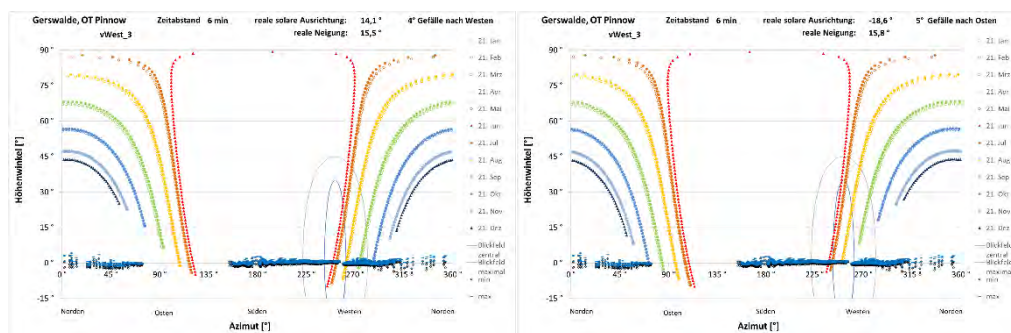


Abbildung 35: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_3



Blickpunkt vWest_4

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vWest_4 auf 82 m üNNH in Abbildung 36 zeigt, dass von Mitte April bis Mitte August kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen des nördlichen Teilfelds der geplanten Anlage in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht maximal 1.160 lx. Die Sonne steht dabei mit einem maximalen Höhenwinkel von 13,6° über den reflektierenden PV-Modulen.

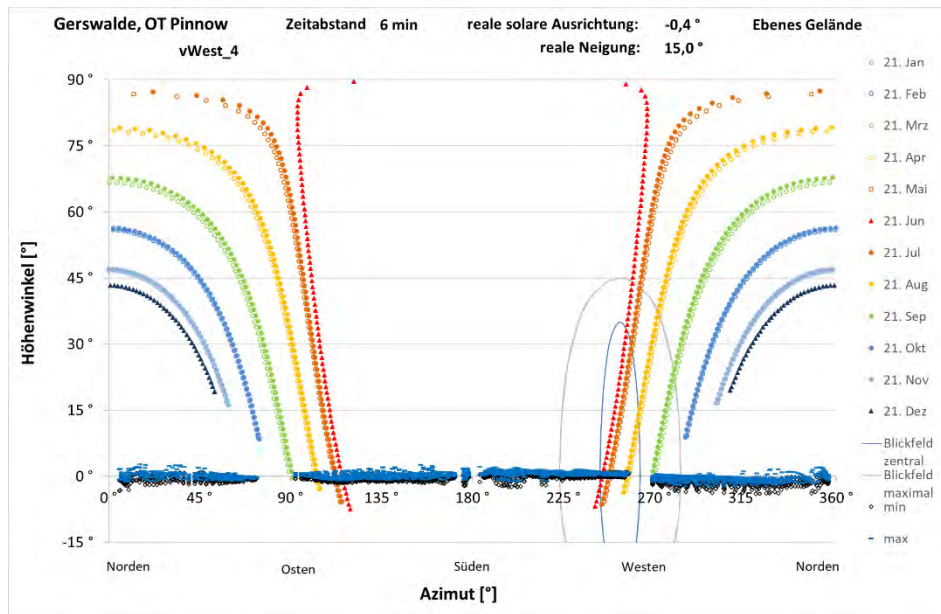


Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_4

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 37 zeigen, dass im gesamten seitlichen Neigungsbereich der PV-Module Reflexionen in das zentrale Blickfeld der Verkehrsführenden gerichtet sein können.

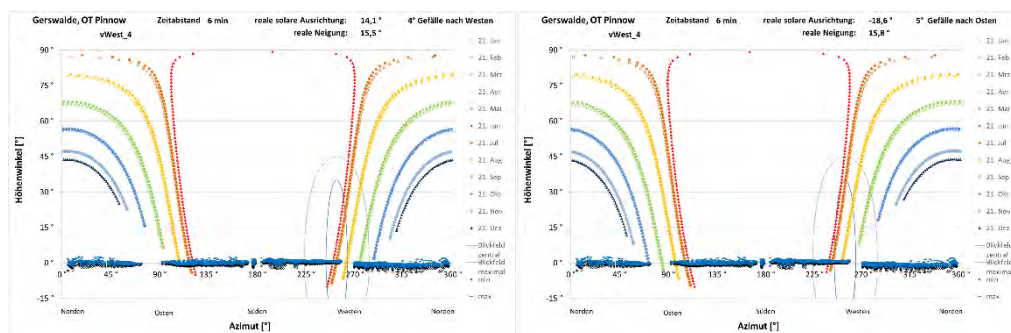


Abbildung 37: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_4



Blickpunkt vWest_5

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vWest_5 auf 81,5 m üNN in Abbildung 38 veranschaulicht, dass von Mitte April bis Ende August kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht bis zu 1.200 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 13,9°.

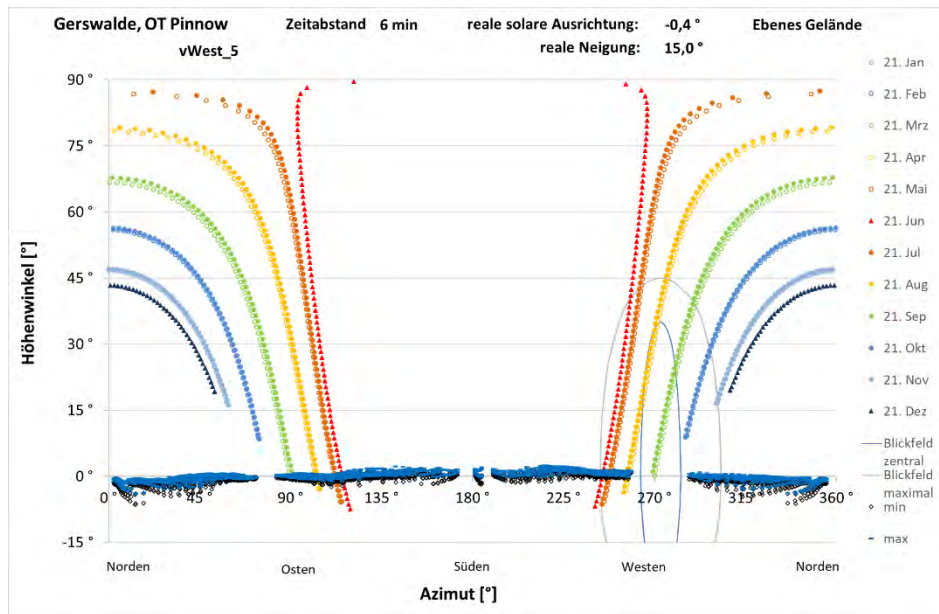


Abbildung 38: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_5

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 39 zeigen, dass im gesamten seitlichen Neigungsbereich der PV-Module Reflexionen in das Blickfeld der Verkehrsführenden gerichtet sein können. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Reflexionen.

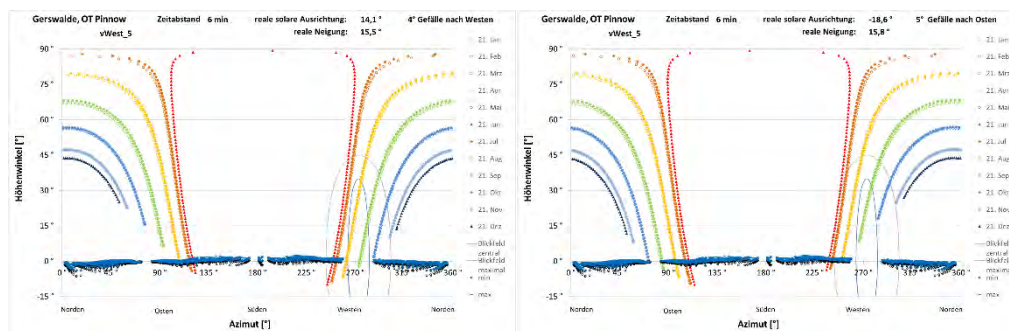


Abbildung 39: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_5



Blickpunkt vWest_6

Das Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung am Blickpunkt vWest_6 auf 81 m üNNH in Abbildung 40 zeigt, dass von Ende April bis Mitte August kurz nach Sonnenaufgang Lichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden treffen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht bis zu 1.060 lx bei einem Höhenwinkel der über den reflektierenden Modulen sichtbaren Sonne von weniger als 12,5°.

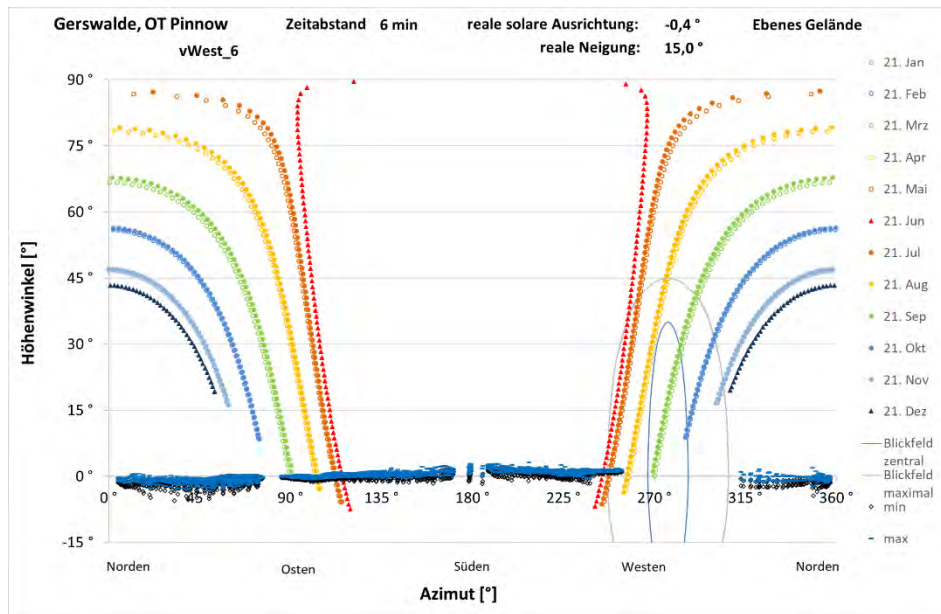


Abbildung 40: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_6

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 41 veranschaulichen, dass PV-Module im gesamten seitlichen Neigungsbereich der Tische Reflexionen in das Blickfeld der Verkehrsführenden richten können. Das zentrale Blickfeld bleibt jederzeit frei von Reflexionen.

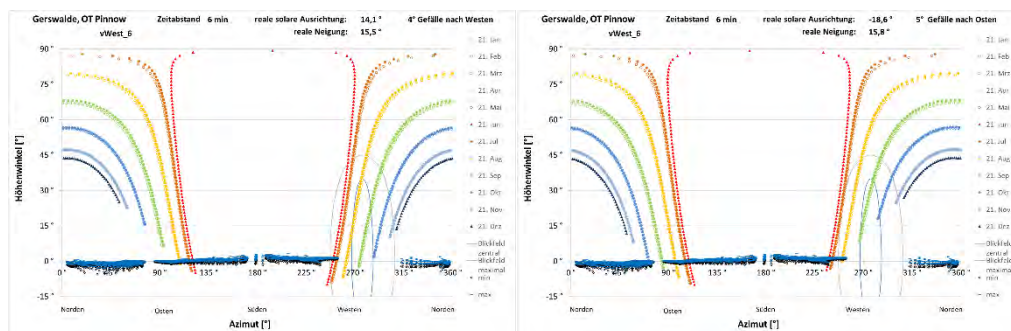


Abbildung 41: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_6

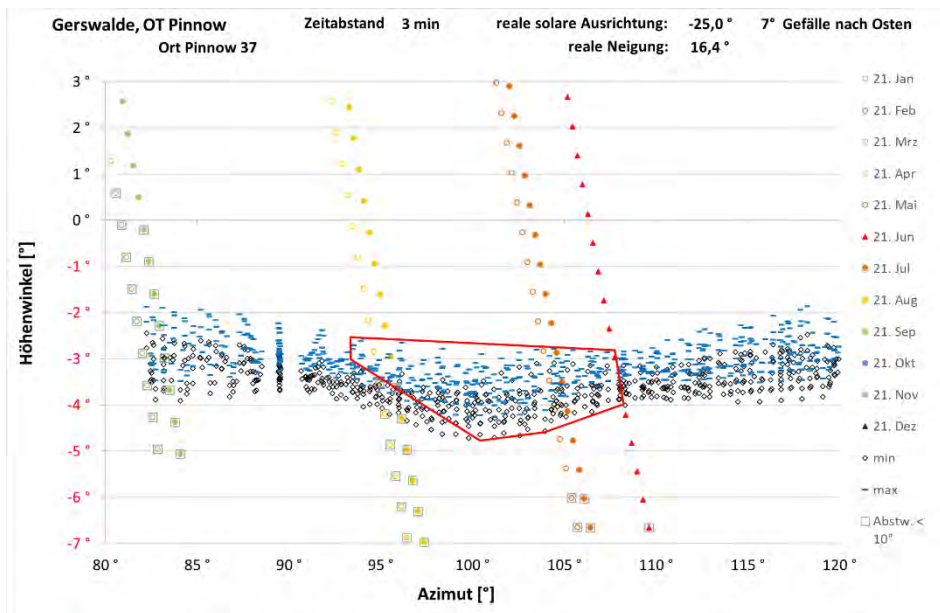


Abbildung 43: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 7° seitlicher Neigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 37 mit roter Umrandung des maximalen Immissionszeitraums

Das Reflexionsdiagramm Abbildung 44 veranschaulicht, dass von PV-Modulen mit seitlicher Tischneigung bei Gefälle in Richtung Westen keine anrechenbaren Lichtimmissionen ausgehen können.

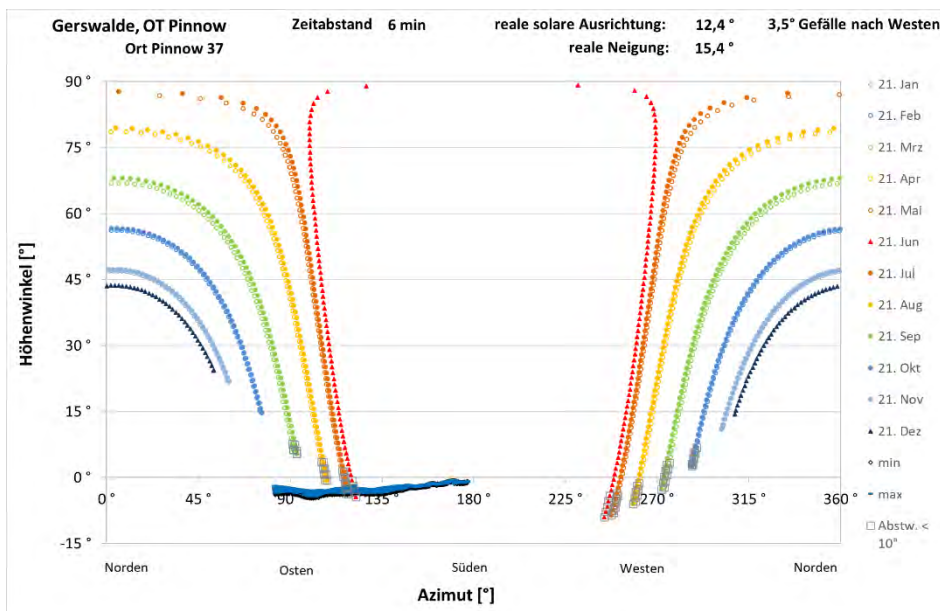


Abbildung 44: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit $3,5^\circ$ seitlicher Neigung mit Gefälle nach Westen und das Gebäude Ort Pinnow 37



6.2.2 Ort Pinnow 34

Das Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 34 in Abbildung 45 zeigt, dass von Mitte April bis Ende August für wenige Minuten kurz vor Sonnenuntergang Lichtreflexionen auf das Gebäude gerichtet sein können, während gleichzeitig auch die tiefstehende Sonne ihr Licht auf das Fenster wirft. Die Detailbetrachtung ergibt, dass keine Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie auftreten können.

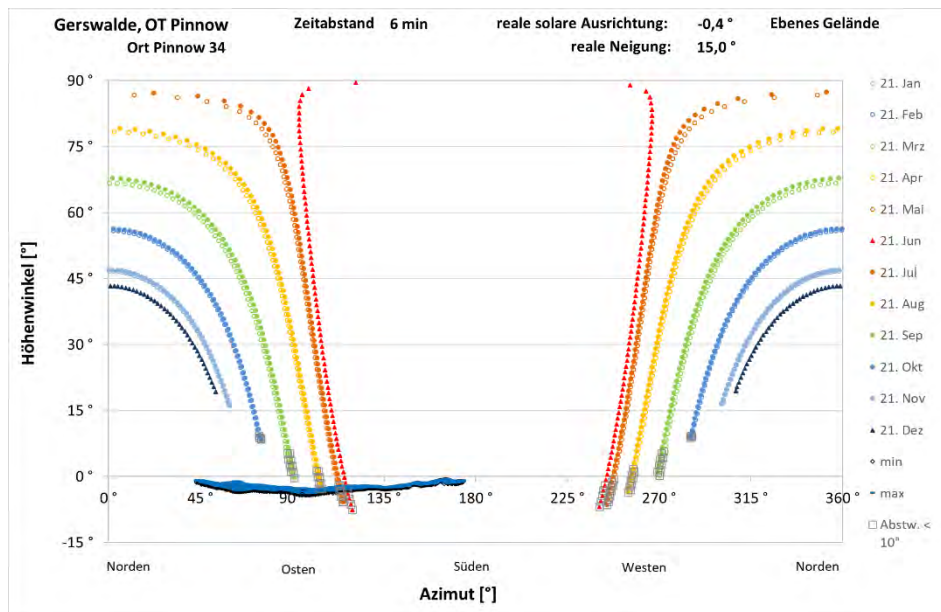


Abbildung 45: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 34

Auch die Berechnungen für PV-Module mit seitlicher Neigung zeigen das gleiche Ergebnis wie für das Gebäude Ort Pinnow 37.



6.2.3 Ort Pinnow 31

Das Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 31 in Abbildung 46 zeigt, dass von Ende April bis Mitte August für wenige Minuten kurz vor Sonnenuntergang Lichtreflexionen auf das Gebäude gerichtet sein können, während gleichzeitig auch die tiefstehende Sonne ihr Licht auf das Fenster wirft. Die Detailbetrachtung ergibt, dass keine Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie auftreten können.

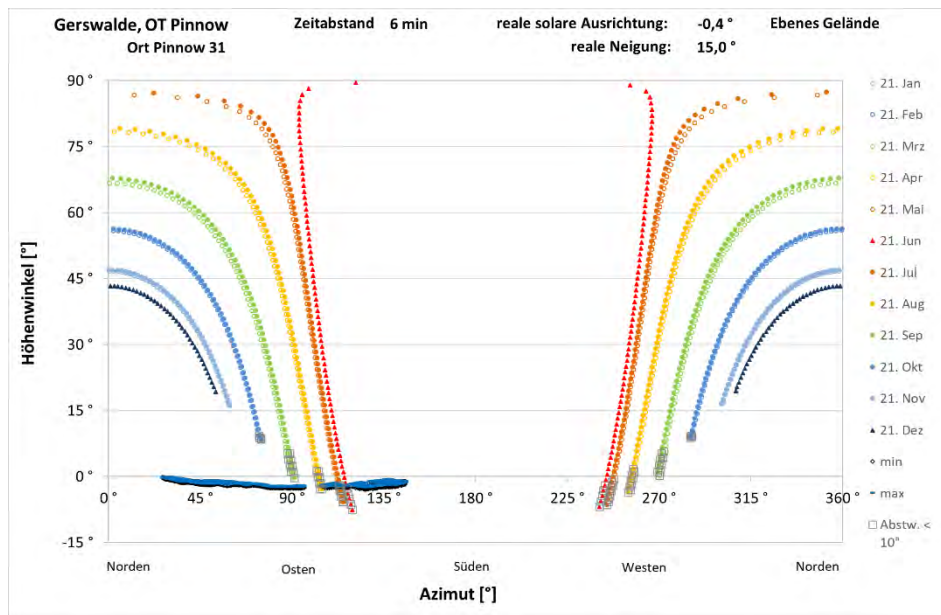


Abbildung 46: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 31

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 47 für PV-Module mit einer seitlichen Tischneigung von $\pm 5^\circ$ Gefälle zeigen, dass bei einer Neigung mit Gefälle nach Osten von Mitte Mai bis Ende Juli für wenige Minuten am Tag Lichtimmissionen auf das Gebäude treffen können. Bei einer Neigung mit Gefälle nach Westen können keine Lichtimmissionen auftreten.

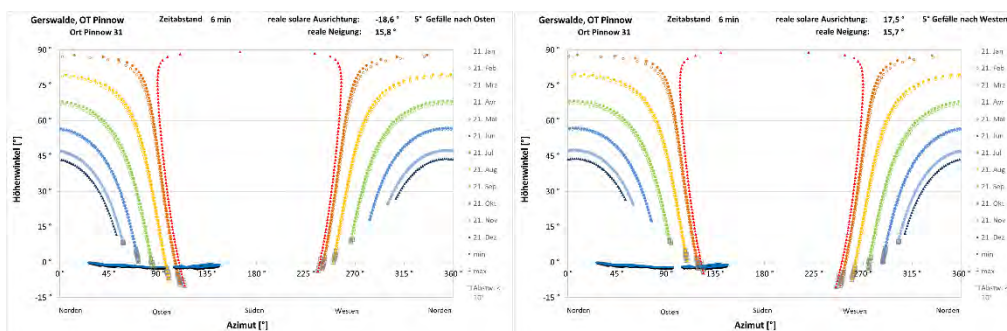


Abbildung 47: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 5° seitlicher Neigung mit Gefälle nach Osten (links) und nach Westen (rechts) und das Gebäude Ort Pinnow 31



6.2.4 Ort Pinnow 29a

Das Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 29a in Abbildung 48 zeigt, dass von Anfang April bis Mitte September für wenige Minuten Lichtreflexionen auf das Gebäude gerichtet sein können. Dabei entstehen keine Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie.

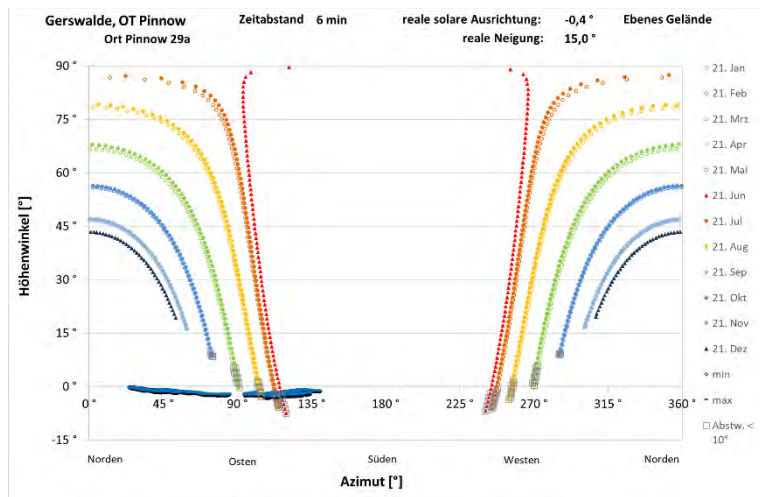


Abbildung 48: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 29a

Die Detailbetrachtung für PV-Module mit einer seitlichen Neigung von 5° Gefälle in östliche Richtung in Abbildung 49 zeigt, dass unter dieser Bedingung von Mitte April bis Mitte August Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie auf das Gebäude treffen können. Die maximale Immissionsdauer liegt bei < 9 min/d und < 15 h/a. PV-Module mit seitlicher Neigung nach Westen können hingegen keine Lichtimmissionen auf das Gebäude bewirken.

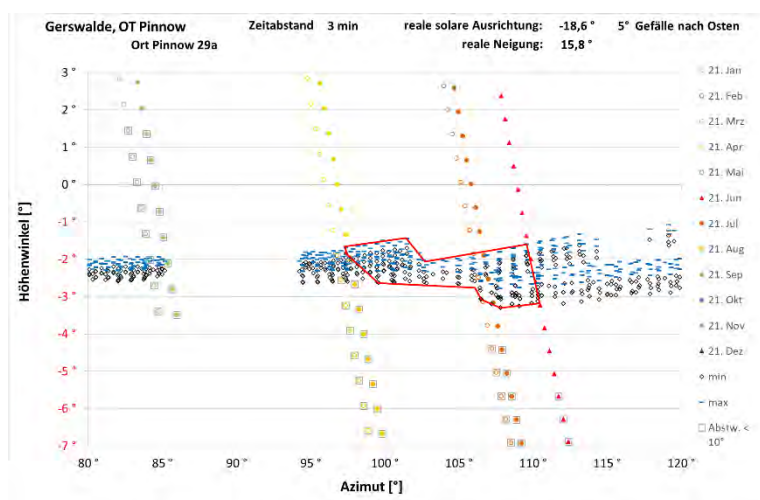


Abbildung 49: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 5° seitlicher Tischneigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 29a mit Umrandung des potenziellen Immissionszeitraums



6.2.5 Ort Pinnow 21

Das Reflexionsdiagramm für Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 21 in Abbildung 50 zeigt, dass von Anfang Mai bis Ende August Lichtreflexionen auf das Gebäude gerichtet sein können. Die Detailbetrachtung ergibt, dass für maximal 3 min/d Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie auftreten können.

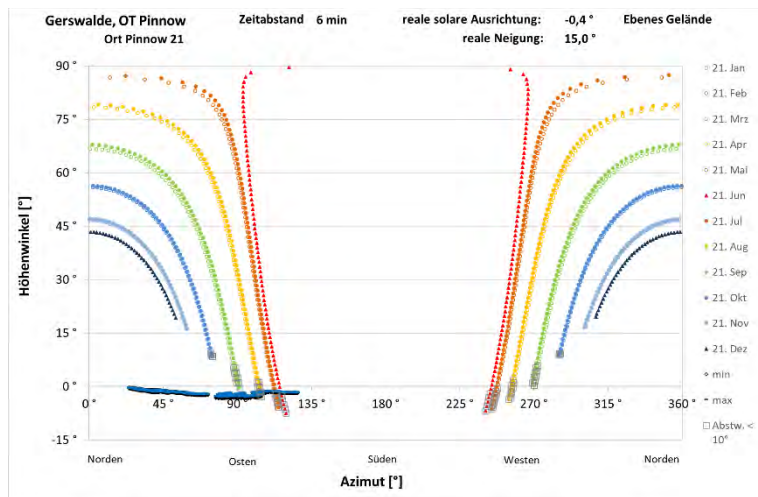


Abbildung 50: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 21

Die Detailbetrachtung für PV-Module mit einer seitlichen Neigung von 5° Gefälle in östliche Richtung in Abbildung 51 zeigt, dass unter dieser Bedingung von Ende April bis Anfang August Lichtimmissionen im Sinne der Brandburger Licht-Leitlinie auf das Gebäude treffen können. Die maximale Immissionsdauer liegt bei < 8 min/d und < 10 h/a. PV-Module mit seitlicher Neigung nach Westen können hingegen keine Lichtimmissionen auf das Gebäude bewirken.

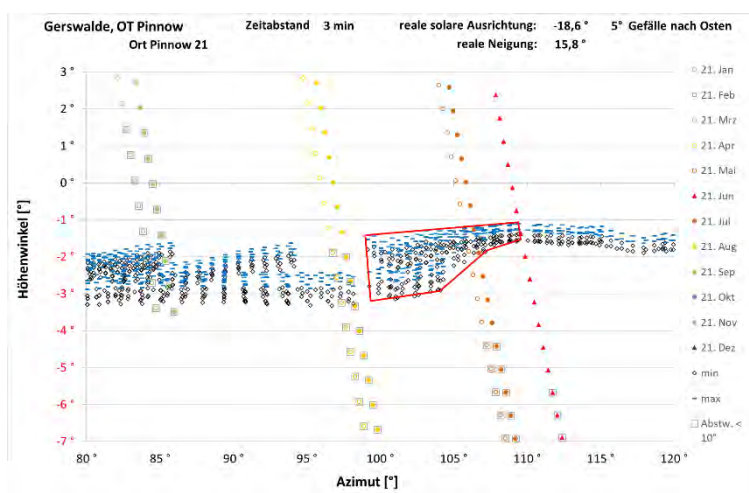


Abbildung 51: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 5° seitlicher Tischneigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 21 mit Umrandung des potenziellen Immissionszeitraums



7 Bewertung der Blendrisiken

7.1 Straßenverkehr

7.1.1 Straßenverkehr aus Richtung Süden oder Norden

Der Straßenverkehr einer in Nord-Süd-Richtung verlaufenden tiefer liegenden Straße westlich oder östlich einer PV-Anlage kann nicht von Lichtreflexionen der nach Süden ausgerichteten PV-Module betroffen sein, da alle von Südosten bis Südwesten strahlenden Reflexionen nach oben gerichtet sind. Eine Störung des Verkehrs auf der Kreisstraße K7321 durch die geplante PV-Anlage kann deshalb ohne rechnerischen Nachweis ausgeschlossen werden.

7.1.2 Straßenverkehr aus Richtung Osten

Die tageslichtadaptierten Augen der Fahrzeugführenden auf der Kreisstraße aus Richtung Pinnow können vor allem im Frühjahr und Spätsommer zwischen Ortsausgang Pinnow und dem Passieren der ersten Modultische von Sonnenlichtreflexionen einzelner PV-Module in das erweiterte Gebrauchsblickfeld getroffen werden. Aufgrund der geringen Beleuchtungsstärke von maximal 550 lx bei einem geringen Abstandswinkel von weniger als 10° zur tief über den reflektierenden Modulen stehenden Abendsonne ist eine durch die PV-Anlage bewirkte Blendung der Fahrzeugführenden ausgeschlossen.

Beim Passieren der geplanten PV-Anlage können im Frühjahr und Spätsommer Lichtreflexionen der unmittelbar nördlich der Straße geplanten PV-Module in das zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden reflektieren. Die Beleuchtungsstärke am Auge kann im Spätfrühling und Frühsommer für stark nach Osten geneigte PV-Module des nördlichen Teilfelds der geplanten Anlage bis zu 1.000 lx bei einem Abstandswinkel von 12,5° zur Abendsonne erreichen. Eine durch die PV-Anlage bewirkte Blendung der Fahrzeugführenden ist damit nicht ausgeschlossen. Zwischen PV-Anlage und nördlichem Fahrbahnrand ist ein straßennaher Blendschutz von mindestens 3 m Höhe erforderlich.

7.1.3 Straßenverkehr aus Richtung Westen

Die noch nicht vollständig tageslichtadaptierten Augen der Fahrzeugführenden auf der Kreisstraße aus Richtung Buchholz können auf einer Strecke von 700 m beim Passieren der geplanten PV-Anlage von Mitte März bis Ende September kurz nach Sonnenaufgang von Sonnenlichtreflexionen einzelner PV-Module in das zentrale Blickfeld betroffen sein. Dabei können im Spätfrühling und Frühsommer Beleuchtungsstärken von mehr als 1.200 lx an den Augen der Fahrzeugführenden erreicht werden. Die Morgensonne steht mit einem Abstandswinkel von weniger als 14° über den reflektierenden Modulen, kann aber durch die Nutzung der Sonnenblende des Fahrzeugs abgeschirmt werden. Eine durch die PV-Anlage bewirkte Blendung der Fahrzeugführenden ist nicht ausgeschlossen. Ein straßennaher Blendschutz von mindestens 3,5 m Höhe ist beidseitig zwischen PV-Anlage und Fahrbahnrand erforderlich.



Nach dem Durchfahren der Rechtskurve zwischen den beiden Teilfeldern der Anlage (Blickpunkt vWest_5) können keine Lichtreflexionen der geplanten Anlage mehr in das zentrale Blickfeld gelangen. Von Mitte April bis Ende August können Reflexionen einzelner PV-Module des nördlichen Teilfelds der geplanten Anlage in das erweiterte Gebrauchsblickfeld gerichtet sein. Die maximale Beleuchtungsstärke der Reflexionen beträgt 1.200 lx bei einem Abstandswinkel zur Sonne von weniger als 14°. Es besteht ein geringes Blendrisiko. Die Fortführung des Blendschutzes zwischen nördlichem Fahrbahnrand und der geplanten Anlage ist zu empfehlen.

7.2 Wohngebäude

Die untersuchten Wohngebäude an der Straße Ort Pinnow können von Frühjahr bis Herbst für einige Minuten am Abend kurz vor Sonnenuntergang von Lichtreflexionen einzelner Module der geplanten PV-Anlage getroffen werden. Die tief stehende Sonne steht dabei mit geringem Höhenabstand über den reflektierenden Modulen. Die potenziellen Lichtimmissionen im Sinne der maßgeblichen Brandenburger Licht-Leitlinie sind zumutbar. Sie können für maximal 9 min am Tag und 15 h im Jahr auftreten.

Die Gebäude im Ortskern von Pinnow haben einen größeren Abstand zur geplanten PV-Anlage, so dass der Höhenwinkelbereich potenzieller Lichtimmissionen geringer als bei den untersuchten Gebäuden ist. Damit sinkt auch die Zeitdauer der möglich Lichtimmissionen.

Ein Blendschutz ist nicht erforderlich.



8 Blendschutz

Die Analyse der Reflexionswirkungen der geplanten PV-Anlage hat ergeben, dass ein straßennaher Blendschutz bis 3,5 m Höhe für den Verkehr auf der Kreisstraße K7318 erforderlich ist. Abbildung 52 zeigt den skizzierten Verlauf des empfohlenen Blendschutzes beidseits der Kreisstraße.

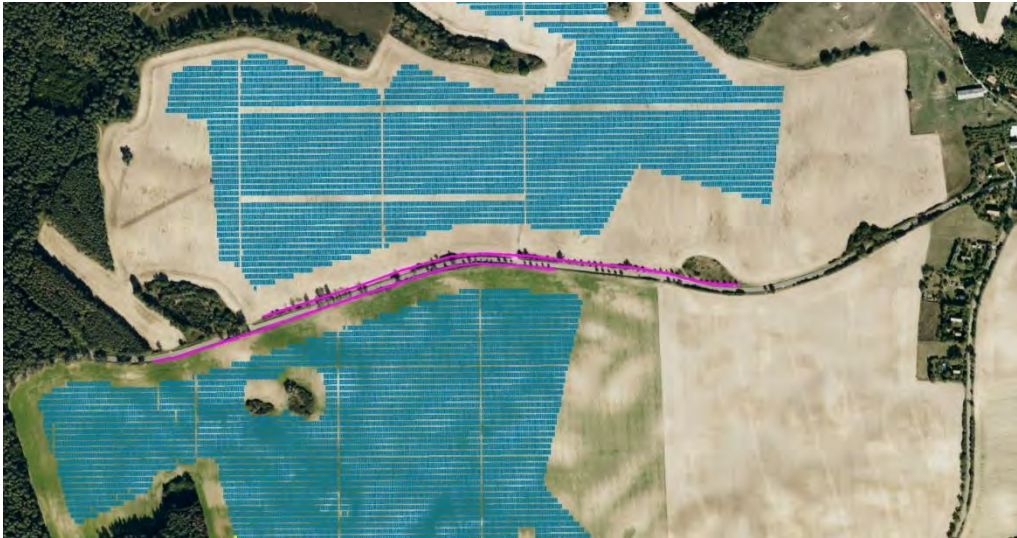


Abbildung 52: Lage des empfohlenen Blendschutzes (magentafarbene Linien) beidseits der Kreisstraße K7318

Der Blendschutz kann bspw. durch die Ergänzung des vorhandenen Baumbestandes durch weitere Bäume oder Sträucher, wie Hasel, Weißdorn oder roter Hartriegel, mit einer Belaubung im Bereich von 1 m bis 3,5 m Höhe realisiert werden. Im Zeitraum März/April und September gewährleisten auch unbelaubte Sträucher einen ausreichenden Blendschutz.



9 Verwendete Materialien

9.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Belegungsplan als Datei „20221125_ger1_energisto_master-park-layout-r01_sal_lpa.dwg“

9.2 Literatur

- ▶ Raumordnungsgesetz vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2694) geändert worden ist
- ▶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 26. April 2022 (BGBl. I S. 674) geändert worden ist
- ▶ BMWK: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor, Bearbeitungsstand 4.3.2022
- ▶ Erneuerbare-Energien-Gesetz 2023, Stand 08.07.2022
- ▶ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 24. September 2021 (BGBl. I S. 4458) geändert worden ist
- ▶ 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
- ▶ Schattenwurf-Richtlinie: Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen (WEA-Schattenwurf-Hinweis, verabschiedet auf der 103. Sitzung des Länderausschusses für Immissionsschutz (LAI), 6.-8.5.2002
- ▶ LAI (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz): Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen; Beschluss der LAI vom 13.09.2012, Anhang 2 – Stand 3.11.2015
- ▶ Leitlinie des Brandenburger Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen (Licht-Leitlinie) vom 16. April 2014
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006

- ▶ DIN 5034-2:2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen





10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Gerswalde (Modulreihen blau eingezeichnet) und der potenziellen Immissionsorte; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	8
Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^{\circ}/0^{\circ}$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont.....	10
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	12
Abbildung 5: Lage der geplanten Photovoltaikanlage Gerswalde (oben) und die Topografie des Geländes als Schummerungsdarstellung (unten) im Bereich 112 m üNNH (rot) und 35 m ÜHN (Blau); Quelle: OpenTopoMap	14
Abbildung 6: Blickpunkte (benannte Kreise in cyan) und Blickfelder (10° Winkel in blau, 30° Winkel in grau) des Straßenverkehrs auf der K7318 aus Richtung Osten für die Untersuchung der Blendrisiken	16
Abbildung 7: Blickpunkte (benannte Kreise in cyan) und Blickfelder (10° Winkel in blau, 30° Winkel in grau) des Straßenverkehrs auf der K7318 aus Richtung Westen für die Untersuchung der Blendrisiken	16
Abbildung 8: Reflexions- und Blickpunkte für die Prüfung auf Blendung des Straßenverkehrs in der x-y-Ebene.....	17
Abbildung 9: Zu untersuchende Wohngebäude in Pinnow mit Angabe der Adresse; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Bing Maps.....	17
Abbildung 10: Übersicht der für die Prüfung auf Blendung im Wohnbereich modellierten Reflexions- (blau) und Blickpunkte (rot) in der x-y-Ebene	18
Abbildung 11: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt	19
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen auf ebenem Baugrund mit südlicher Ausrichtung und 15° Planneigung am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln	20
Abbildung 13: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts).....	21



Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für PV-Module der geplanten Anlage auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_1 auf der Kreisstraße K7318.....	21
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37	22
Abbildung 16: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 37 mit roter Umrandung des maximalen Reflexionszeitraums.....	22
Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_1.....	24
Abbildung 18: Reflexionsdiagramm für Module mit 4,8° seitlicher Tischneigung nach Osten am Blickpunkt vOst_1.....	25
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_2	26
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_2.....	26
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_3	27
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_3.....	28
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_4	28
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung nach Westen am Blickpunkt vOst_4.....	29
Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_5	30
Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 1,8° seitlicher Neigung nach Westen (links) und 4,9° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vOst_5.....	30
Abbildung 27: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vOst_6	31
Abbildung 28: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 1,8° seitlicher Neigung nach Westen (links) und 4,9° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vOst_6.....	31
Abbildung 29: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände und den Blickpunkt vOst_7	32
Abbildung 30: Reflexionsdiagramm für sichtbare PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_1	33



Abbildung 31: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_1.....	33
Abbildung 32: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_2.....	34
Abbildung 33: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_2.....	34
Abbildung 34: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_3.....	35
Abbildung 35: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_3.....	35
Abbildung 36: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_4.....	36
Abbildung 37: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_4.....	36
Abbildung 38: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_5.....	37
Abbildung 39: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_5.....	37
Abbildung 40: Reflexionsdiagramm für PV-Module auf ebenem Gelände am Blickpunkt vWest_6.....	38
Abbildung 41: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 4,0° seitlicher Tischneigung nach Westen (links) und 5,0° nach Osten (rechts) am Blickpunkt vWest_6.....	38
Abbildung 42: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 37.....	39
Abbildung 43: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 7° seitlicher Neigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 37 mit roter Umrandung des maximalen Immissionszeitraums.....	40
Abbildung 44: Reflexionsdiagramm für PV-Module mit 3,5° seitlicher Neigung mit Gefälle nach Westen und das Gebäude Ort Pinnow 37.....	40
Abbildung 45: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 34.....	41
Abbildung 46: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 31.....	42
Abbildung 47: Reflexionsdiagramme für PV-Module mit 5° seitlicher Neigung mit Gefälle nach Osten (links) und nach Westen (rechts) und das Gebäude Ort Pinnow 31.....	42



Abbildung 48: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Neigung und das Gebäude Ort Pinnow 29a.....	43
Abbildung 49: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 5° seitlicher Tischneigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 29a mit Umrandung des potenziellen Immissionszeitraums.....	43
Abbildung 50: Reflexionsdiagramm für PV-Module ohne seitliche Tischneigung und das Gebäude Ort Pinnow 21.....	44
Abbildung 51: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms für PV-Module mit 5° seitlicher Tischneigung mit Gefälle nach Osten und das Gebäude Ort Pinnow 21 mit Umrandung des potenziellen Immissionszeitraums.....	44
Abbildung 52: Lage des empfohlenen Blendschutzes (magentafarbene Linien) beidseits der Kreisstraße K7318.....	47

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)9

