

Blendgutachten PV-Anlage Behrenshagen

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage - Vorabversion

Auftraggeber:

ENERPARC AG
Kirchenpauerstr. 26
20457 Hamburg

erstellt von:

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

Datum: 11.04.2024

Berichtnummer: P240008-01



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Bewertung	5
3	Einleitung	6
3.1	<i>Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen</i>	6
3.1.1	Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.1.3	Straßenverkehrsgesetze	7
3.1.4	Richtlinien der FGSV	7
3.2	<i>Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen</i>	8
3.3	Bewertung der Blendwirkung von Sonnenlichtreflexionen	9
3.3.1	Immissionsschutz (Wohn- und Arbeitsbereich)	9
3.3.2	Verkehrssicherheit	9
4	Berechnungsmethodik	11
4.1	Verwendete Azimut-Winkelangaben	11
4.2	Berechnung der Reflexionsrichtungen	11
4.3	Berechnung der Beleuchtungsstärken	13
4.4	Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte	13
4.5	Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme	13
4.5.1	Straßen- und Schienenverkehr	13
4.5.2	Schützenswerte Nutzungen	14
5	Situation vor Ort	16
5.1	PV-Anlage	16
5.2	Potenzielle Blendrichtungen	17
5.3	Zu prüfende Immissionsorte	18
6	Berechnungsergebnisse	20
6.1	Schienenverkehr aus westlicher Richtung	20
6.2	Schienenverkehr aus östlicher Richtung	22
6.3	Honig- und Kürbischhof Gutshaus Behrenshagen mit Gutspark	24



7	Bewertung der Blendrisiken	26
7.1	Schienenverkehr	26
7.2	Schutzwürdige Nutzungen	26
8	Verwendete Materialien	27
8.1	Dokumente vom Auftraggeber	27
8.2	Literatur	27
9	Abbildungsverzeichnis	29
10	Tabellenverzeichnis	30



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es ist zu prüfen, ob von den PV-Modulen der in der Gemarkung Behrenshagen in Mecklenburg-Vorpommern geplanten Photovoltaik-Freiflächenanlage Sonnenlicht auf Verkehrswege oder schutzwürdige Nutzungen reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls unzumutbare Lichtimmissionen oder die Sicherheit des Schienen- und Straßenverkehrs beeinträchtigende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten PV-Anlage ist in Abbildung 1 dargestellt.

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



Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Behrenshagen (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)



2 Zusammenfassung der Bewertung

Es wird festgestellt, dass der Schienenverkehr von Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Zugführenden betroffen sein kann, die zu keiner Beeinträchtigung der Erkennbarkeit von Bahnsignalen und der Wegstrecke führen. Die Sicherheit des Schienenverkehrs bleibt jederzeit gewahrt.

Es wird festgestellt, dass es zu keiner unzumutbaren Belästigung von Anliegern durch von der PV-Anlage verursachte Lichtimmissionen kommen kann. Die Nutzung des Gutsparks des Gutshaus Behrenshagen für Seminare, Ausstellungen und Führungen wird nicht beeinträchtigt.

Es sind keine zusätzlichen Blendschutzmaßnahmen erforderlich.

Aus blendgutachterlicher Sicht ist die Photovoltaik-Freiflächenanlage Behrenshagen als genehmigungsfähig einzustufen.



3 Einleitung

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

3.1 Gesetzlicher und regulatorischer Rahmen

3.1.1 Nutzung erneuerbarer Energien in Raumordnung und Baurecht

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

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

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

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

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



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

3.1.2 Immissionsschutz

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

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

3.1.3 Straßenverkehrsgesetze

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

3.1.4 Richtlinien der FGSV

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



3.2 Sonnenlichtreflexionen an Photovoltaikanlagen

Auf Grund der großen reflektierenden Fläche kann das von den Deckgläsern der PV-Module reflektierte Sonnenlicht eine Blendung von Anwohnern und Verkehrsteilnehmern bewirken. Da die Leuchtdichte der Sonne bei klarer Sicht bereits kurz über dem Horizont mehr als 10^6 cd/m^2 beträgt, muss auch bei den geringen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Blendungserscheinungen bei Beobachtern gerechnet werden. Bei typischen Freiflächen-Photovoltaikanlagen werden die PV-Module auf Tischreihen mit einer festen Azimutausrichtung von Süd bis Ost/West und einem starren Neigungswinkel zwischen 10° und 25° errichtet. In Abhängigkeit von der Topografie des Baufelds und der Umgebung können meistens nur morgens und abends Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln auf die Augen von Verkehrsteilnehmer gerichtet sein. Die Sonne steht dabei gleichzeitig auf einer geringen Höhe mit einem geringen horizontalen Versatz über der reflektierenden Fläche. Das reflektierte Sonnenlicht hat eine um mindestens eine Zehnerpotenz geringere Intensität als das direkte Sonnenlicht.

Für Deckgläser von PV-Modulen wird ein spezielles Glas mit hohem Transmissionsgrad verwendet. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Dies hat nach heutigem Stand der Technik zur Folge, dass bei senkrechter Einstrahlung weniger als 9 % des gesamten eingestrahltten sichtbaren Lichtes reflektiert wird, während bei einem Einfallswinkel von 65° ca. 20 % der auftretenden Strahlung reflektiert wird. Abbildung 2 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem Einfallswinkel der Sonnenstrahlen und der Transmission des Lichts durch das Glas.

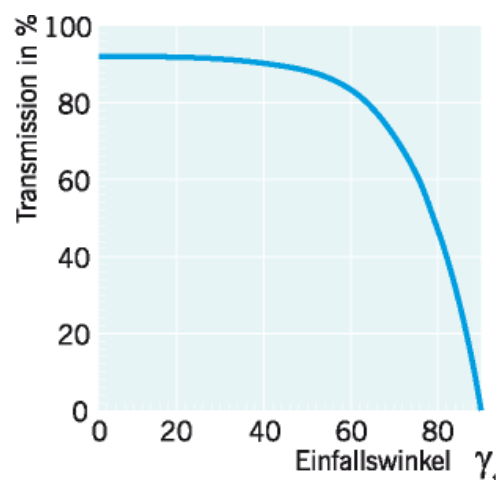


Abbildung 2: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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



3.3 Bewertung der Blendwirkung von Sonnenlichtreflexionen

3.3.1 Immissionsschutz (Wohn- und Arbeitsbereich)

Die Licht-Richtlinie der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz definiert schutz-würdige 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 $0,56^\circ$ können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

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

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

3.3.2 Verkehrssicherheit

Zur Bewertung von Blendungen im Straßenverkehr unter Tageslichtbedingungen ist der Bereich des fovealen Sehens im zentralen Blickfeld als besonders kritisch anzusehen. Dieser Bereich wird durch unbewusste Augenbewegungen (Sakkaden) und Fixationen des Blicks aufgespannt. Einflussfaktoren auf die Größe dieses Bereichs sind bspw. die Geschwindigkeit, der Straßenverlauf und die Verkehrssituation. Für Sehaufgaben im Straßen- und Schienenverkehr umfasst das zentrale Blickfeld allgemein den Bereich mit einem horizontalen Differenzwinkel zur Blickachse (= Hauptblickrichtung) von $\leq 10^\circ$. Der vertikale Differenzwinkelbereich für das zentrale Sehen bei der Fahrzeugführung kann mit $+6^\circ$ bis -4° angesetzt werden. An Knotenpunkten und für spezielle Fahrsituationen kann eine abweichende Festlegung des zentralen Blickfelds notwendig sein. Zur Bewertung der potenziellen Blendwirkung der Reflexionen sind neben der Beleuchtungsstärke der Reflexionsstrahlen am Auge auch die Sichtbarkeit und Position der Sonne zu berücksichtigen.

Zusätzlich ist für die Bewertung von Blendrisiken der Bereich des peripheren Sehens zu berücksichtigen, in dem Umgebungsinformationen aufgenommen werden. Das periphere Sehen dient der Orientierung (z.B. Spurhalten) sowie der Wahrnehmung von Veränderungen in der Umgebung (Bewegung, Leuchtdichteunterschiede), die als Distraktoren eine Blickzuwendung auslösen können. Für das periphere Blickfeld ist ein horizontaler Differenzwinkelbereich zur Blickachse von bis zu 30° anzusetzen. Der vertikale Differenzwinkelbereich zur Blickachse kann mit $+18^\circ$ bis -12° angesetzt werden.

Bei einer Fixation der Augen auf eine Blendquelle mit einer Leuchtdichte von mehr als ca. 10^5 cd/m^2 tritt eine Absolutblendung auf. Dabei wird die Anpassungsfähigkeit des Auges an die Helligkeit überschritten,



und es setzen Schutzmechanismen ein, die zu einer Beeinträchtigung der Verkehrstüchtigkeit führen. Dies kann im Straßenverkehr nur im zentralen Blickfeld beim direkten Blick auf die reflektierenden Moduloberflächen geschehen. Haupteinflussfaktoren auf die Absolutblendung sind die Leuchtdichte der Blendquelle und die Dauer des Blicks in die Blendquelle.

Im Rahmen der Verkehrssicherheit kommt es vor allem auf die Relativblendung an, bei der gerichtete Lichtstrahlen durch Streueffekte des Augenapparats eine sogenannte äquivalente Schleierleuchtdichte auf der Netzhaut induzieren, die eine Einschränkung der Sehleistung vor allem durch eine Kontrastminderung und die Ablenkung von der Sehaufgabe hervorruft. Eine weitere Ursache für eine Relativblendung der Fahrzeugführenden kann ein abrupter Anstieg der Helligkeit sein, bei dem sich die Augen nicht schnell genug an die veränderte Umgebungsleuchtdichte anpassen können.

Für die Bewertung einer Relativblendung sind entsprechend der Formeln zur Berechnung der äquivalenten Schleierleuchtdichte der Differenzwinkel der Reflexionen zur Blickachse und deren Beleuchtungsstärke am Auge heranzuziehen sowie die Sichtbarkeit und Position der Sonne zu berücksichtigen. Die Sonnenhöhe dient als Maß für die Umgebungshelligkeit und damit auch für den Adaptionzustand der Augen. In vielen Situationen steht die Sonne so nah an der reflektierenden Fläche, dass diese überstrahlt wird und keine eigenständige Blendwirkung verursachen kann. Bei einem horizontalen Differenzwinkel von bis zu 20° zur Blickachse ist auch die Dauer des Reflexionsgeschehens zu berücksichtigen. Eine Blendsituation, die mehrere Sekunden dauert, kann zu Schutzreaktionen führen, die die Erfüllung der Sehaufgabe beeinträchtigen, während eine kurzfristige Relativblendung keinen Einfluss auf deren Erfüllung durch die Fahrzeugführenden hat.

Wahrnehmbare Reflexionen außerhalb von $\pm 30^\circ$ sind als unerheblich zu bewerten.



4 Berechnungsmethodik

4.1 Verwendete Azimut-Winkelangaben

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

4.2 Berechnung der Reflexionsrichtungen

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

Anschließend werden die Reflexionsrichtungen nach dem Reflexionsgesetz für ideal gerichtete Reflexion (Einfallswinkel = Ausfallswinkel) unter Annahme einer punktförmigen Sonne berechnet. Die Reflexionsberechnung erfolgt mit den Sonneneinfallswinkeln am Standort der Anlage in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr (jeweils für den 21. jeden Monats)¹. Sie liefert den Azimut und den Höhenwinkel des von der reflektierenden Fläche ausgehenden Lichtstrahls. Die Reflexionsrichtungen werden mit dem Azimut als x-Wert und Höhenwinkel als y-Wert anschaulich in einem Reflexionsdiagramm dargestellt. Abbildung 3 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.

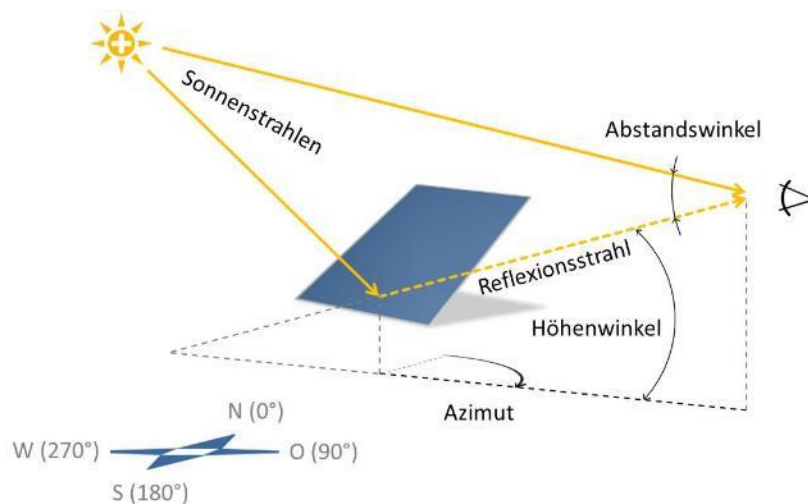


Abbildung 3: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

¹ Berechnung nach Eicker 2001



Abbildung 4 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm für PV-Module an einem gegebenen Standort, die eine Azimutausrichtung (senkrecht zur reflektierenden Ebene) von 180° und einen Neigungswinkel von 18° aufweisen. Der Standort der PV-Anlage, die Bezeichnung der reflektierenden Ebene (hier: „Ebenes Gelände“), der Zeitabstand zwischen zwei Reflexionspunkten, die Azimutausrichtung und die Modulneigung werden im Kopfbereich des Diagramms dokumentiert. Der potenzielle Blendbereich ist durch eine rote Umrandung gekennzeichnet.

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

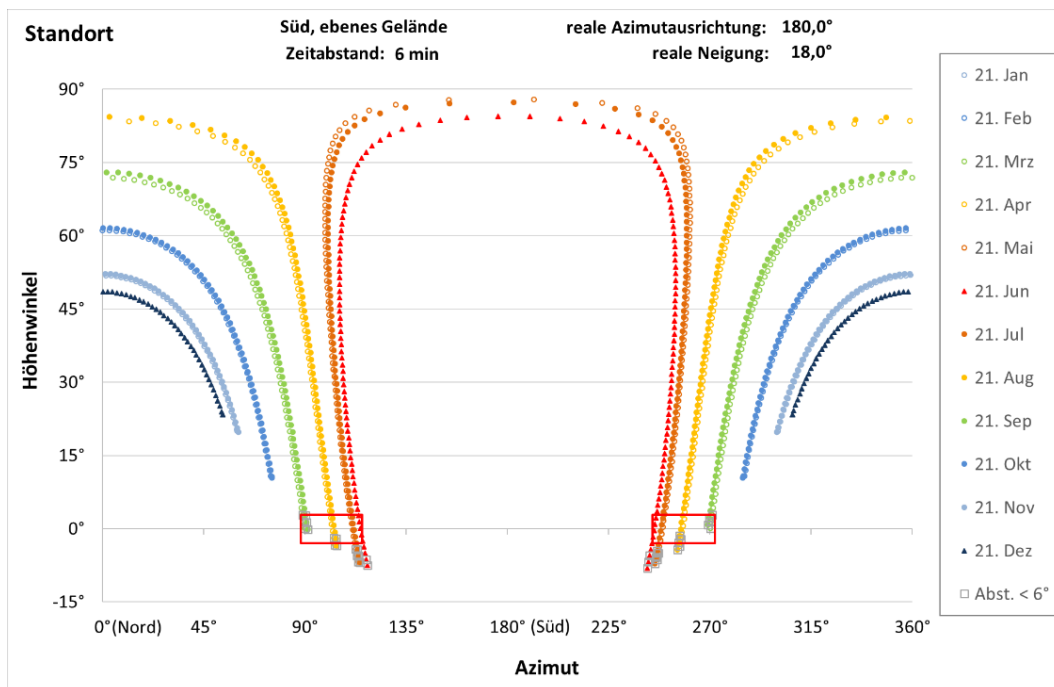


Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit roter Umrandung der potenziellen Blendrichtungen und -zeiten

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



4.3 Berechnung der Beleuchtungsstärken

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

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

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

4.4 Modellierung der Reflexions- und Blickpunkte

Als Reflexionspunkte werden die für die Blendanalyse ausgewählten Punkte auf der reflektierenden Oberfläche der PV-Module bezeichnet. Diese werden so gewählt, dass sie den gesamten Bereich der PV-Anlage repräsentieren, der in Richtung der im blendrelevanten Azimutbereich liegenden Immissionsorte reflektieren kann. Die x-y-Koordinaten der Reflexionspunkte werden der nach geographisch Nord ausgerichteten Karte mit dem Belegungsplan der PV-Anlage entnommen. Die z-Koordinaten ergeben sich aus der Höhe der Geländeoberkante am Reflexionspunkt und der Höhe über Grund der Unter- und Oberkanten der PV-Module.

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

4.5 Ergebnisdarstellung durch Reflexionsdiagramme

4.5.1 Straßen- und Schienenverkehr

Ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu den Fahrzeugführenden dient zum Abgleich, ob ein Reflexionspunkt der PV-Anlage im Jahresverlauf Reflexionen auf einen Blickpunkt richten kann. Bei gleicher Azimutausrichtung und Modulneigung weist jeder einzelne Punkt der Moduloberfläche die gleiche



Reflexionscharakteristik auf, aber aus Sicht jedes einzelnen Reflexionspunkts unterscheiden sich Azimut- und Höhenwinkel zu ein und demselben Immissionsort. Um zu einem aussagekräftigen Diagramm zu gelangen, werden die Kugelkoordinaten des Blickpunkts aus Sicht aller modellierten Reflexionspunkte berechnet und in das Reflexionsdiagramm eingetragen. Liegen diese innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs, d.h. zwischen den Tagesganglinien für den 21. Juni (rote Punkte) und den 21. Dezember (dunkelblau), dann sind Reflexionen auf diesen Punkt möglich und der Zeitpunkt und die Dauer der potenziell blendenden Reflexionen können abgeschätzt werden. Zusätzlich werden das zentrale Blickfeld (oranges Oval) und das periphere Blickfeld (graues Oval) der Fahrzeugführenden entgegen der Blickrichtung eingezeichnet.

Abbildung 5 zeigt exemplarisch ein Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehungen zu einem Blickpunkt im Straßenverkehr. Der schwarz umrandete Bereich zeigt den maximalen Blendzeitraum, in dem von Mitte April bis Ende August morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale Blickfeld (April und August) oder den peripheren Sehbereich der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

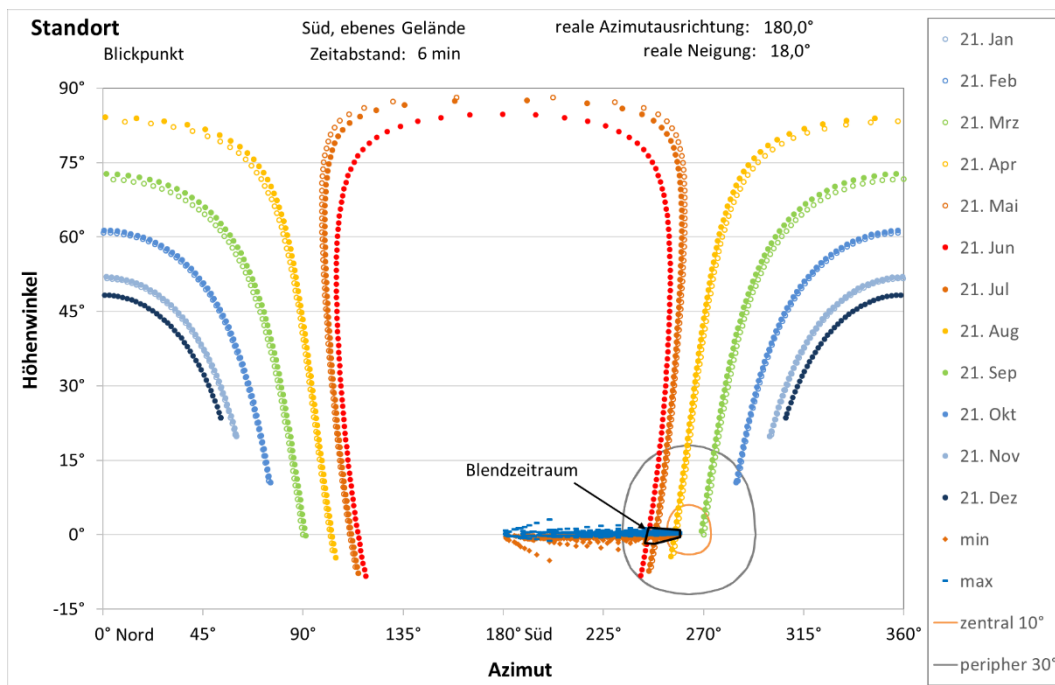


Abbildung 5: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu einem Fahrzeugführenden

4.5.2 Schützenswerte Nutzungen

Abbildung 6 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.

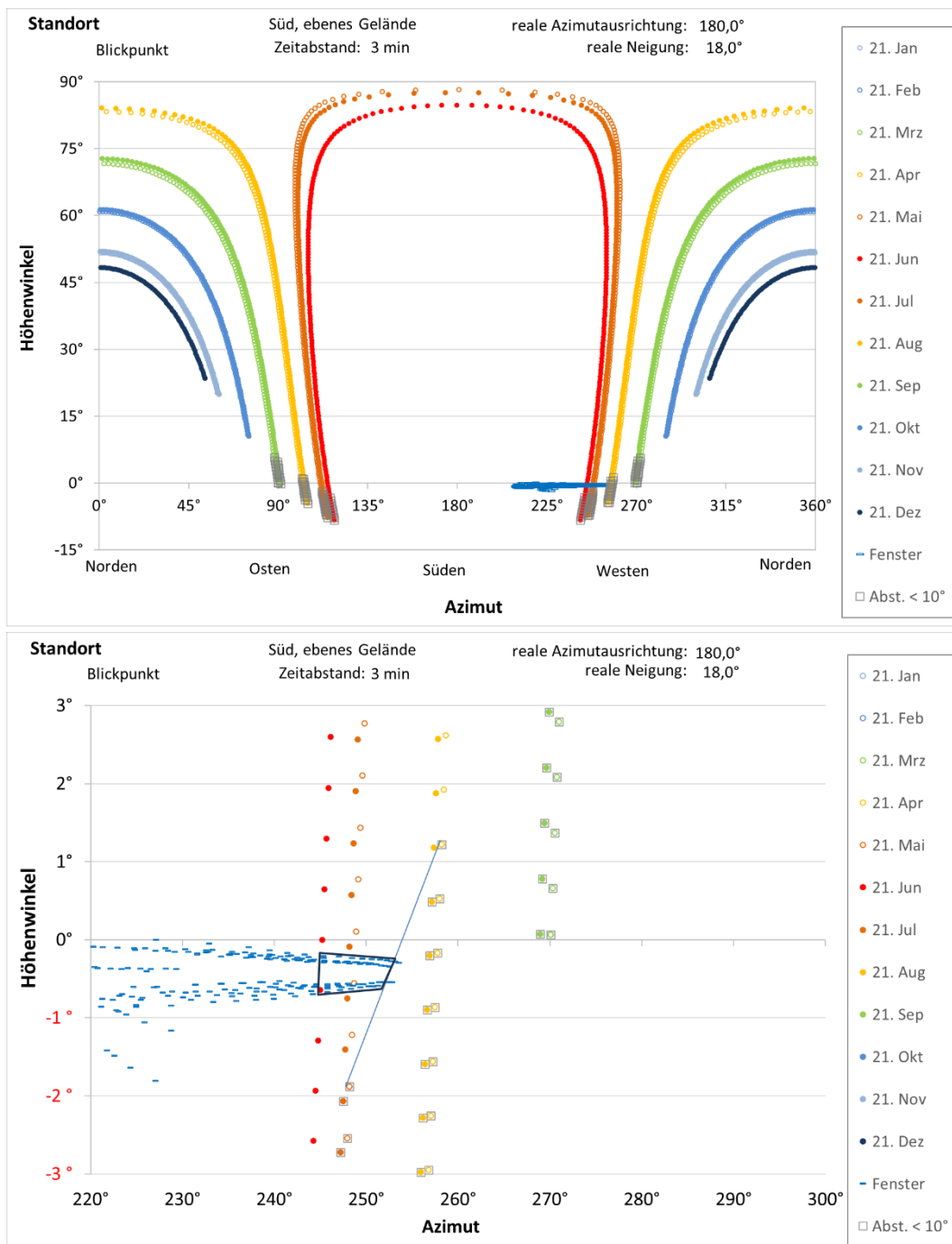


Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)



5 Situation vor Ort

5.1 PV-Anlage

Die PV-Freiflächenanlage Behrenshagen soll auf der Flur 12 der Gemarkung Behrenshagen, in der Gemeinde Ahrenshagen-Daskow, Landkreis Vorpommern-Rügen, errichtet werden. Das Baufeld der PV-Anlage liegt nördlich der Bahnstrecke Rostock-Stralsund (DB-Streckennummer 6322).

Das Baufeld der PV-Anlage liegt auf einer Höhe von 11 m üNN bis 15 m üNN. Das Gelände weist eine in Nord-Süd-Richtung verlaufende Kuppe auf. Im westlichen Bereich steigt das Gelände in Richtung Osten, um östlich der Kuppe wieder zu sinken. Die Hangneigung in Ost-West-Richtung beträgt weniger als $\pm 2^\circ$. Das Gelände steigt in nördliche Richtung um durchschnittlich $0,1^\circ$.

Das Baufeld wird im Norden durch landwirtschaftliche Flächen begrenzt. Im Osten und Westen grenzen Knickstrukturen an, hinter denen ebenfalls landwirtschaftlich genutzte Flächen liegen. Südlich des Bahndamms liegt ein weiteres Feld, an das sich mit mehr als 180 m Entfernung zwischen PV-Modulen und dem nächstgelegenen Gebäude im Südwesten der Ortsteil Behrenshagen mit dem Gutshof Behrenshagen und dem Gutspark anschließt.

Abbildung 7 zeigt die PV-Tischreihen der PV-Anlage, die Position des Einfriedungszauns, die Lage des Bahnsignals sowie die zu prüfenden potenziellen Immissionsorte.

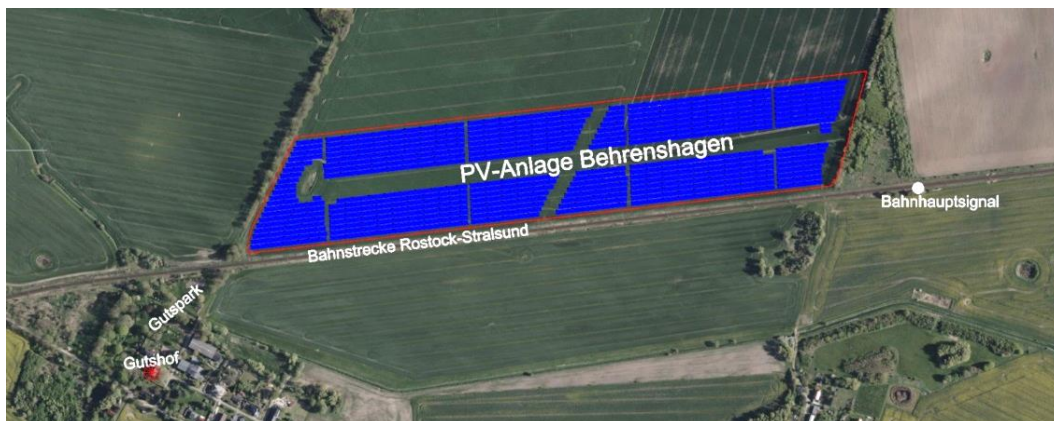


Abbildung 7: Belegungsplan der PV-Anlage Behrenshagen (Modultischreihen in blau)

Der Belegungsplan der PV-Anlage ist in einem UTM-Koordinatensystem erstellt, das eine Meridiankonvergenz von $-2,0^\circ$ zu geographisch Nord aufweist. Diese führt zu einer Azimutausrichtung von $173,4^\circ$ für auf ebenem Gelände errichtete PV-Tische. Die Hangneigung des Baufelds kann zu einer Querneigung der PV-Tische von ± 2 führen. Die Unter- und Oberkanten der mit einer Planneigung von 18° zu errichtenden PV-Module liegen 0,8 m respektive 2,9 m über dem Gelände. Tabelle 1 fasst die für die Blendanalyse genutzten Systemangaben der PV-Anlage zusammen.



Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Behrenshagen

PV-Anlage:	Behrenshagen
Standort:	Gemarkung Behrenshagen (Breite.: 54,25°, Länge: 12,53°)
UTM-Meridiankonvergenz:	-2,0°
Azimutausrichtung:	173,4°
Höhe des Baugrunds:	11 m üNNH bis 15 m üNNH
Planneigung der Module:	18°
Querneigung der PV-Tische:	±2,0° (Positiver Wert: Anstieg nach Osten)
Höhe der Modulunterkante:	0,8 m über Geländeoberkante
Höhe der Moduloberkante:	2,9 m über Geländeoberkante

5.2 Potenzielle Blendrichtungen

Auf Grund der Topografie der Umgebung liegen die potenziellen Immissionsorte nur geringfügig niedriger oder höher als die PV-Module. Es können nur potenziell blendende Sonnenlichtreflexionen mit Höhenwinkeln von weniger als $\pm 3^\circ$ auf die Augenhöhenpunkte gerichtet sein. Das Reflexionsdiagramm für PV-Tische ohne Querneigung in Abbildung 8 zeigt, dass potenziell blendende Reflexionen (rote Umrandung) mit einem Abstandswinkel zur Sonne von $> 6^\circ$ abends in einen östlichen Azimutbereich von 85° bis 113° und morgens in einen westlichen Azimutbereich von 241° bis 265° gerichtet sein können.

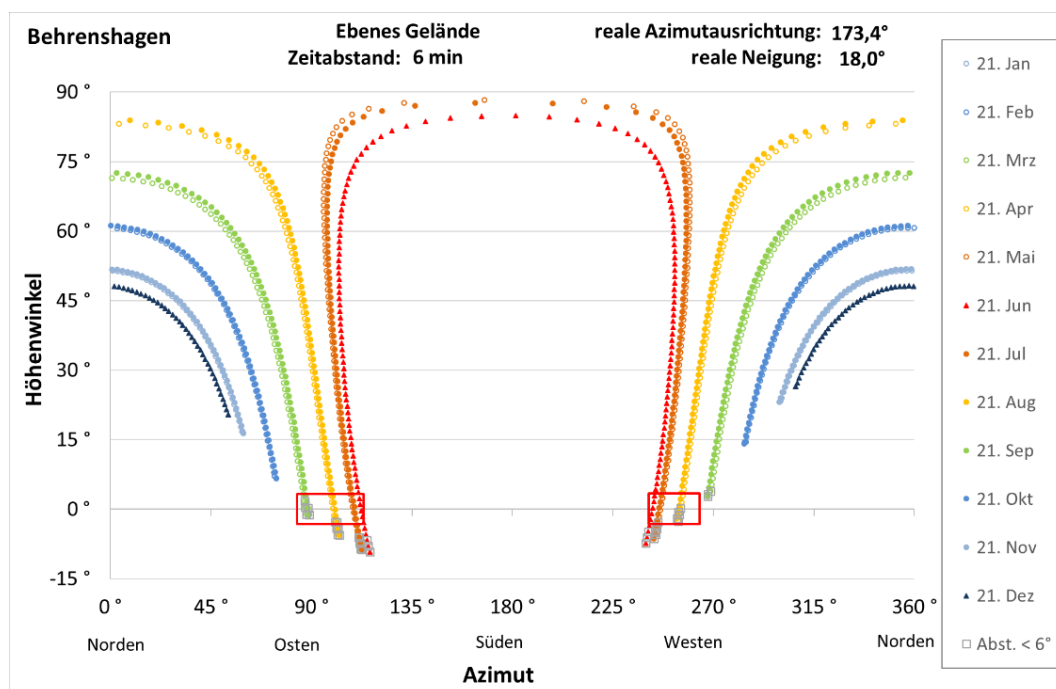


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Tische auf ebenem Gelände

Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 9 zeigen, dass sich durch die Einbeziehung der möglichen Querneigungen der PV-Tische der östliche potenzielle Blendbereich auf 83° bis 115° erweitert und der westliche auf 239° bis 267° .

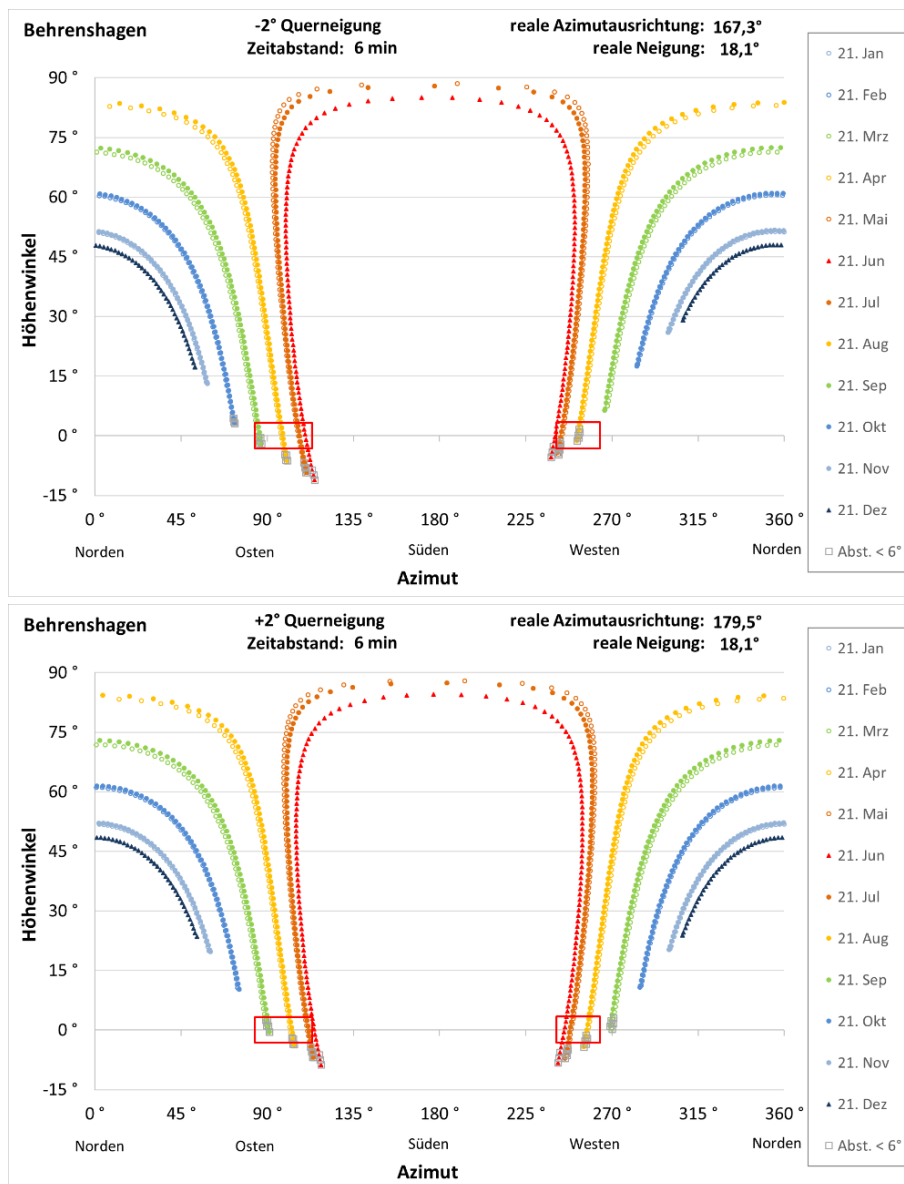


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für PV-Tische im gesamten Querneigungsbereich mit Umrandung des Blendbereichs für Tische auf ebenem Gelände

5.3 Zu prüfende Immissionsorte

Abbildung 10 visualisiert die potenziellen Blendbereiche der Felder der PV-Anlage. Die gelben Winkel mit 100 m Schenkellänge zeigen die möglichen Blendrichtungen, in die Sonnenlichtreflexionen mit geringen Höhenwinkeln möglich sind. Abbildung 11 zeigt die modellierten Reflexionspunkte der PV-Anlage und die Blickpunkte der zu prüfenden Immissionsorte in der x-y-Ebene.

Die Bahnlinie Rostock-Stralsund führt aus Rostock mit einer Azimutrichtung von 83,4° südlich der PV-Anlage entlang. Für die Blendanalyse werden je zwei Blickpunkte in beide Fahrtrichtungen modelliert. Am Blickpunkt BahnWest_2 muss das Lichthauptsignal klar erkennbar sein. Die Gleisbetthöhe steigt im Prüfbereich von 12,2 m üNNH am Blickpunkt BahnWest_01 bis auf 14 m üNNH am Blickpunkt BahnWest_01.

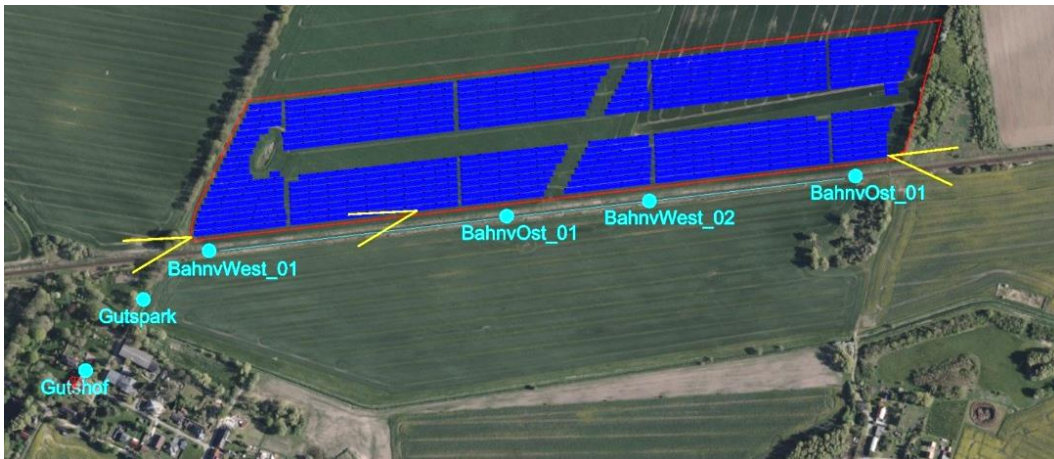


Abbildung 10: Mögliche Blendrichtungen (gelb), angezeichnet an ausgewählte Reflexionspunkte und die für die Blendanalyse gewählten Blickpunkte (cyanfarbene Kreise)

Die Bebauung in Behrenshagen hat einen Mindestabstand von 180 m zu den PV-Modulen, so dass unzumutbare Lichtimmissionen gemäß Licht-Richtlinie ausgeschlossen werden können. Der Honig- und Kürbishof Gutshaus Behrenshagen mit Gutspark ist hingegen ein Kulturdenkmal, das naturnah bewirtschaftet, als Seminarstätte betrieben wird und damit als besonders schützenswerte Nutzung anzusehen ist. Der Gutspark wird von Mai bis September für Ausstellungen und Führungen genutzt. Er liegt auf einer Höhe von 10 m üNNH. Für die Blendanalyse wird eine Augenpunkthöhe von 2 m als worst-case gewählt. Die Blickverbindung zwischen Gutshaus und PV-Anlage ist stark eingeschränkt, nichtsdestotrotz werden die potenziellen Lichtimmissionen für ein Fenster im ersten Stock (15 m üNNH) der nördlichen Giebelseite berechnet.

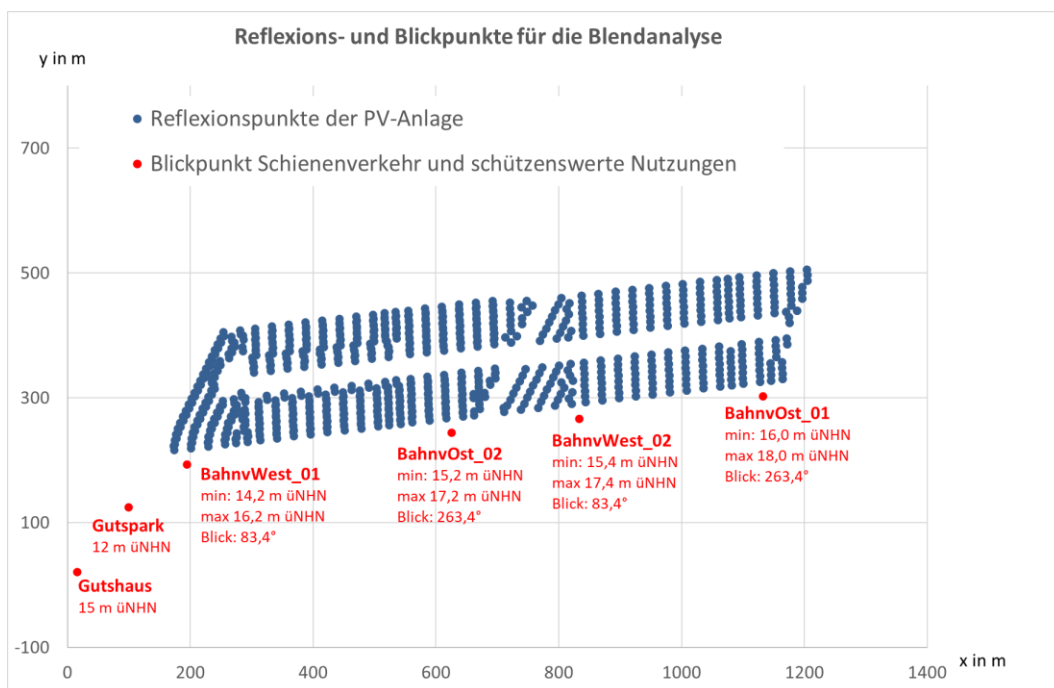


Abbildung 11: Für die Blendanalyse modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenhöhenpunkte und ggf. Blickrichtung am Blickpunkt



6 Berechnungsergebnisse

6.1 Schienenverkehr aus westlicher Richtung

Am Blickpunkt BahnWest_01 dominieren die Reflexionen der PV-Module auf dem in Richtung Osten ansteigendem Teil des Baugrunds mit einer mittleren Querneigung von $+1^\circ$. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 12 zeigt, dass von Anfang April bis Ende August morgens für wenige Minuten Reflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

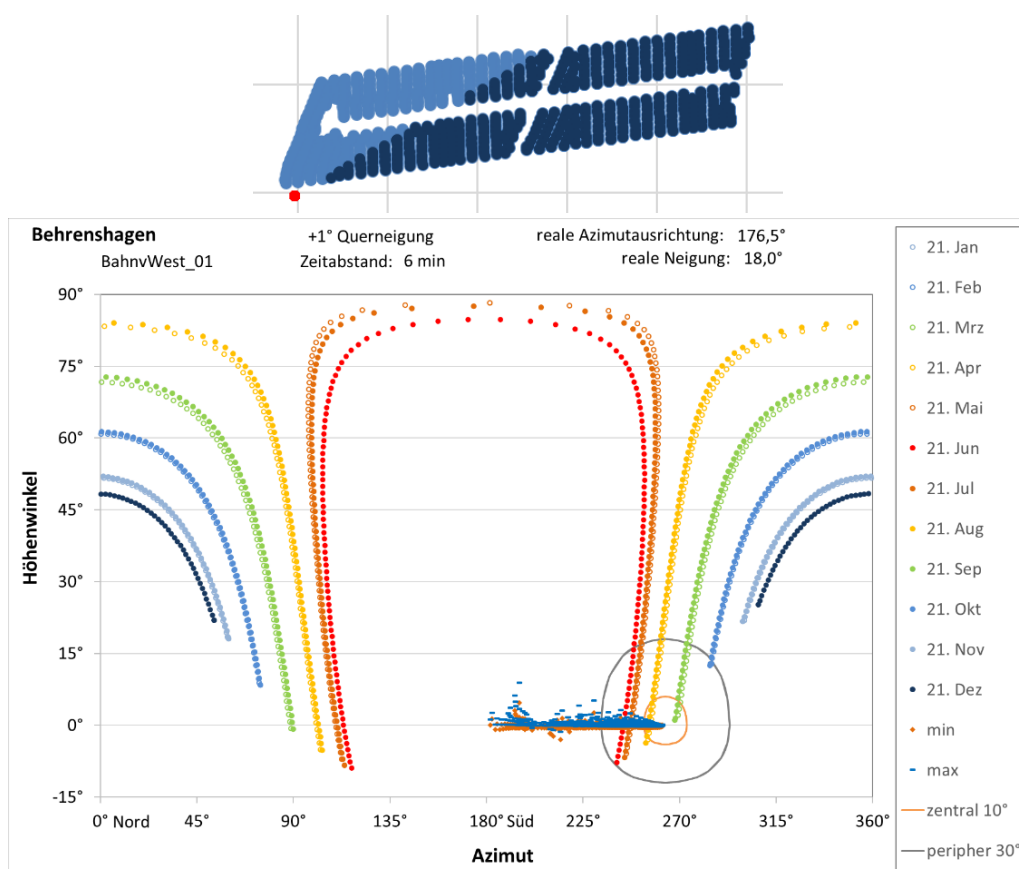


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnWest_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 2 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Berechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene Reflexion (BahnWest_01_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnWest_01_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnWest_01_R3).

Tabelle 2: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_01

Reflexion	Abstand zu Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnWest_01_R1	1,4°	74	2,7°	0,6°	5.260
BahnWest_01_R2	9,3°	572	8,3°	8,3°	15.850
BahnWest_01_R3	19,3°	1.233	14,0°	14,3°	26.526



Am Blickpunkt BahnWest_02 können nur noch die PV-Module auf dem in Richtung Osten abfallenden Teil des Geländes in Richtung der Zugführenden reflektieren. Das Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit -1° Querneigung in Abbildung 13 zeigt, dass von Anfang April bis Ende August morgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld gerichtet sein können.

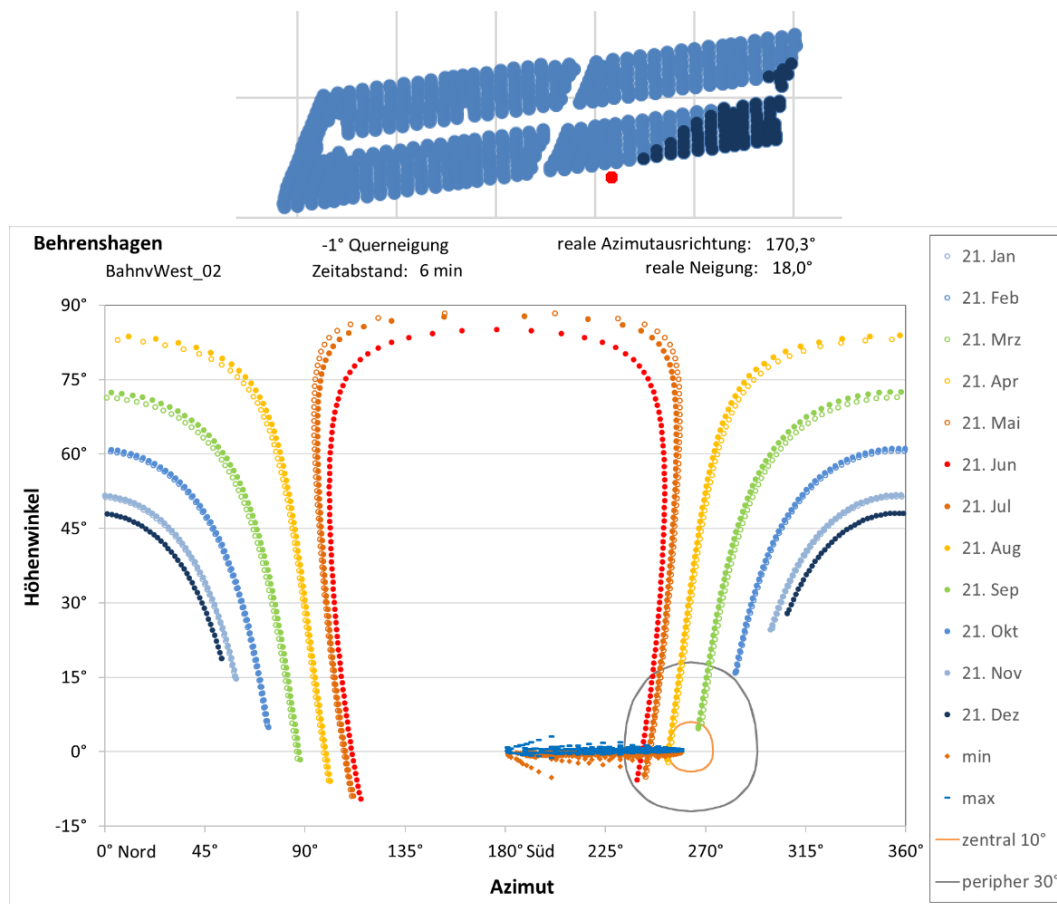


Abbildung 13: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnWest_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 3 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_02 für die der Blickachse am nächsten gelegene Reflexion (BahnWest_02_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnWest_02_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnWest_02_R3).

Die potenzielle Blendsituation für den Schienenverkehr aus westlicher Richtung bleibt beim Passieren der Anlage mit einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h für ca. 20 Sekunden bestehen.

Tabelle 3: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_02

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnWest_02_R1	4,2°	17	1,1°	3,7°	2.058
BahnWest_02_R2	9,4°	195	4,3°	7,7°	8.375
BahnWest_02_R3	21,7°	904	11,4°	17,9°	21.765



6.2 Schienenverkehr aus östlicher Richtung

Am Blickpunkt BahnVost_01 dominieren die Reflexionen der PV-Tische auf dem in Richtung Westen ansteigenden Teil des Baugrunds. Das Reflexionsdiagramm für Tische mit -1° Querneigung in Abbildung 14 zeigt, dass von Mitte März bis Ende September kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten Reflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet sein können.

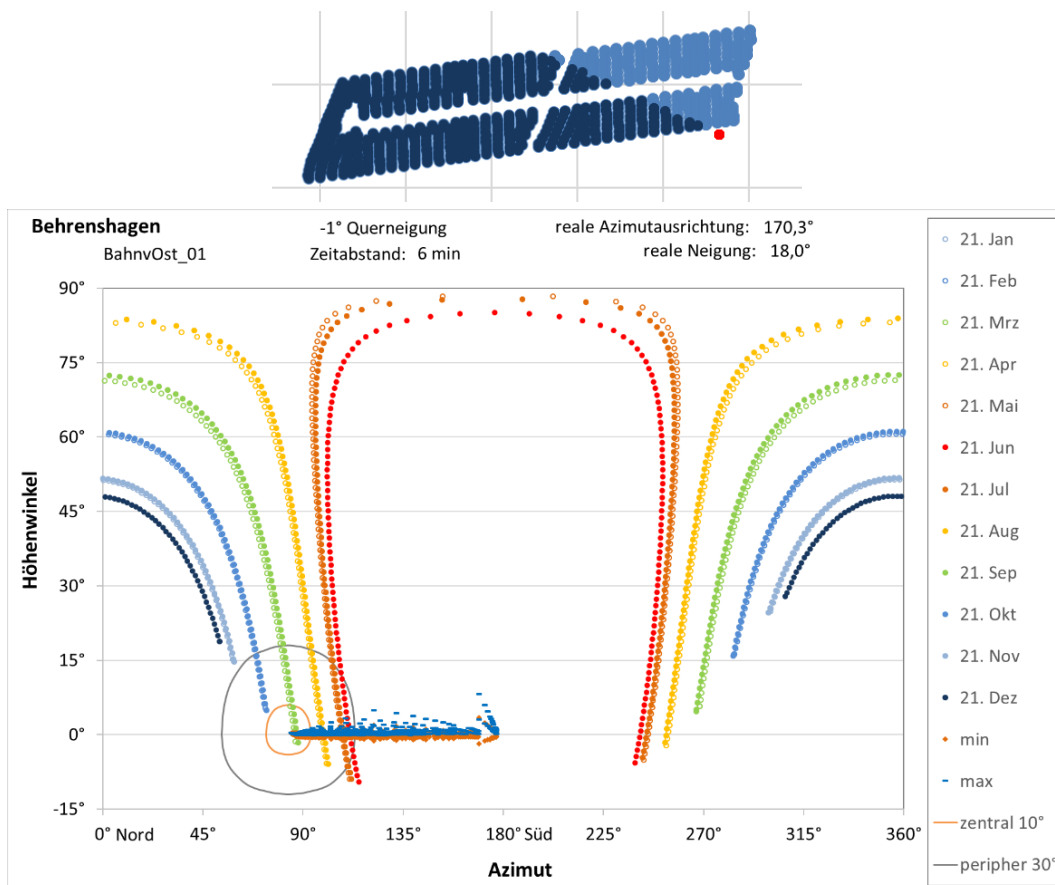


Abbildung 14: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnVost_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 4 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnVost_01 für die der Blickachse am nächsten gelegene Reflexion (BahnVost_01_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnVost_01_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnVost_01_R3).

Tabelle 4: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnVost_01

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnVost_01_R1	1,4°	92	2,9°	0,3°	5.693
BahnVost_01_R2	8,7°	519	7,8°	6,0°	15.025
BahnVost_01_R3	25,7°	1.845	19,3°	18,9°	32.609



Am Blickpunkt BahnVost_02 können nur die PV-Module auf dem in Richtung Osten ansteigenden Teil des Geländes in das Blickfeld der Zugführenden reflektieren. Das Reflexionsdiagramm für PV-Tische mit $+1^\circ$ Querneigung in Abbildung 15 zeigt, dass von Mitte März bis Ende September frühmorgens für wenige Minuten Sonnenlichtreflexionen in das zentrale oder periphere Blickfeld gerichtet sein können.

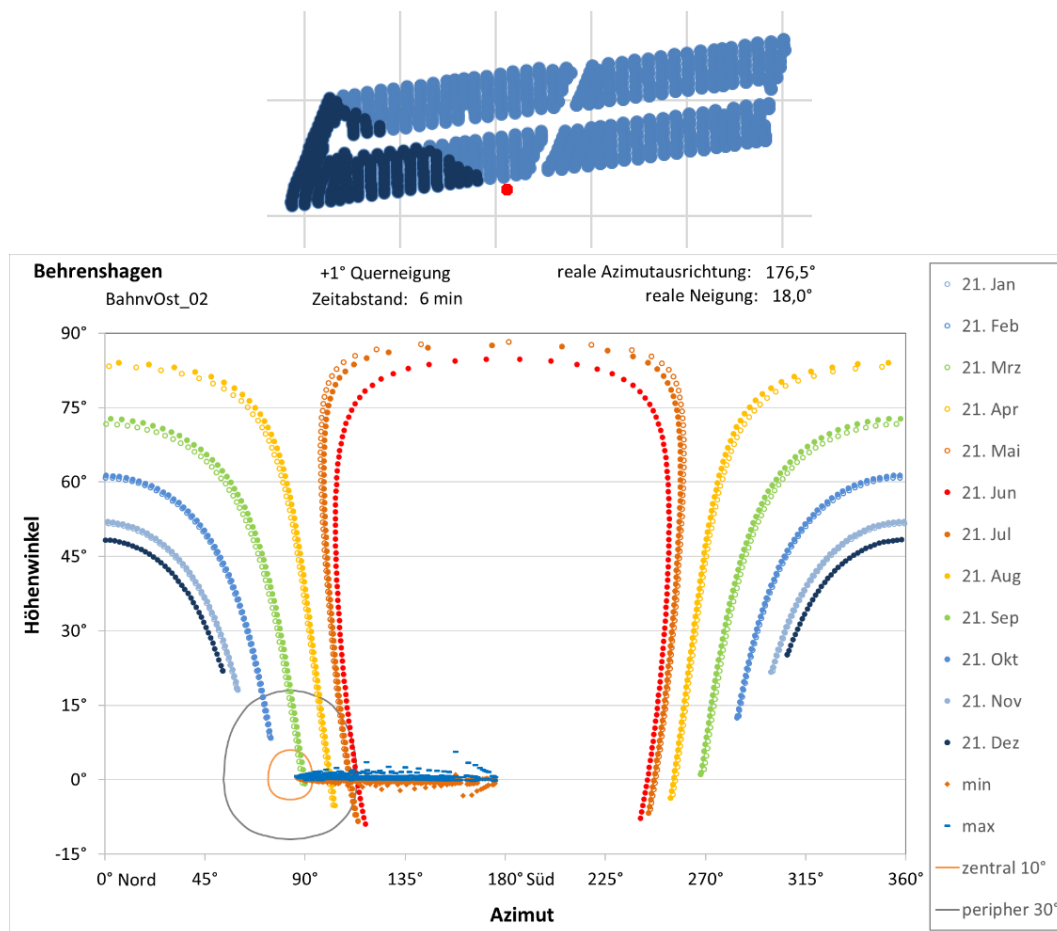


Abbildung 15: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnVost_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können

Tabelle 5 zeigt die bewertungsrelevanten Ergebnisse der Reflexionsberechnung für die der Blickachse am nächsten gelegene Reflexion (BahnVost_02_R1), die lichtstärkste Reflexion in das zentrale Blickfeld (BahnVost_02_R2) und die lichtstärkste Reflexion in das periphere Blickfeld (BahnWest_02_R3).

Die potenzielle Blendsituation für den Schienenverkehr aus östlicher Richtung bleibt beim Passieren der Anlage mit einer Fahrgeschwindigkeit von 160 km/h für ca. 20 Sekunden bestehen.

Tabelle 5: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnVost_02

Reflexion	Abstand Blickachse	Beleuchtungsstärke am Auge in lx	Sonnenhöhe	Abstand Sonne zu Blickachse	Beleuchtungsstärke Sonne (senkrecht) in lx
BahnVost_02_R1	3,0°	6	0,5°	2,6°	979
BahnVost_02_R2	9,2°	235	4,6°	7,2°	8.966
BahnVost_02_R3	28,0°	1.464	16,0°	22,6°	29.959



6.3 Honig- und Kürbishof Gutshaus Behrenshagen mit Gutspark

Der Blickpunkt Gutspark befindet sich am nordöstlichen Rand des Gutsparks und bietet einen freien Blick auf die PV-Anlage. An dieser Stelle dominieren die Reflexionen der PV-Tische auf dem in Richtung Osten ansteigenden Teil des Baugrunds. Das Reflexionsdiagramm für Tische mit $+1^\circ$ Querneigung in Abbildung 16 zeigt, dass von Anfang Mai bis Anfang August frühmorgens Sonnenlichtreflexionen auf den Blickpunkt gerichtet sein können. Die maximal möglichen Immissionszeiträume liegen bei ≤ 3 min/d und ≤ 5 h/a.

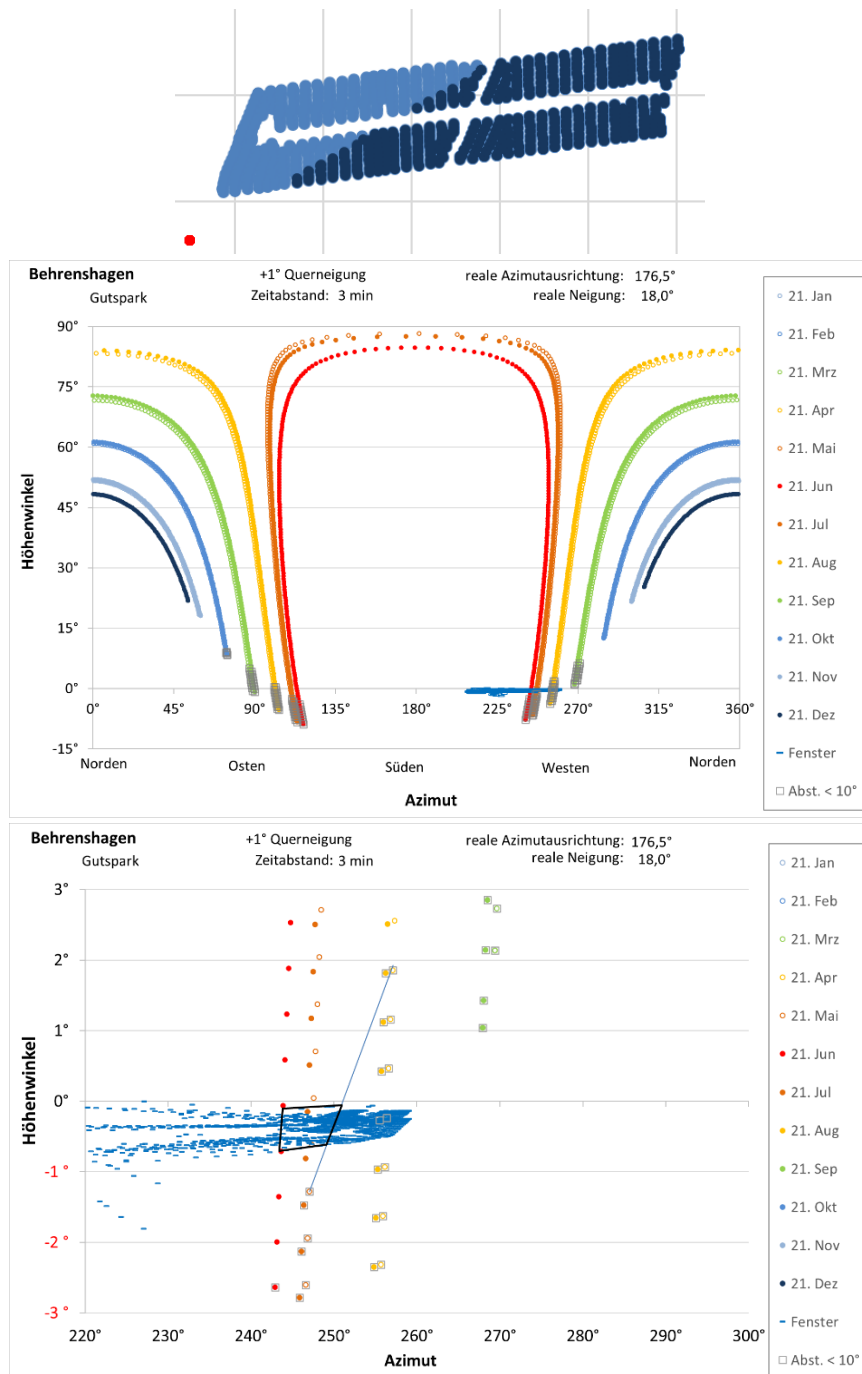


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt Gutspark mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die Reflexionen auf den Blickpunkt richten können



Das Reflexionsdiagramm für Tische mit +1° Querneigung am Blickpunkt Gutshof in Abbildung 16 zeigt, dass von Anfang Mai bis Anfang August frühmorgens Sonnenlichtreflexionen auf den Blickpunkt gerichtet sein können. Die maximal möglichen Immissionszeiträume liegen bei ≤ 3 min/d und ≤ 5 h/a.

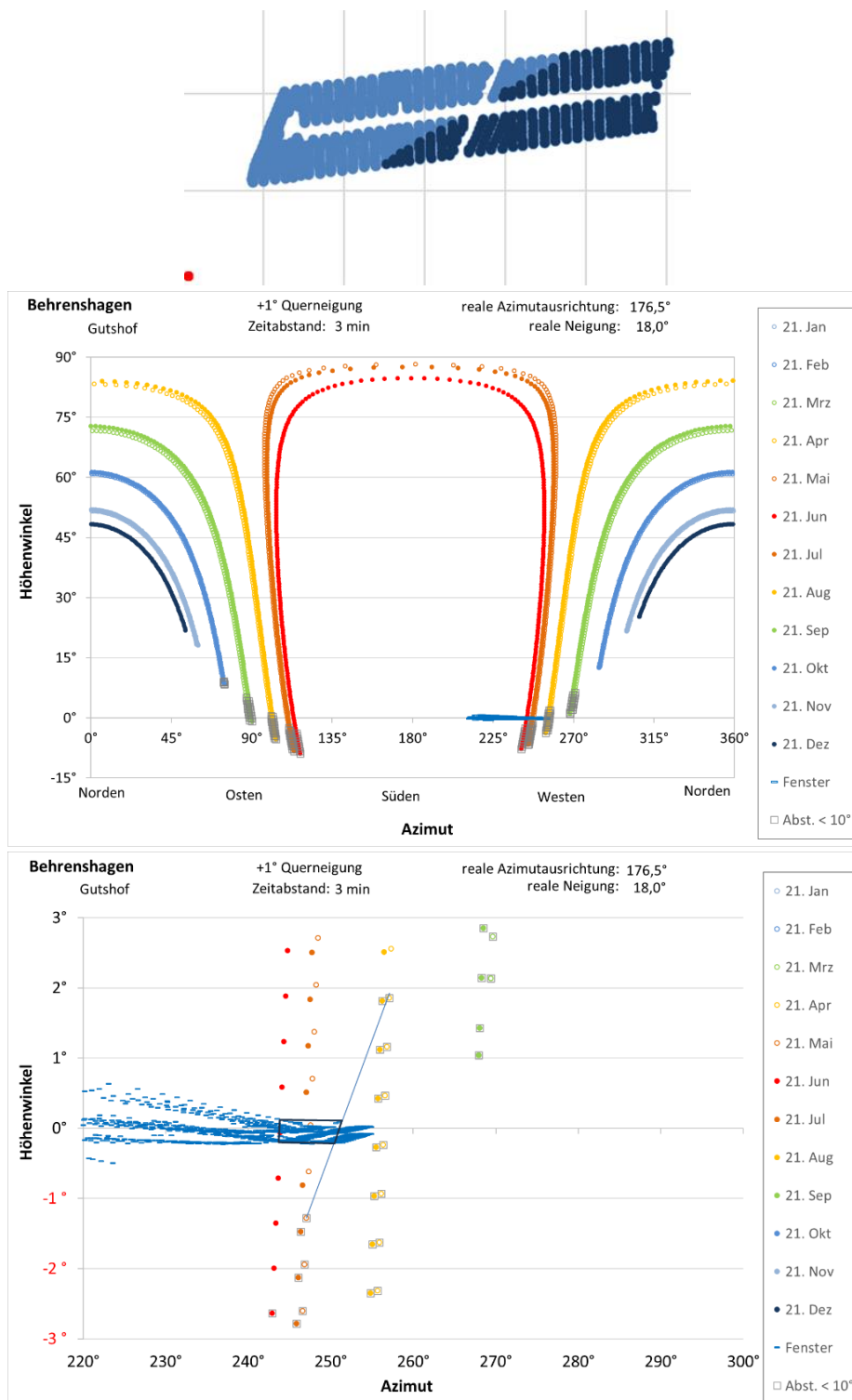


Abbildung 17: Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt Gutshof mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die Reflexionen auf den Blickpunkt richten können



7 Bewertung der Blendrisiken

7.1 Schienenverkehr

Während der Schienenverkehr aus westlicher Richtung die PV-Anlage passiert, können bei klarem Himmel von Anfang April bis Ende August kurz nach Sonnenaufgang für wenige Minuten am Tag Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das zentrale und periphere Blickfeld der Zugführenden gerichtet sein. Dabei steht die Sonne auf einer geringen Höhe zwischen den reflektierenden PV-Modulen und der Hauptblickrichtung der Zugführenden. Das direkte Sonnenlicht überstrahlt die Sonnenlichtreflexionen, so dass von diesen keine eigenständige Blendwirkung ausgehen kann.

Die in das zentrale Blickfeld möglichen Reflexionen erreichen eine maximale Beleuchtungsstärke von weniger als 600 lx und können damit an den bereits tageslichtadaptierten Augen der Zugführenden keine Blendwirkung hervorrufen. Die Sonne steht gleichzeitig auf einer maximalen Höhe von 8° horizontal um 1° näher am Gleisweg. Selbst wenn es gelänge, dass direkte Sonnenlicht durch eine Sonnenblende auszuschließen, würde die geringe Beleuchtungsstärke der Reflexionen an den tageslichtadaptierten Augen der Zugführenden zu keiner Blendwirkung führen. Bei den in das periphere Blickfeld der Zugführenden gerichteten Reflexionen steigt die Beleuchtungsstärke mit zunehmendem Differenzwinkel zur Blickachse, so dass auch hier keine Blendwirkung zu erwarten ist. Zudem schwächen sich die Reflexionen im Verlauf der ca. 20 s dauernden Vorbeifahrt ab. Die Erkennbarkeit der Signaleinrichtung rechts des Gleises 150 m hinter der PV-Anlage wird durch die Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage nicht eingeschränkt.

Der Schienenverkehr aus östlicher Richtung kann von Mitte März bis Ende September kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten am Tag von Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage in das zentrale und periphere Blickfeld der Zugführenden betroffen sein. Auch diese Reflexionen können von Ihrer Beleuchtungsstärke und Position im Blickfeld unter Berücksichtigung der Position der Sonne zu keiner Blendwirkung führen.

Die Sicherheit des Schienenverkehrs bleibt jederzeit gewahrt.

7.2 Schutzwürdige Nutzungen

Zur Ermittlung der maximalen Immissionszeiträume für schutzwürdige Nutzungen von Anliegern der PV-Anlage wurden ein exponierter Blickpunkt im Park und ein hoch gelegenes Fenster des Honig- und Kürbischhof Gutshaus Behrenshagen mit Gutspark geprüft. Das Reflexionsgeschehen am Blickpunkt Gutspark ist als worst-case für den gesamten Gutspark anzusehen. Er befindet sich am östlichen Rand des Parks und bietet einen freien Blick auf die PV-Anlage, während die Sichtverbindung zwischen Gutspark und PV-Anlage weiter südlich und nördlich durch die bestehende Vegetation und Gebäude in Behrenshagen eingeschränkt ist.

Die Berechnungsergebnisse zeigen, dass nur von Anfang Mai bis Anfang August morgens über einen Zeitraum von weniger als 3 min/d Lichtimmissionen auftreten können. Die nach den Vorgaben der Licht-Richtlinien ermittelten maximalen Immissionszeiträume schließen eine unzumutbare Belästigung durch die Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage aus. Die Nutzung des Gutsparks für Seminare, Ausstellungen und Führungen wird nicht beeinträchtigt.



8 Verwendete Materialien

8.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Modulbelegungsplan als Datei „2023-10-09_Behrenshagen P3_Layout_bereinigt.dwg“
- ▶ Systemangaben in der Datei „2023-10-09_Behrenshagen P3_Layout-A0-L.pdf“
- ▶ Vermessungsdaten als Datei „22R056_LHP_erweitert.dwg“
- ▶ Datei „231214_Behrenshagen_Sichtfeld_Gutshaus.pdf“
- ▶ Datei „Visualisierung Begehung-Sichtbeziehungen_10-01.2024“

8.2 Literatur

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



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



9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten PV-Anlage Behrenshagen (PV-Modultischreihen blau eingezeichnet)	4
Abbildung 2: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	8
Abbildung 3: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.....	11
Abbildung 4: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit roter Umrandung der potenziellen Blendrichtungen und -zeiten.....	12
Abbildung 5: Beispielhaftes Reflexionsdiagramm mit Sichtbeziehung zu einem Fahrzeugführenden	14
Abbildung 6: Beispielhafte Darstellung eines Reflexionsdiagramms für schützenswerte Nutzungen (oben) mit einer Detailansicht in 3-minütiger Auflösung der Tagesganglinien und schwarzer Umrandung des maximalen Immissionszeitraums (unten)	15
Abbildung 7: Belegungsplan der PV-Anlage Behrenshagen (Modultischreihen in blau).....	16
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm für PV-Tische auf ebenem Gelände.....	17
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für PV-Tische im gesamten Querneigungsbereich mit Umrandung des Blendbereichs für Tische auf ebenem Gelände.....	18
Abbildung 10: Mögliche Blendrichtungen (gelb), angezeichnet an ausgewählte Reflexionspunkte und die für die Blendanalyse gewählten Blickpunkte (cyanfarbene Kreise).....	19
Abbildung 11: Für die Blendanalyse modellierte Reflexions- und Blickpunkte in der x-y-Ebene mit Angabe der Augenhöhenpunkte und ggf. Blickrichtung am Blickpunkt.....	19
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnWest_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können	20
Abbildung 13: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnWest_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können	21
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnOst_01 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können	22
Abbildung 15: Reflexionsdiagramm am Blickpunkt BahnOst_02 mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die in das zentrale oder periphere Blickfeld reflektieren können	23
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt Gutspark mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die Reflexionen auf den Blickpunkt richten können	24
Abbildung 14: Reflexionsdiagramm für den Blickpunkt Gutshof mit Visualisierung der PV-Tische (dunkelblau hervorgehoben), die Reflexionen auf den Blickpunkt richten können	25



10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Systemangaben Freiflächen-Photovoltaikanlage Behrenshagen.....	17
Tabelle 2: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_01.....	20
Tabelle 3: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnWest_02	21
Tabelle 4: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnOst_01.....	22
Tabelle 5: Ergebnisse der Reflexionsberechnung am Blickpunkt BahnOst_02	23