

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

► **Photovoltaikanlage Zeuthener Winkel**

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

BBF Projekt GmbH
Frau Maryna Lisnenko
Am Studio 20A
D - 12489 Berlin

erstellt von:

Ralf Schmersahl
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-350
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: ralfschmersahl@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com



Datum: 08.09.2022

Projektnummer: P22395



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 im Wohnbereich	8
3.2.2	Blendung im Verkehr	9
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	11
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	12
4	Situation vor Ort	13
4.1	Übersicht	13
4.2	Die Photovoltaikanlage	13
4.3	Immissionsorte	15
4.3.1	Bahnlinie	15
4.3.2	Straßenverkehr	15
4.3.3	Gebäude	15
5	Berechnungen	16
5.1	Methodik der Berechnung	16
5.1.1	Geometrische Aspekte	16
5.1.2	Eingrenzung potenziell relevanter Azimutrichtungen	18
5.1.3	Lichttechnische Aspekte	19
5.2	Berechnungsergebnisse für südausgerichtete Module	20
5.2.1	Schieneverkehr	20
5.2.2	Straßenverkehr	21
5.2.3	Gebäude	22



5.3	Berechnungsergebnisse für Module in Ost-West-Ausrichtung	23
5.3.1	Schienerverkehr	23
5.3.2	Straßenverkehr	24
5.3.3	Gebäude	25
6	Bewertung der Blendrisiken	26
6.1	PV-Anlage mit Südausrichtung	26
6.1.1	Schienerverkehr	26
6.1.2	Straßenverkehr	26
6.1.3	Gebäude	26
6.2	PV-Anlage mit Ost-West-Ausrichtung	26
6.2.1	Schienerverkehr	26
6.2.2	Straßenverkehr	27
6.2.3	Gebäude	27
7	Verwendete Materialien	28
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	28
7.2	Literatur	28
8	Abbildungsverzeichnis	30
9	Tabellenverzeichnis	32



1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll geprüft werden, ob von den Modulen einer Photovoltaikanlage auf dem ehemaligen Deponiegelände im Plangebiet „Zeuthener Winkel Mitte“ Sonnenlicht auf die östlich des Baufelds verlaufende Bahnlinie, zu Verkehrsteilnehmern auf der Otto-Nagel-Allee und die westlich der Deponie gelegene Planstraße sowie die westlich der Deponie geplante Bebauung reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls gefährdende oder störende Blendwirkungen auftreten können.

Auf Grund des frühen Planungsstadiums ist noch kein Belegungsplan der PV-Anlage erstellt. Ausrichtung und Neigung der Module sind noch nicht festgelegt. Im Rahmen des Gutachtens werden zwei verschiedene Musterkonfigurationen, Ost-West-Ausrichtung und Südausrichtung der Module mit jeweils typischen Neigungswinkeln, untersucht. Die Lage der geplanten Photovoltaikanlage, der Bahnlinie, der Straßen und der Umgebung ist in Abbildung 1 dargestellt.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung aufzuzeigen.

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



Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage „Zeuthener Winkel“ (Baufeld rot schraffiert), der östlich angrenzenden Bahnlinie und der Umgebung; Quelle: Bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines Luftbildes aus Bing Maps



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass für die untersuchten Anlagenkonfigurationen von der geplanten Photovoltaikanlage „Zeuthener Winkel“ zu keinem Zeitpunkt im Jahr Blendungsrisiken für den Schienenverkehr ausgehen.

Die möglichen Lichtimmissionen auf Straßen und schützenswerte Wohn- und Arbeitsräume können zu diesem Zeitpunkt der Projektplanung noch nicht bewertet werden.

Auf Grund der erhöhten Lage der PV-Anlage auf der ehemaligen Deponie ist ein wirkungsvoller Immissionsschutz durch einfache Blendschutzmaßnahmen wie die Verkleidung der Umzäunung oder eine immergrüne Bepflanzung umsetzbar.



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-Gesetzes 2023 verlangt eine noch höhere Priorisierung der Nutzung von erneuerbaren Energien gegenüber anderen Schutzgütern. In § 3 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 (siehe 3.2.1).

3.2 Blendung

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

¹ Wittlich 2010



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

3.2.1 Blendung im Wohnbereich

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat bereits vor über 15 Jahren damit begonnen, in Ermangelung von zeitlichen Grenzwerten für Sonnenlichtreflexionen von Photovoltaikanlagen, 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“. Nach dieser 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 PV-Anlage getroffen werden kann. Für unbebaute Flächen, auf denen nach Bau- oder Planungsrecht Gebäude mit schutzwürdigen Räumen zugelassen sind, gelten diese Werte für eine Bezugshöhe von 2 m über Grund an dem am stärksten betroffenen Rand der Flächen.

Zur Berechnung der Sonnenlichtreflexionen wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche 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° 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

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.



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).

3.2.2 Blendung im Verkehr

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

Für die physiologische Blendung bewegter Beobachter, die in der Regel nicht direkt in die Blendquelle hineinsehen, spielt deren Leuchtdichte nur im Zusammenhang mit ihrer Größe im Blickfeld eine Rolle. Wesentlich ist die Beleuchtungsstärke (Einheit: lx), die im Auge durch Brechung und Streuung an den Augenmedien eine 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.

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

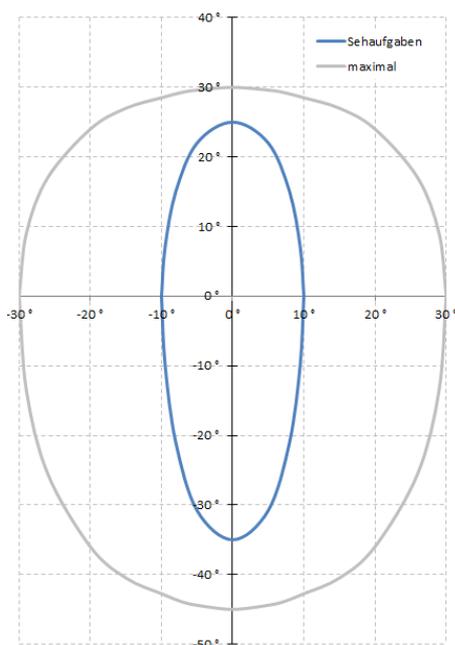


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



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 farbmempfindlichen 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.

3.3 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 eingestrahlenen sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

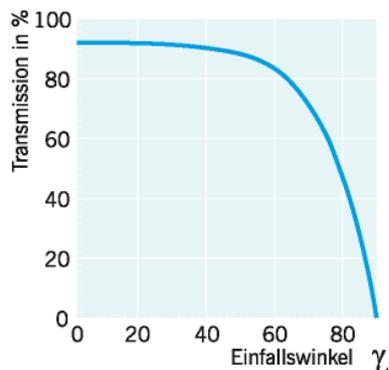


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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/m^2 beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9$ cd/m^2 erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($>10^5$ cd/m^2) 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

4.1 Übersicht

Die Errichtung der Photovoltaikanlage ist auf einem ehemaligen Deponiegelände mit einer Fläche von 25.000 m² im Plangebiet „Zeuthener Winkel Mitte“ geplant. Das Plangebiet befindet sich am nördlichen Rand des Siedlungsgebiets von Zeuthen und liegt überwiegend auf einer ebenen Fläche 35 m ü. NN. Im Bereich der ehemaligen Deponie, die als Baufeld für die PV-Anlage vorgesehen ist, steigt das Gelände bis auf 43 m ü. NN.

Abbildung 5 zeigt die Lage der geplanten Anlage und der potenziellen Immissionsorte.



Abbildung 5: Lage der geplanten Photovoltaikanlage (rot schraffierter Bereich auf ehemaliger Deponie), der östlich angrenzenden Bahnlinie sowie der Otto-Nagel-Allee und der geplanten Bebauung und Straße; Quelle: bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines Luftbildes aus Bing Maps

4.2 Die Photovoltaikanlage

Die geplante PV-Anlage soll auf einer Fläche von 25.000 m² westlich der Bahnlinie auf dem erhöhten Gelände einer ehemaligen Deponie errichtet werden. Abbildung 6 zeigt das Höhenprofil des Baufelds. Der nord-östliche Rand des Baufelds liegt auf einer Höhe von 38,5 m ü. NN. Das Gelände steigt in südwestlicher Richtung bis auf eine Höhe von 42,8 m ü. NN in der Mitte des Baufelds und fällt dann bis zur Böschungsgrenze am östlichen Rand leicht ab.

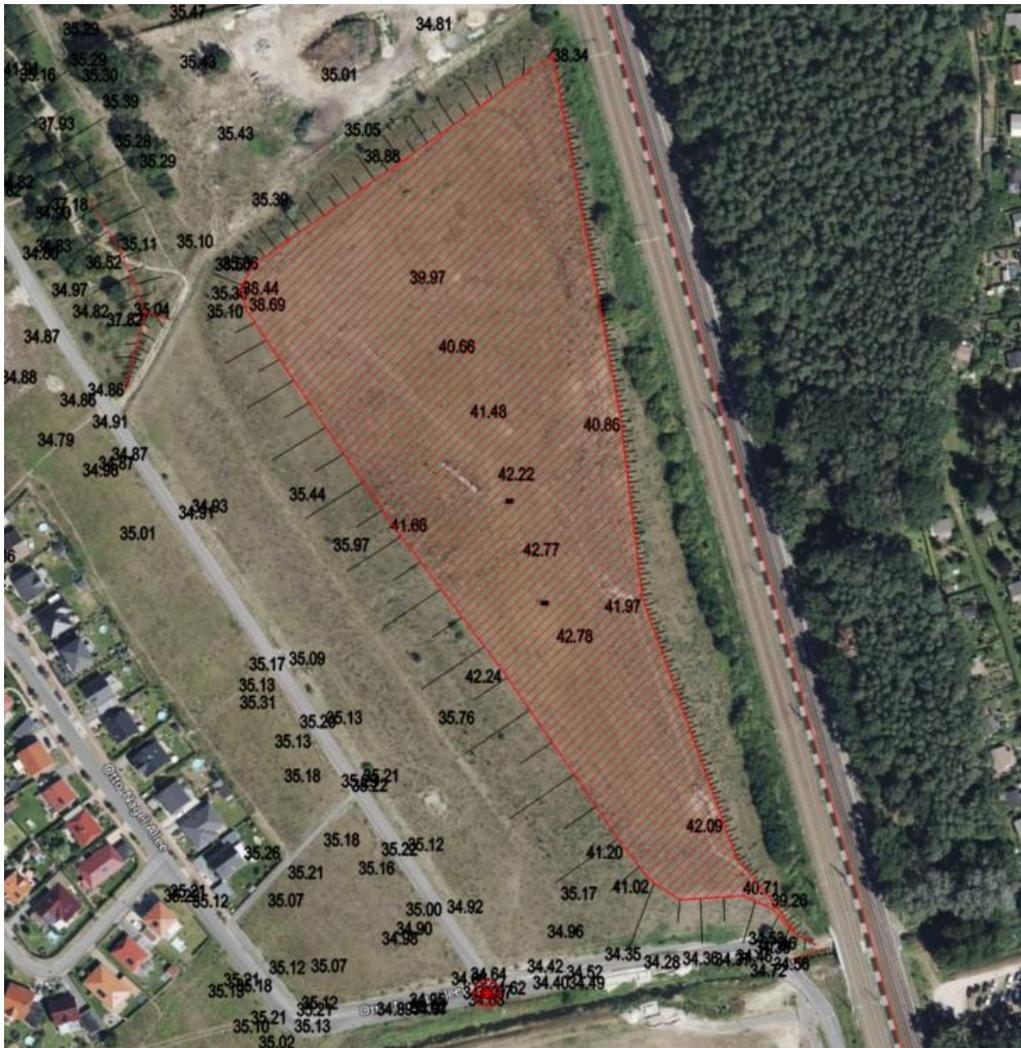


Abbildung 6: Höhenprofil des Baufelds und des angrenzenden Plangebiets

Auf Grund des frühen Planungsstadiums ist noch kein Belegungsplan der PV-Anlage erstellt. Ausrichtung und Neigung der Module sind noch nicht festgelegt. Im Rahmen des Gutachtens werden zwei verschiedene Musterkonfigurationen untersucht:

- Variante 1: Südausrichtung der Module (180° , Solardiktion: 0°) mit einer Neigung von 20° . Max. Gefälle in Ost-West-Richtung $\pm 2,9^\circ$.
- Variante 2: Ost-West-Ausrichtung der Module ($90^\circ/270^\circ$, Solardiktion: $-90^\circ/+90^\circ$) mit einer Neigung von 15° . Max. Gefälle in Nord-Süd-Richtung $\pm 2,9^\circ$.

Die Unterkante der Module wird mit 0,8 m über Baugrund angesetzt.



4.3 Immissionsorte

4.3.1 Bahnlinie

Die Bahnlinien für den S-Bahnverkehr und die Bahnstrecke Berlin-Görlitz verlaufen, wie in Abbildung 5 dargestellt, östlich entlang des Baufelds in nord-südlicher Richtung (Azimut der nördlichen Blickrichtung: $344,3^\circ$). Die Gleisbetthöhe liegt mit 36 m ü. NN mindestens 4 m tiefer als die niedrigste Modulunterkante am östlichen Rand des Baufelds. Es ist zu prüfen, ob die Lichtreflexionen der geplanten Anlage zur Blendung der Lokführenden führen können.

4.3.2 Straßenverkehr

Die Otto-Nagel-Allee verläuft aus Süden kommend westlich der Bahnlinien auf das Baufeld zu (Azimut der nördlichen Blickrichtung: $344,3^\circ$) und schwenkt kurz davor mit einer Linkskurve in westliche Richtung (Blickrichtung: 260°). Nach etwa 100 m zweigt die Planstraße in Richtung 326° von der Otto-Nagel-Allee ab. Die Deckenhöhe der Straßen liegt mit 35 m ü. NN mindestens 4 m tiefer als die niedrigste Modulunterkante.

4.3.3 Gebäude

Wie in Abbildung 5 dargestellt, befindet sich eine bestehende Siedlung in einem Abstand von etwas mehr als 100 m westlich des Baufelds. Zwischen der Bestandsbebauung und dem Baufeld ist westlich und östlich der Planstraße eine weitere Bebauung geplant. Die Geländeoberkante des Baugebiets liegt bei 35 m ü. NN.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

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 7 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und dem Reflexionspunkt.

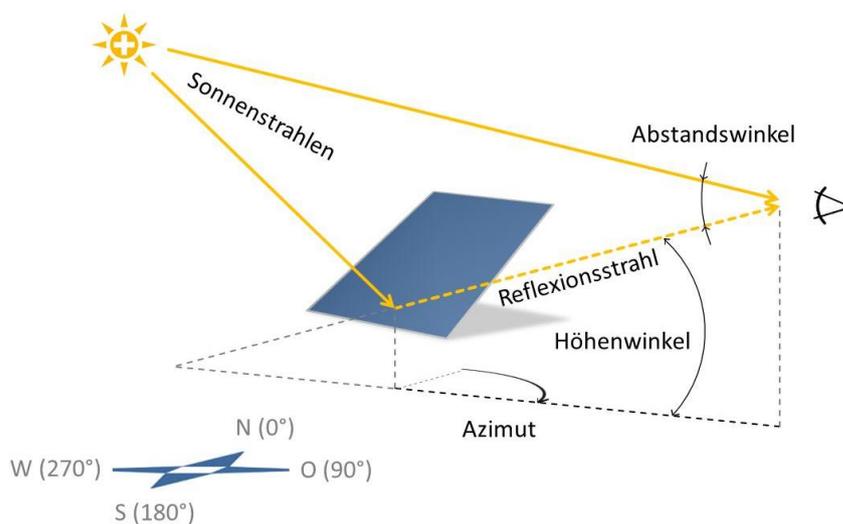


Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Abbildung 8 zeigt, wie die Höhenwinkel zwischen Reflexionspunkt und Immissionsort variieren können. 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. Im Schienenverkehr wird eine Augenhöhe von 2 bis 4 m über Gleis untersucht.

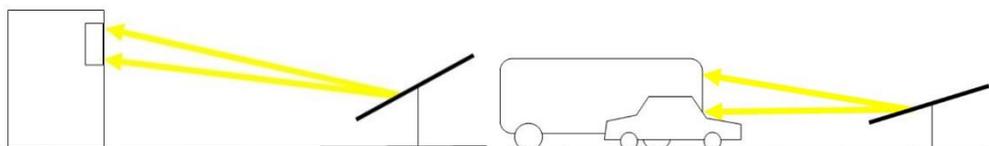


Abbildung 8: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts)

Für die Beurteilung der Blendrisiken durch die geplante Solaranlage wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Zeuthen (geografische Länge 13,26°,



Breite 52,36°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils für den 21. jeden Monats)⁵. Anschließend werden die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen berechnet. Diese werden anschaulich in einem Reflexionsdiagramm dargestellt, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt.

Abbildung 9 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für die mit einer Neigung von 20° nach Süden ausgerichteten Module ohne Festlegung eines Blickpunkts. Potenziell störende Reflexionen mit geringen Höhenwinkeln können bei dieser Ausrichtung von Mitte März bis Ende September in östlicher und westlicher Richtung auftreten.

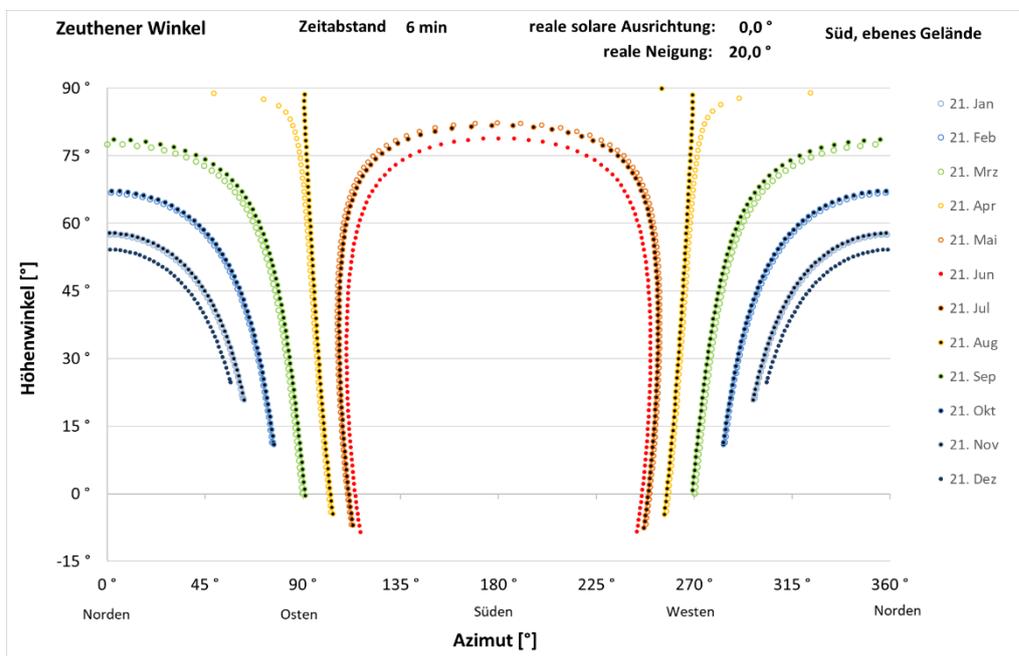


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen mit südlicher Ausrichtung und 20° Neigung auf ebenem Baugrund am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln

Abbildung 10 zeigt die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für Modultische in Ost-West-Ausrichtung.

⁵ Berechnung nach Eicker 2001

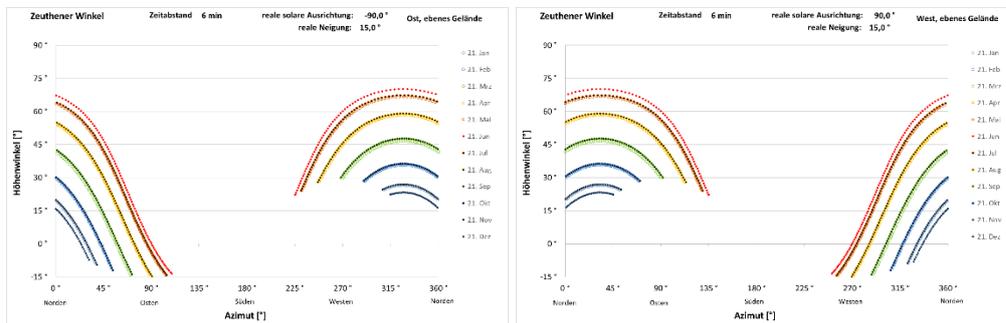


Abbildung 10: Reflexionsdiagramme von Modulen mit östlicher (links) und westlicher (rechts) Ausrichtung

Für eine genaue Berechnung können die Koordinaten der Module und der relevanten Immissionsorte mit unterer und oberer Höhe ermittelt und als Reflexions-, bzw. Blickpunkte in die Berechnung übernommen werden. Um die mögliche Spanne zu visualisieren, werden die Höhenpositionen in den Reflexionsdiagrammen mit „min“ und „max“ bezeichnet.

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des von Reflexionen betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember), so kann die Dauer und Jahreszeit potenzieller Reflexionen abgeschätzt werden (der Abstand zwischen zwei Markierungspunkten einer Tagesganglinie entspricht 6 Minuten). Sofern es auf konkrete Uhr- und Jahreszeiten oder die jeweilige Dauer potenzieller Reflexion ankommt, erlauben die Datentabellen eine noch genauere Ermittlung.

Wenn die genauere tägliche Einwirkdauer oder jährliche Aufsummierung der Einwirkdauer benötigt wird, kann für einen definierten Zeitraum und Azimutbereich unter Annahme einer punktförmigen Sonne in einer minütlichen Auflösung ein sogenannter „Blendkalender“ erstellt werden.

5.1.2 Eingrenzung potenziell relevanter Azimutrichtungen

Im Falle der auf dem ehemaligen Deponiegelände geplanten PV-Anlage liegen die Augen von Verkehrsteilnehmern im Straßen- und Schienenverkehr auf geringerer Höhe als die tiefsten Modulunterkanten. Für noch unbebaute Grundstücke ist lt. Brandenburger Licht-Leitlinie eine Immissionshöhe von 2 m über Geländeoberkante anzusetzen, so dass auch diese unterhalb der niedrigsten Modulunterkante gelegen ist. Der größte Höhenwinkel störender Lichtreflexionen ist demnach $\leq 0^\circ$.

Das allgemeine Reflexionsdiagramm für den Standort Zeuthen kann mit dieser Information in Bezug auf die kritischen Reflexionen präzisiert werden. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 11 zeigt beispielhaft, dass für Module mit Südausrichtung auf ebenem Gelände bei einem maximalen Höhenwinkel von 0° ein östlicher (89° bis 116°) und ein westlicher Azimutbereich (245° bis 270°) potenziell kritisch sind.

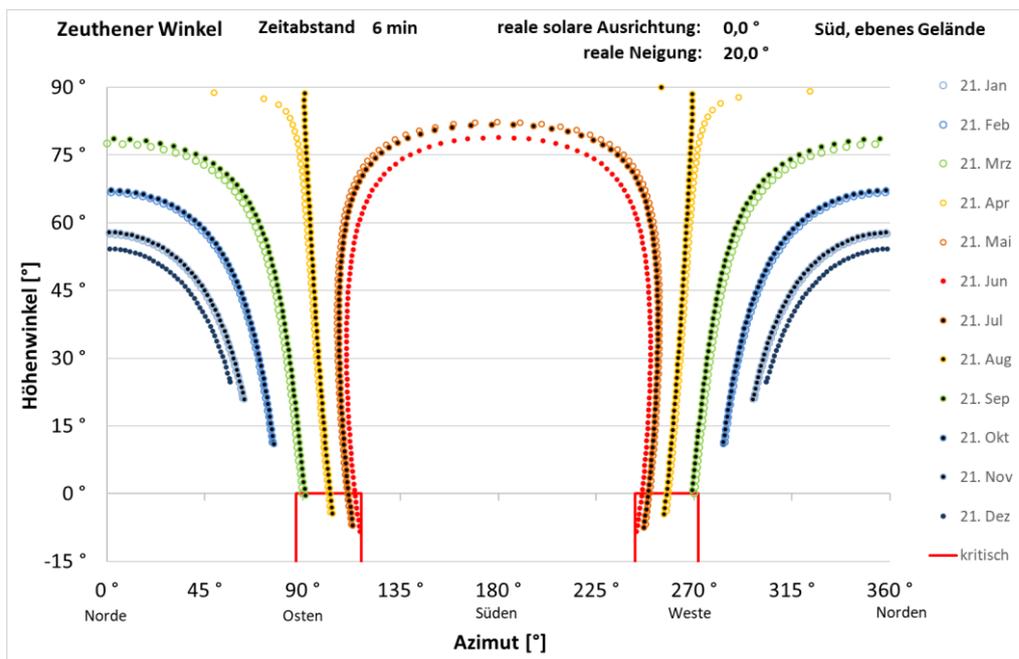


Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

5.1.3 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 (s. Abschnitt 3.2.2).

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.



5.2 Berechnungsergebnisse für südausgerichtete Module

5.2.1 Schienenverkehr

Schieneverkehr aus südlicher Richtung

Der Schienenverkehr aus südlicher Richtung passiert die geplante PV-Anlage östlich und kann nur von Sonnenlichtreflexionen betroffen sein, die in Richtung Süden bis Osten (Azimut $0^\circ - 180^\circ$) gerichtet sind. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 12 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage in das Blickfeld der Lokführenden geraten können.

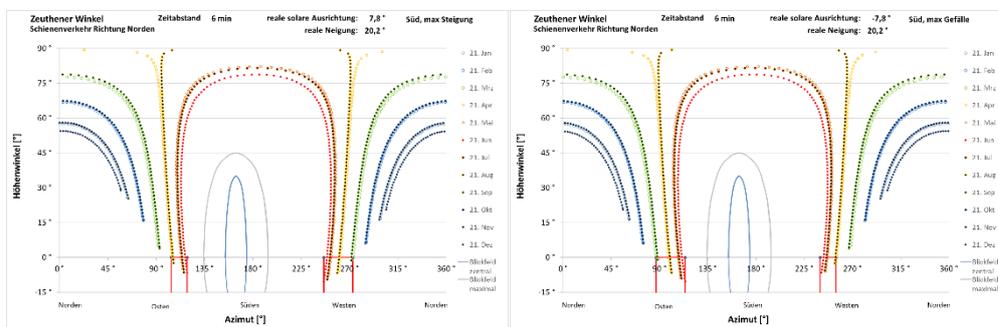


Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld⁶ der Richtung Norden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

Schieneverkehr aus nördlicher Richtung

Der Schienenverkehr aus nördlicher Richtung passiert die geplanten PV-Anlage östlich und kann also nur von Sonnenlichtreflexionen betroffen sein, die in Richtung Süden bis Osten (Azimut $0^\circ - 180^\circ$) gerichtet sind. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 13 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Reflexionen in das Blickfeld der Lokführenden geraten können.

⁶ Da die Reflexionsdiagramme aus der Sicht der Reflexionspunkte erstellt werden, werden Blickfelder immer in Gegenrichtung eingezeichnet

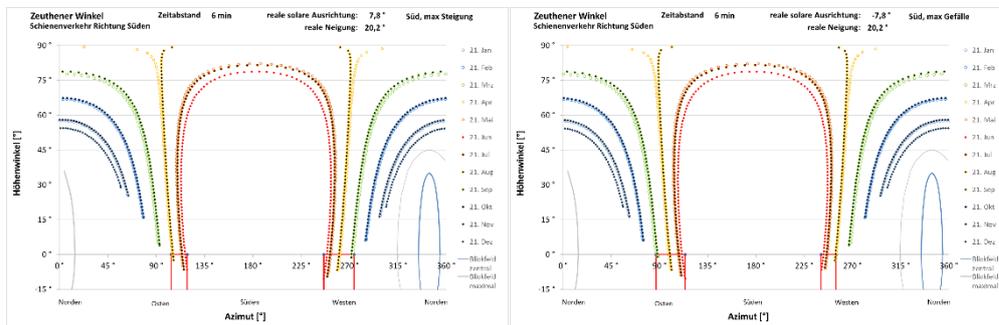


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Süden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

5.2.2 Straßenverkehr

Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee

Der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee aus südlicher Richtung führt auf den südöstlichen Rand der PV-Anlage zu. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 14 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gelangen können.

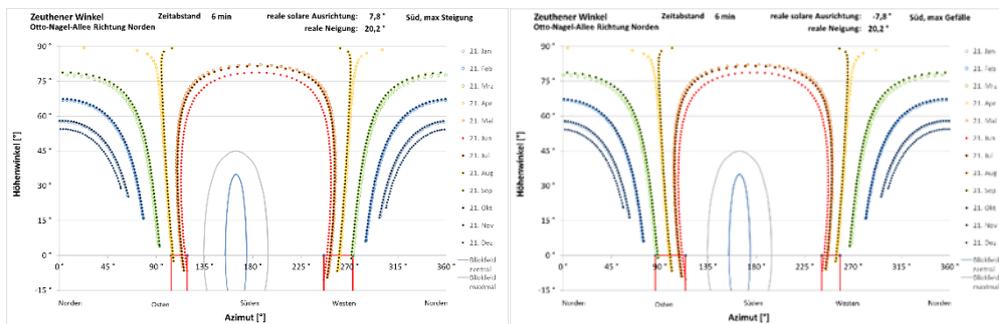


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Norden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

In der Kurve südlich der geplanten PV-Anlage schwenkt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer nach Westen. Ausgangs der Kurve ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 15. Beim Durchfahren der Kurve können potenziell störende Reflexionen in das zentrale Blickfeld gelangen.

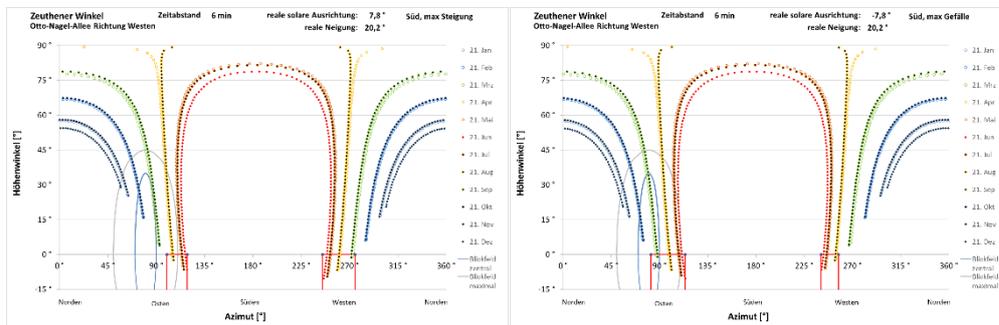


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Westen und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

Verkehr auf der Planstraße

Der aus südlicher Richtung kommende Verkehr auf der Planstraße passiert die geplanten PV-Anlage westlich und kann nur von Sonnenlichtreflexionen betroffen sein, die in Richtung Süden bis Westen (Azimut $180^\circ - 360^\circ$) gerichtet sind. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 16 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gelangen können.

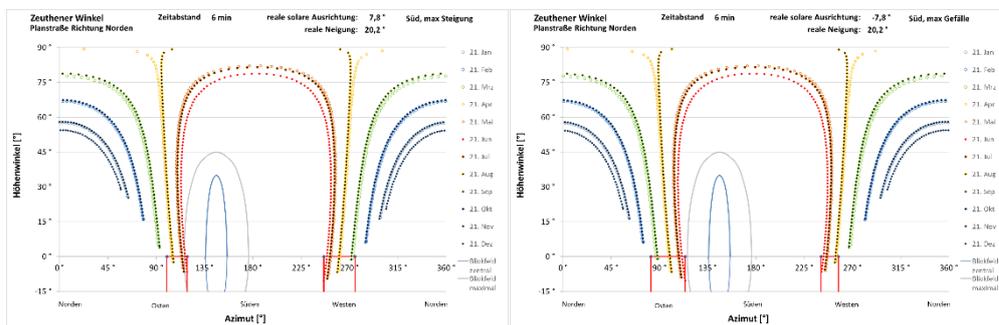


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Planstraße in Richtung Norden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

5.2.3 Gebäude

Die geplante Bebauung (Azimut 139° bis 336° aus Sicht der PV-Anlage) beidseits der Planstraße kann von Ende März bis Mitte September von den westlich gerichteten Reflexionen der geplanten PV-Anlage betroffen sein (siehe Abbildung 11).



5.3 Berechnungsergebnisse für Module in Ost-West-Ausrichtung

5.3.1 Schienenverkehr

Schienerverkehr aus südlicher Richtung

Der Schienenverkehr aus südlicher Richtung passiert die geplanten PV-Anlage östlich und kann nur von Sonnenlichtreflexionen östlich ausgerichteter Module betroffen sein. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 17 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen der geplanten Anlage in das Blickfeld der Lokführenden geraten können.

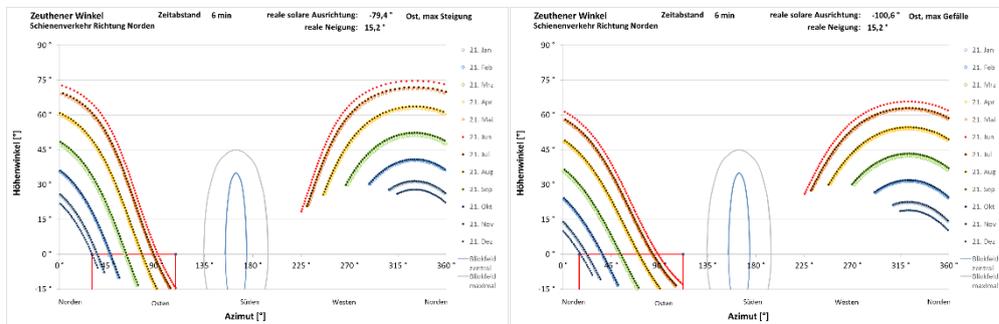


Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für östlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Norden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

Schienerverkehr aus nördlicher Richtung

Der Schienenverkehr aus nördlicher Richtung passiert die geplanten PV-Anlage östlich und kann also nur von Sonnenlichtreflexionen der östlich ausgerichteten Module betroffen sein. Die Reflexionsdiagramme für Module bei maximaler Steigung und bei maximalem Gefälle in Abbildung 18 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Reflexionen in das Blickfeld der Lokführenden geraten können.

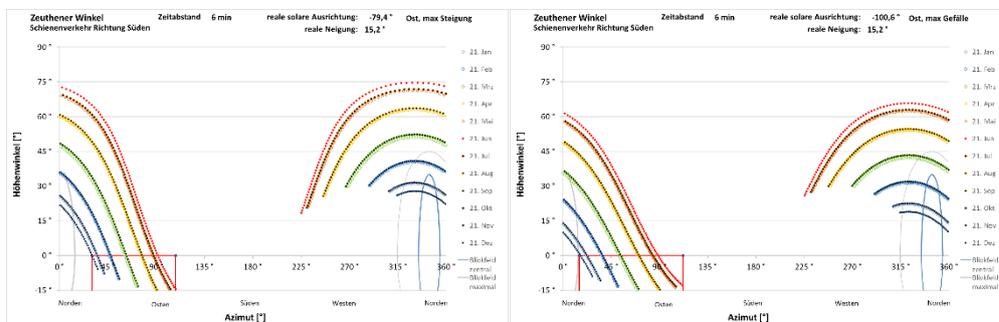


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für östlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Süden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$



5.3.2 Straßenverkehr

Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee

Der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee aus südlicher Richtung führt auf den südöstlichen Rand der PV-Anlage zu. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 19 zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen in das Blickfeld der Fahrzeugführenden gelangen können. Auch bei Errichtung der Module im Gefälle bleibt das Blickfeld frei von Reflexionen.

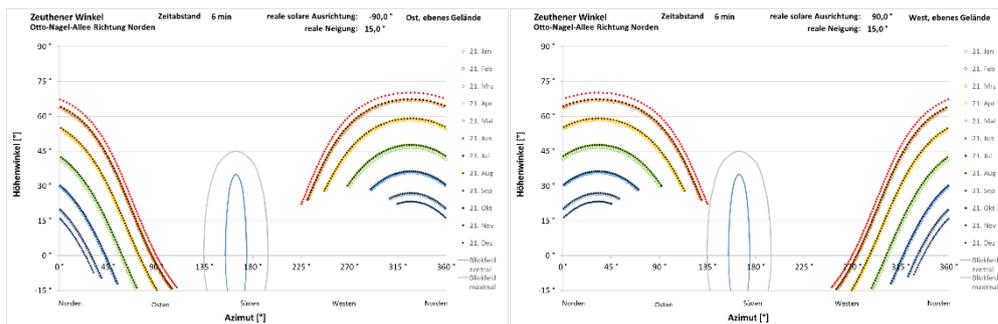


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für östlich (links) und westlich (rechts) ausgerichtete Module auf ebenem Gelände mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Norden

In der Kurve südlich der geplanten PV-Anlage schwenkt das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer nach Westen. Ausgangs der Kurve ergeben sich für Module auf ebenem Baugrund die Reflexionsdiagramme in Abbildung 20. Beim Durchfahren der Kurve und unmittelbar danach können potenziell störende Sonnenlichtreflexionen der östlich ausgerichteten Module in das zentrale Blickfeld der Verkehrsteilnehmer gelangen.

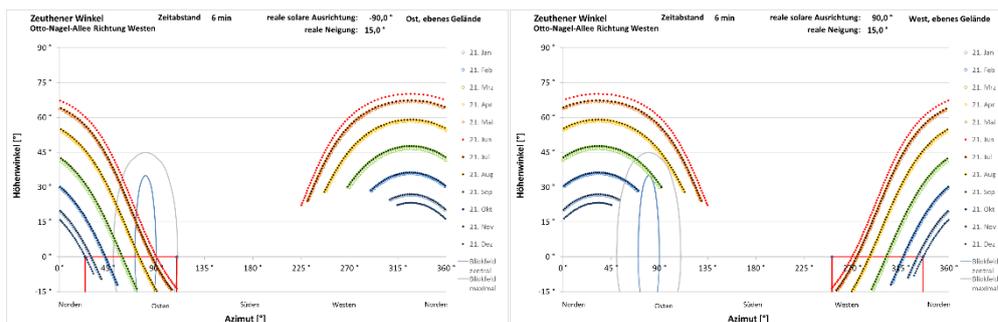


Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für östlich (links) und westlich (rechts) ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Westen und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

Verkehr auf der Planstraße

Der Verkehr auf der Planstraße passiert die geplante PV-Anlage westlich und kann also nur von Sonnenlichtreflexionen der westlich ausgerichteten Module betroffen sein. Die Reflexionsdiagramme



in Abbildung 21 zeigen, dass der Verkehr in nördlicher Richtung zu keinem Zeitpunkt von Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage betroffen sein kann. Verkehrsteilnehmende in Richtung Süden können hingegen von Lichtreflexionen im zentralen Blickfeld betroffen sein.

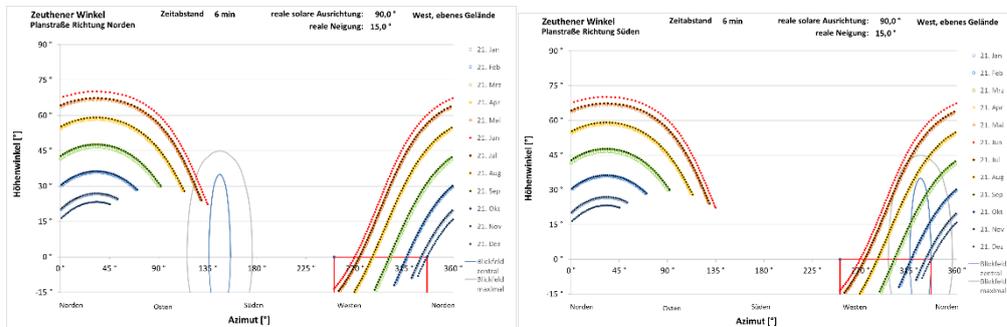


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für westlich ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Planstraße in Richtung Norden (links) und Süden (rechts) und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$

5.3.3 Gebäude

Die geplante Bebauung (Azimut 139° bis 336° aus Sicht der PV-Anlage) beidseits der Planstraße kann von den westlich gerichteten Reflexionen der geplanten PV-Anlage betroffen sein. Abbildung 22 zeigt die allgemeinen Reflexionsdiagramme der westlich ausgerichteten Module mit Darstellung der kritischen Azimutbereiche.

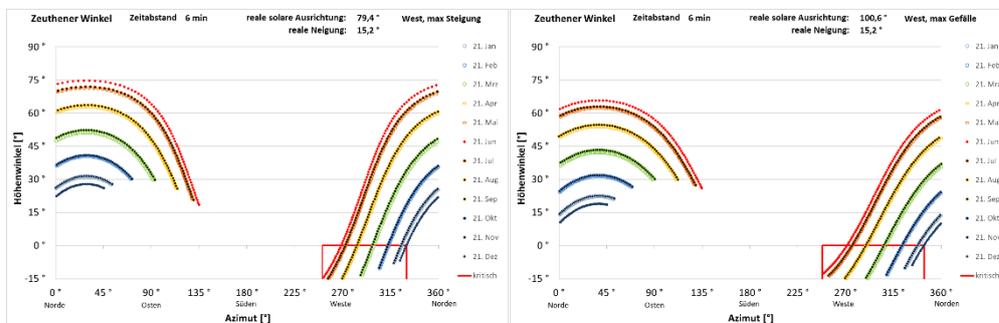


Abbildung 22: Reflexionsdiagramme von Modulen mit westlicher Ausrichtung auf Baugrund mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$



6 *Bewertung der Blendrisiken*

6.1 *PV-Anlage mit Südausrichtung*

6.1.1 Schienenverkehr

Die Lokführende auf der Bahnlinie unterliegen keinem Blendungsrisiko durch die geplante PV-Anlage. Es können zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage in das Blickfeld der Lokführenden fallen.

6.1.2 Straßenverkehr

Der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee und Planstraße in nördlicher und südlicher Richtung ist zu keinem Zeitpunkt von störenden Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage betroffen. Der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee in östlicher und westlicher Richtung sowie in der Kurve und der Verkehr an der Einmündung der Planstraße kann von Reflexionen bis in das zentrale Blickfeld betroffen sein. Eine Bewertung ist erst möglich, wenn ein Belegungsplan der PV-Anlage vorliegt.

Auf Grund des erhöhten Baufelds können potenzielle Lichtreflexionen bspw. durch textile Einflechtung in der Umzäunung der PV-Anlage oder eine geeignete Bepflanzung unterbunden werden.

6.1.3 Gebäude

Die westlich der PV-Anlage geplanten Gebäude können von Reflexionen der Anlage betroffen sein. Eine Bewertung der Zumutbarkeit ist erst möglich, wenn ein Belegungsplan der PV-Anlage vorliegt.

Auf Grund des erhöhten Baufelds können potenzielle Lichtreflexionen bspw. durch textile Einflechtung in der Umzäunung der PV-Anlage oder eine geeignete Bepflanzung unterbunden werden.

6.2 *PV-Anlage mit Ost-West-Ausrichtung*

6.2.1 Schienenverkehr

Die Lokführende auf der Bahnlinie unterliegen keinem Blendungsrisiko durch die geplante PV-Anlage. Es können zu keinem Zeitpunkt Sonnenlichtreflexionen der geplanten PV-Anlage in das Blickfeld der Lokführenden fallen. Diese Feststellung ist nur bei einer Ausrichtung von genau 90° (Solardiktion -90°) bzw. 270° (Solardiktion +90°) gültig. Wenn die Tische parallel zum Verlauf der Bahnlinien ausgerichtet würden, wäre eine neue Berechnung erforderlich.



6.2.2 Straßenverkehr

Der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee und Planstraße in nördlicher Richtung ist zu keinem Zeitpunkt von störenden Sonnenlichtreflexionen der PV-Anlage betroffen. Der Verkehr auf der Planstraße in südlicher Richtung kann ebenso wie der Verkehr auf der Otto-Nagel-Allee in östlicher und westlicher Richtung, beim Durchfahren der Kurve und an der Einmündung der Planstraße von Reflexionen bis in das zentrale Blickfeld betroffen sein. Eine Bewertung ist erst möglich, wenn ein Belegungsplan der PV-Anlage vorliegt.

Auf Grund des erhöhten Baufelds können potenzielle Lichtreflexionen bspw. durch textile Einflechtung in der Umzäunung der PV-Anlage oder eine geeignete Bepflanzung unterbunden werden.

6.2.3 Gebäude

Die westlich der PV-Anlage geplanten Gebäude können von Reflexionen der Anlage betroffen sein. Eine Bewertung der Zumutbarkeit ist erst möglich, wenn ein Belegungsplan der PV-Anlage vorliegt.

Auf Grund des erhöhten Baufelds können potenzielle Lichtreflexionen bspw. durch textile Einflechtung in der Umzäunung der PV-Anlage oder eine geeignete Bepflanzung unterbunden werden.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Datei „2021-07-26_21-040-BLP_Bestandslageplan_lokal.dwg“
- ▶ Datei „2021-07-26_21-040-BLP_Bestandslageplan_ETRS89.dwg“
- ▶ Datei „2021-05-25_21-040-BLP_Bestandslageplan.pdf“
- ▶ Datei „BP-115-3-Zeuthener Winkel-Mitte-Planzeichnung-2022-01.pdf“
- ▶ Datei „BP-115-3-Zeuthener Winkel-Mitte-Begründung-2022-03-16-sw.pdf“

7.2 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 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





8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Photovoltaikanlage „Zeuthener Winkel“ (Baufeld rot schraffiert), der östlich angrenzenden Bahnlinie und der Umgebung; Quelle: Bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines Luftbildes 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 (rot schraffierter Bereich auf ehemaliger Deponie), der östlich angrenzenden Bahnlinie sowie der Otto-Nagel-Alle und der geplanten Bebauung und Straße; Quelle: bearbeitetes Kundenmaterial vor dem Hintergrund eines Luftbildes aus Bing Maps.....	13
Abbildung 6: Höhenprofil des Baufelds und des angrenzenden Plangebiets	14
Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie in den Berechnungen verwendet und des Abstandswinkels zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt	16
Abbildung 8: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel bei Gebäuden (links) und im Straßenverkehr (rechts).....	16
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes von Modulen mit südlicher Ausrichtung und 20° Neigung auf ebenem Baugrund am Standort der geplanten Anlage mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln.....	17
Abbildung 10: Reflexionsdiagramme von Modulen mit östlicher (links) und westlicher (rechts) Ausrichtung.....	18
Abbildung 11: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^{\circ}$	19
Abbildung 12: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Norden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^{\circ}$	20
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Süden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^{\circ}$	21



Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Norden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	21
Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Westen und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	22
Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für südlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Planstraße in Richtung Norden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	22
Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für östlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Norden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	23
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für östlich ausgerichtete Module mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Blickfeld der Richtung Süden fahrenden Lokführenden und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	23
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für östlich (links) und westlich (rechts) ausgerichtete Module auf ebenem Gelände mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Norden	24
Abbildung 20: Reflexionsdiagramme für östlich (links) und westlich (rechts) ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Otto-Nagel-Allee in Richtung Westen und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	24
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für westlich ausgerichtete Module auf ebenem Baugrund mit Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf der Planstraße in Richtung Norden (links) und Süden (rechts) und Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	25
Abbildung 22: Reflexionsdiagramme von Modulen mit westlicher Ausrichtung auf Baugrund mit max. Steigung (links) und max. Gefälle (rechts) mit Eingrenzung der kritischen Azimutwinkel für Höhenwinkel $\leq 0^\circ$	25

9 *Tabellenverzeichnis*

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)10

