

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

► **Solarpark Vier Tore Stadt**

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Solarpark KS-MV GmbH & Co. KG
Herr Marco Schmarje
Krischanweg 8b
18069 Rostock

erstellt von:

Wolfgang Rosenthal und
Sandra Steinmetz (Datenaufnahme)
Solarpraxis Engineering GmbH
Alboinstraße 36-42
12103 Berlin Germany
Tel. 030/ 726 296-396
Fax. 030/ 726 296-360
E-Mail: Wolfgang.Rosenthal@solarpraxis.com
Internet: www.solarpraxis.com

Datum: 08.04.2022



Projektnummer: P21538/v.2



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 als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung	6
3.1.2	Immissionsschutz	7
3.2	Blendung	8
3.2.1	Blendung im Wohnbereich	8
3.2.2	Blendung im Verkehr	9
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	12
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben	13
4	Situation vor Ort	14
4.1	Die Photovoltaikanlage	14
4.2	Die Autobahn A 20	17
4.3	Die Bahnlinie	17
4.4	Wohnhäuser von Glocksinn	17
5	Berechnungen	18
5.1	Methodik der Berechnung	18
5.1.1	Geometrische Aspekte	18
5.1.2	Lichttechnische Aspekte	21
5.2	Die Autobahn A 20	21
5.3	Die Bahnlinie	22
5.3.1	Punkt 1 von Osten	22
5.3.2	Punkt 2 von Osten	23
5.3.3	Punkt 3 von Osten	24
5.3.4	Weiterer Streckenverlauf aus Osten kommend	24

5.3.5	Gegenrichtung von Südwesten kommend.....	25
5.4	Wohnhäuser	26
6	Bewertung der Ergebnisse	29
6.1	Autobahn.....	29
6.2	Bahnlinie.....	29
6.3	Glocksin.....	30
7	Verwendete Materialien.....	31
7.1	Dokumente vom Auftraggeber	31
7.2	Literatur.....	31
8	Abbildungsverzeichnis.....	32
9	Tabellenverzeichnis	34





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage an der BAB 20, Parkplatz Vier Tore Stadt, zu beiden Seiten der Autobahn A 20 sowie nördlich der Bahnlinie Neubrandenburg-Friedland Sonnenlicht auf die Autobahn, die südlich verlaufende Bahnlinie oder Wohnhäuser der Ortschaft Glocksins reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten Anlage sowie der Autobahn und der Bahnlinie ist in Abbildung 1 zu erkennen.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung eventuell auftretender Blendung zu erarbeiten.

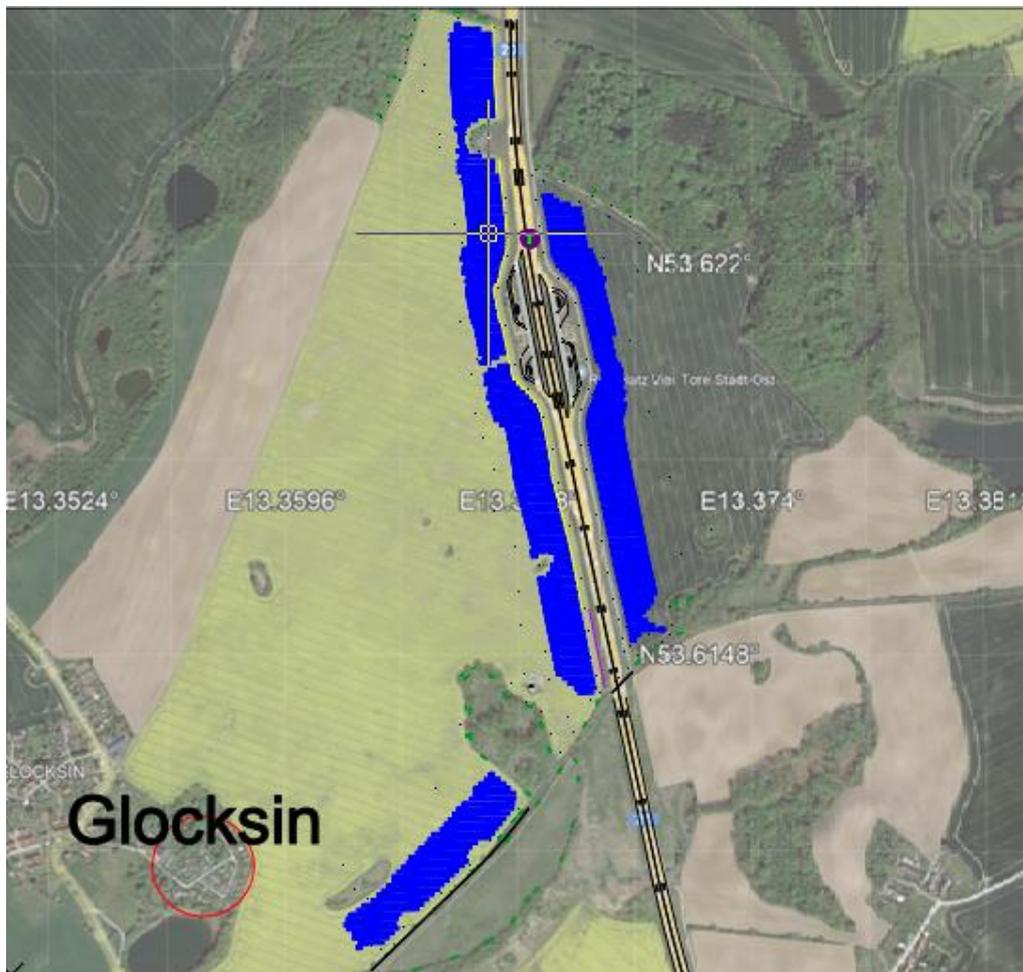


Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau) zu beiden Seiten der Autobahn A 20 und nördlich der Bahnlinie Neubrandenburg-Friedland sowie der Ortschaft Glocksins auf Hintergrund von Google Earth Pro

Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten und Pläne und unter Zuhilfenahme von Google Earth Pro.



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass die geplante Anlage keinerlei Beeinträchtigung der Sicherheit des Straßen- und Schienenverkehrs hervorrufen und zu keinen unzumutbaren Belästigungen in Glocksin führen kann.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



3 Einleitung

Der vorliegende Bericht enthält vertrauliche Informationen. Der Bericht dient nur zur Vorlage bei den finanzierenden Banken, beim Anlagenerrichter 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 als ein explizites Ziel von Baurecht und Raumordnung

Schon vor der Havarie in Fukushima enthielten die Grundsätze der Raumordnung in §2 Abs. 1 Raumordnungsgesetz (ROG) unter Nr. 1 die Sicherung der nachhaltigen Daseinsvorsorge und der Entwicklungspotenziale sowie den Ressourcenschutz, und unter Nr. 3 die Versorgung mit Infrastrukturen der Daseinsvorsorge. Unter Nr. 6 wird explizit genannt: "Den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes ist Rechnung zu tragen, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Anpassung an den Klimawandel dienen. Dabei sind die räumlichen Voraussetzungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien, für eine sparsame Energienutzung sowie für den Erhalt und die Entwicklung natürlicher Senken für klimaschädliche Stoffe und für die Einlagerung dieser Stoffe zu schaffen."

In §1 Abs. 6 Nr. 7 Buchstabe f BauGB¹ ist die Nutzung erneuerbarer Energien ebenfalls explizit aufgeführt als ein öffentlicher Belang, der besonders zu berücksichtigen ist.

Nach den dramatischen Ereignissen in Japan im März 2011 und dem von weiten Teilen der Bevölkerung mitgetragenen Entschluss der Regierung, aus der nuklearen Stromerzeugung baldmöglichst auszusteigen und umgehend die Weichen für eine nachhaltigere Energie- und damit auch Stromversorgung zu stellen, basierend auf unbefristet verfügbaren erneuerbaren Energiequellen, wurde das Gesetz zur Stärkung der klimagerechten Entwicklung in den Städten und Gemeinden (BGBI. I S. 1509) erlassen, das Städten und Gemeinden eine stärkere Rolle in der klimagerechten Bodennutzung zuschreibt. Zu diesem Zweck wurden durch dieses Gesetz Festsetzungsmöglichkeiten zum Einsatz und zur Nutzung erneuerbarer Energien ins Baugesetz eingefügt und die Nutzung insbesondere auch von Photovoltaikanlagen an oder auf Gebäuden erleichtert.

U.a. wurden

¹ Baugesetzbuch



- ▶ in §5 Abs. 2 Nr. 2 BauGB die Ausstattung des Gemeindegebietes mit Anlagen zur dezentralen Stromerzeugung in die möglichen Inhalte eines Flächennutzungsplans explizit aufgenommen,
- ▶ in §9 Abs. 1 Nrn. 12 und 23 Festsetzungsmöglichkeiten im Bebauungsplan aufgenommen für Flächen und Gebiete, die der dezentralen Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dienen sollen,
- ▶ in §35 Abs. 1 als Nr. 8 eine Privilegierung von gebäudeintegrierten Solaranlagen im Außenbereich aufgenommen.

In der Gesetzesbegründung wird als Ziel genannt, den Handlungsspielraum der Gemeinden zu erweitern. Als beabsichtigte Gesetzesfolge wird unter dem Punkt 5. Nachhaltigkeit ausgeführt: "Das Gesetz weitet den Planungsspielraum der Gemeinden zur Stärkung der klimagerechten Stadtentwicklung aus. Es fördert die Nutzung erneuerbarer Energien, spart Rohstoffe und Ressourcen und unterstützt die schnellere Erreichung der Klimaschutzziele Deutschlands. Erneuerbare Energien reduzieren den Verbrauch fossiler Brennstoffe und tragen damit zur Verbesserung der Luftqualität bei. Die Nutzung erneuerbarer Energien und die damit verbundene Schonung von Rohstoffen, die damit künftigen Generationen erhalten bleiben, tragen dazu bei, dass diese Generation ihre Aufgaben selbst löst und sie nicht kommenden Generationen aufbürdet."

War also schon vor dieser Gesetzesänderung die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energie als politische Zielsetzung in einer Abwägung gem. §1 Abs. 7 BauGB zu berücksichtigen, so ist nunmehr die politische Verantwortung der Städte und Gemeinden zur Forcierung dieser Politik hervorgehoben.

3.1.2 Immissionsschutz

Bei der Bauleitplanung sind im Rahmen der gem. §1 Abs. 7 BauGB zwingend vorgeschriebenen Abwägung von öffentlichen und privaten Belangen auch Lichtreflexionen als Immissionen zu betrachten und zu bewerten.

§3 Abs. 1 BImSchG² definiert: Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne dieses Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.

§3 Abs. 2 BImSchG erklärt weiterhin: Immissionen im Sinne dieses Gesetzes 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.

Anlagen im Sinne des §3 Abs. 5 Nr. 1 BImSchG, zu denen auch Photovoltaikanlagen gehören, sind nach §5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 (im Falle genehmigungsbedürftiger Anlagen) bzw. nach §22 Abs. 1 Nr. 1 (im Falle nicht genehmigungsbedürftiger Anlagen) so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind.

² Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG)



In diesem Sinn ist von Photovoltaikanlagen reflektiertes Sonnenlicht eine Immission, die belästigend wirken kann. Es gibt aber keine gesetzlichen Vorschriften zur Bestimmung der immissionsschutzrechtlichen Erheblichkeitsgrenzen.

3.2 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichte- oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist als Lichtstärke pro Fläche definiert (cd/m^2) und stellt ein fotometrisches Maß für die von Menschen empfundene Helligkeit 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 $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.³ Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen. Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.⁴



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 10 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

³ Wittlich 2010

⁴ 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.



Immissionsschutz (LAI) empfahl seit 2012⁵ bundesweit, diese zeitlichen Grenzwerte als ersten Anhaltspunkt für die Zumutbarkeit im Wohn- und Arbeitsbereich zu nutzen. Danach liegt ein Hinweis auf Unzumutbarkeit vor, wenn ein Wohn- oder Arbeitsbereich länger als 30 Minuten am Tag oder kumuliert mehr als 30 Stunden im Jahr von Lichtimmissionen einer PVA getroffen werden kann. Zur Berechnung wird dabei ein vereinfachtes Verfahren vorgegeben, bei dem nur solche Sonnenlicht-Reflexionen als Immissionen zählen, die einen Abstandswinkel von mehr als 10° zur Sonne haben, und bei dem die Sonne punktförmig angenommen wird. Aufgrund der realen Größe der Sonnenscheibe mit einem Durchmesser von 0,56° können real auftretende Reflexionen etwas länger andauern, als die schematische Berechnung ergibt.

In der Rechtsprechung wird die Zumutbarkeit von Lichtimmissionen nach der durch die Gebietsart und die tatsächlichen Verhältnisse zu bestimmenden Schutzwürdigkeit und Schutzbedürftigkeit der betroffenen Nachbarschaft beurteilt, wobei wertende Elemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz einzubeziehen sind. Zeitdauern von 45 Minuten werden keinesfalls grundsätzlich als unzumutbar angesehen (LG Frankfurt / Main 2/12 O 322/06; OLG Stuttgart 3 U 46/13).⁶

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. Entscheidend für die Gefährdungsbeurteilung ist letztlich 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 ist die jeweils mögliche Einwirkzeit 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

⁵ LAI 2012

⁶ Fischbach u. a. 2014



- ▶ 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.^{7 8}

Das maximale Gebrauchsblickfeld (im Allgemeinen hier einfach als „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	$\pm 9^\circ - \pm 10^\circ$	$+25^\circ, -35^\circ$
maximal	Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

⁷ Reidenbach u. a. 2008

⁸ Kaufmann 1986

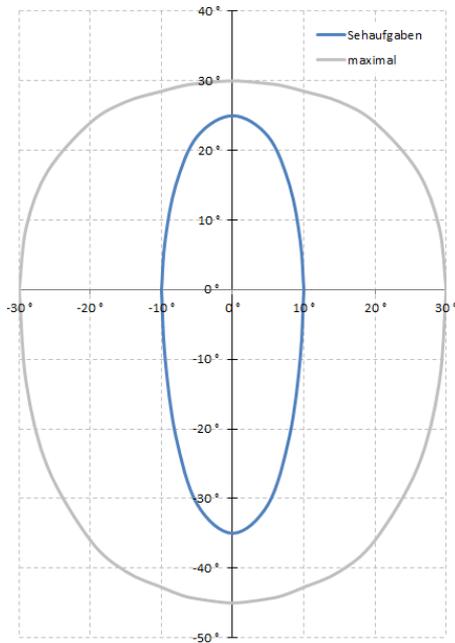


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion zur Blendung führen kann, 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 rundum die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbempfindlichen 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.⁹ 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.¹⁰

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.

Deckgläser, die für PV-Module verwendet werden, 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 weniger als 9 % des gesamten eingestrahnten sichtbaren Lichtes reflektiert werden.

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

⁹ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

¹⁰ Fischbach u.a. 2014

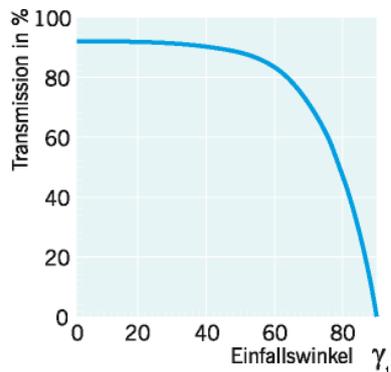


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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 $6 \cdot 10^6 \text{ cd/m}^2$ beträgt und um die Mittagszeit $1,5 \cdot 10^9 \text{ cd/m}^2$ erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ($>10^5 \text{ cd/m}^2$) 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 ergebenden Azimutangaben 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 Die Photovoltaikanlage

Laut Belegungsplan (Abbildung 5) soll die Anlage genau südlich ausgerichtet werden. Allerdings scheint diese Ausrichtung anhand eines rechtwinkligen Gitters orientiert zu sein, das nur am Mittelmeridian auch genau nach geografisch Nord ausgerichtet ist. Für Sonnenstands- und Reflexionsberechnungen ist aber die genaue Ausrichtung nach geografisch Nord erforderlich. Diese Ausrichtung nach geografisch Nord bietet Google Earth und deshalb wurde der Belegungsplan dieser Ausrichtung durch Drehung um $-1,216^\circ$ angepasst. Das Ergebnis ist in Abbildung 1 im Kapitel 1 bereits vorweggenommen.

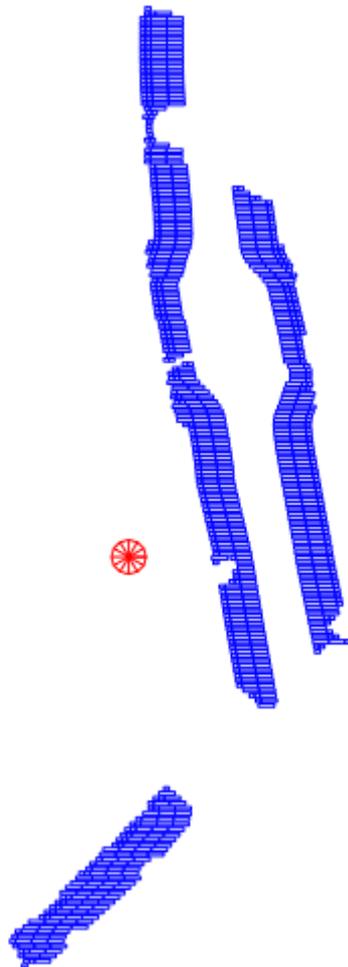


Abbildung 5: Original Belegungsplan mit Lage der Modultischreihen (blau)



Die Anlage ist in drei Baufelder eingeteilt:

- ▶ eins westlich der Autobahn (A),
- ▶ eins östlich der Autobahn (B) und
- ▶ eins im Süden, nördlich der Bahnlinie (C).

Das Gelände, auf dem die Felder errichtet werden sollen, ist nicht eben, wie die Höhenlinien in Abbildung 6 zeigen.

Der niedrigste Punkt liegt im Norden von Feld A mit einer Höhe von etwas über 66 m, der höchste Punkt liegt im Feld B neben dem Parkplatz auf etwas über 75 m.

Aus den verschiedenen Hanglagen der Tische ergibt sich je nach West-Ost-Steigung oder -Gefälle der einzelnen Tische eine Abweichung der realen Flächenorientierung, die für die Reflexion relevant ist, von den Plandaten (Südausrichtung, Neigung 13°). So variiert die reale solare Ausrichtung zwischen -16,4° im Feld A und +14,3° im Feld B. Die sich ergebende reale Neigung erreicht je nach Hanglage maximal 13,5°.

Tabelle 2: Feldweise aufgelistete Bandbreite sich hangbedingt ergebender Flächenorientierungen

	West-Ost-Neigung	Resultierende Ausrichtung	Resultierende Tischneigung
A Gefälle maximal	-3,6°	-16,4°	13,5°
A Steigung maximal	+2,7°	+10,5°	13,3°
B Gefälle maximal	-3,2°	-14,9°	13,4°
B Steigung maximal	+3,2°	+14,3°	13,4°
C Gefälle maximal	-1,2°	-6,4°	13,1°
C Steigung maximal	+2,4°	+9,0°	13,2°

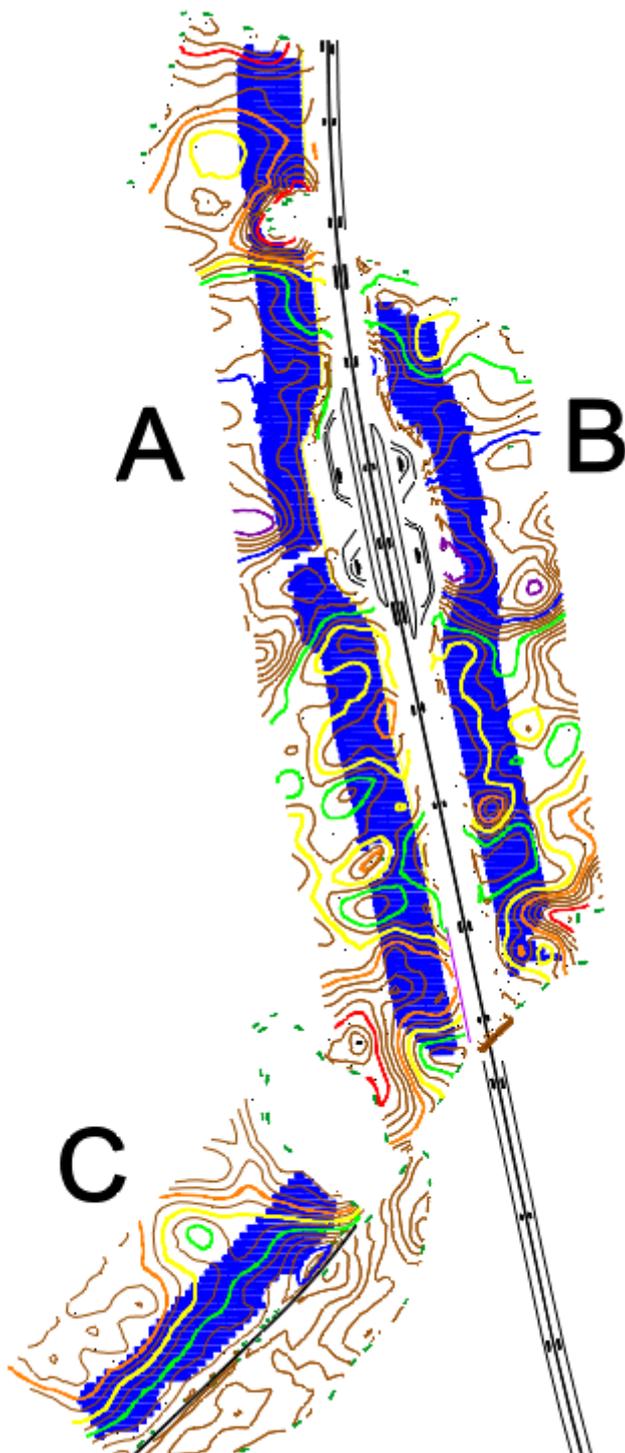


Abbildung 6: Baufelder A, B und C, Modulreihen blau, Höhenlinien im 0,5-m-Abstand braun, farblich hervorgehoben die Höhenlinien für 75 m (violett), 73 m (blau), 71 m (grün), 70 m (gelb), 69 m (orange) und 67 m (rot)



4.2 Die Autobahn A 20

Die Autobahn A 20 verläuft von Süden nach Norden mit nur geringfügiger Änderung der Blickrichtung. Im Süden beträgt deren Azimut $348,5^\circ$ und im Norden 359° .

Auf der Brücke über der im Süden verlaufenden Bahnlinie beträgt die Fahrbahnhöhe 76 m ü. NN. Nach Norden hin senkt sie sich kontinuierlich ab auf 72 m ü. NN an der südlichen Seite des Parkplatzes und bis zu seinem nördlichen Ende hin weiter auf 70 m ü. NN. Im weiteren Verlauf nach Norden bleibt sie auf diesem Niveau.

4.3 Die Bahnlinie

Die Bahnlinie führt, von Osten gesehen, auf einem Höhenniveau von 70 m ü. NN zunächst mit westlicher Blickrichtung auf die Autobahn zu. Eine leichte Linkskurve führt dann zu einer südwestlichen Blickrichtung, mit der die Autobahn auf gleichbleibender Höhe unterquert wird. Im weiteren Streckenverlauf steigen die Gleise bis zum Ende der geplanten Anlage hin auf 73 m ü. NN an.

4.4 Wohnhäuser von Glocksın

Zwischen den der Anlage nächstgelegenen Häusern von Glocksın und den westlichsten Modulen von Feld C ist ein Mindestabstand von 396 m.

Einen geringeren Abstand von etwas über 220 m haben nur eine Reihe von Garten- und Ferienhäusern. Die obersten Fensterkanten dieser nächstgelegenen Häuser liegen nicht höher als 75,5 m ü. NN.



5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Neverin (geografische Länge 13,37°, Breite 53,62°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)¹¹ und die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen werden bestimmt. Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht nach dem Reflexionsgesetz bei ideal gerichteter Reflexion („Einfallswinkel = Ausfallswinkel“) genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Die danach physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen lassen sich wiederum anschaulich in einem Diagramm darstellen, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexions- oder potenziellen Blendpunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 7). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelauflösung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

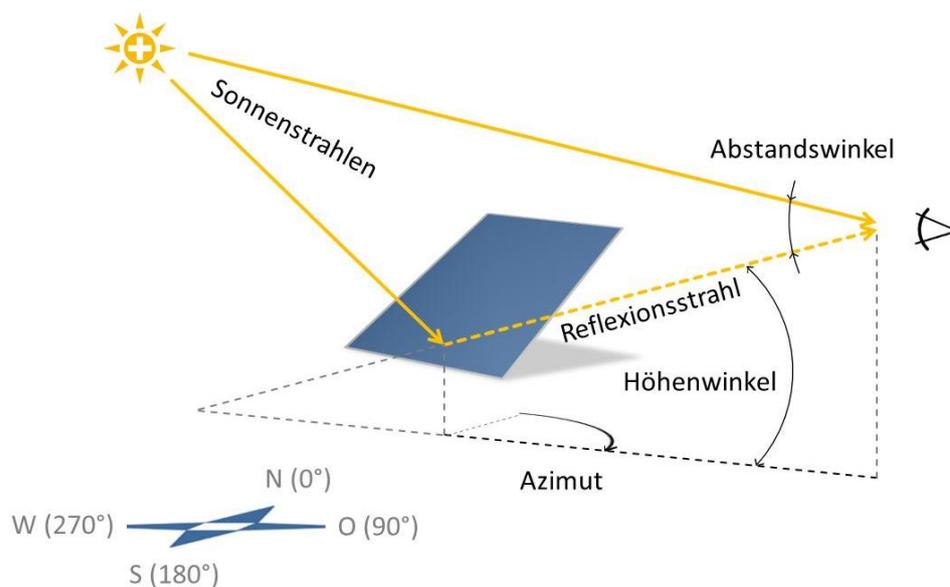


Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

¹¹ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 7 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt eines auf ebenem Grund stehenden Modultisches mit einer Ausrichtung von $-1,2^\circ$ und $13,0^\circ$ Neigung ergibt sich so das in Abbildung 8 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

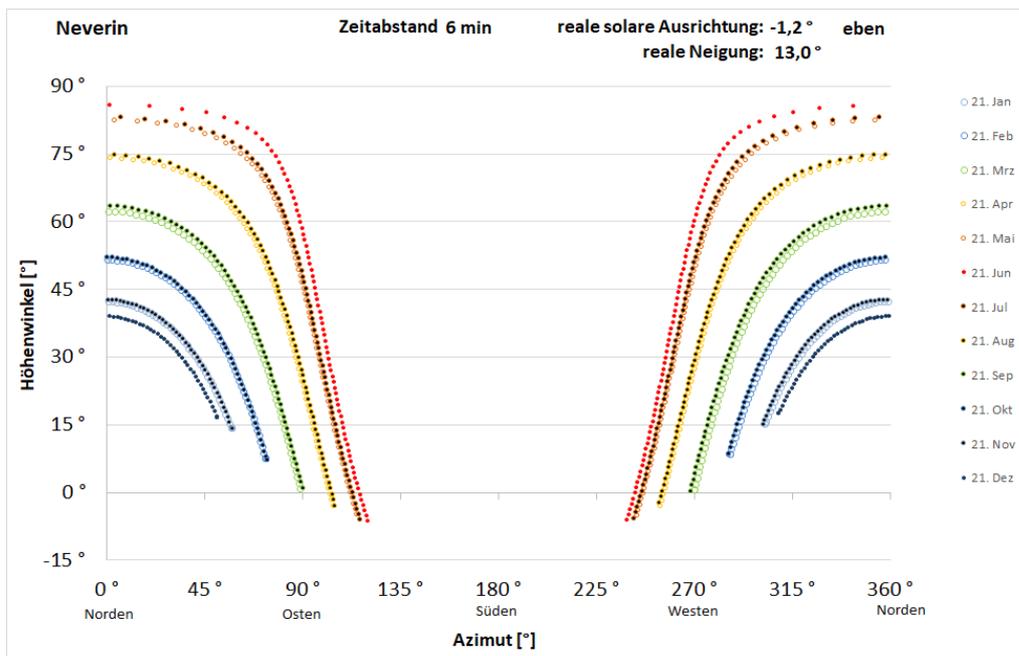


Abbildung 8: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes eines Modultisches auf ebenem Grund mit einer Ausrichtung von $-1,2^\circ$ und einer Modulneigung von $13,0^\circ$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

In Hanglagen ändert sich die reale Orientierung der reflektierenden Ebene und in Folge davon auch das jeweils entsprechende Reflexionsdiagramm. In Abbildung 9 wird die Bandbreite möglicher Reflexionsdiagramme anhand der möglichen Extremwerte dargestellt.

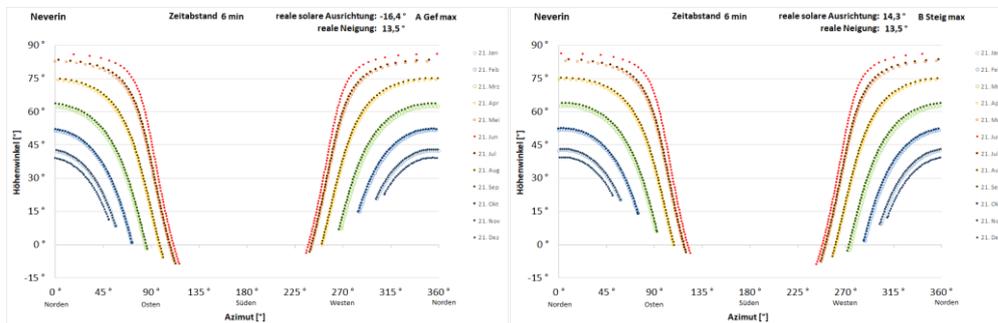


Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen von der durchschnittlichen West-Ost-Neigung der Tische; links für maximales Gefälle und die sich daraus ergebende Ausrichtung von $-16,4^\circ$ mit $13,5^\circ$ Neigung und rechts für maximale Steigung und resultierende Ausrichtung von $+14,3^\circ$ mit ebenfalls $13,5^\circ$ Neigung

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

Die Höhenwinkel zwischen Betrachtungsort und Anlagenpunkt können in aller Regel mehr oder weniger variieren, z.B. je nachdem, ob es sich bei Verkehrsteilnehmern um PKW- oder LKW-Fahrer handelt.

Abbildung 10 verdeutlicht dies skizzenhaft: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu höchstmöglichen Fahreraugen in großen LKW und minimale Höhenwinkel zu Fahreraugen in niedrigen PKW. Bei allen Berechnungen für den Straßenverkehr wird die minimale Augenhöhe mit 1 m über der Fahrbahn angesetzt und die maximale mit 3 m. für Zugführeraugen wird eine Spanne von 2 m bis 4 m über Gleis angesetzt.

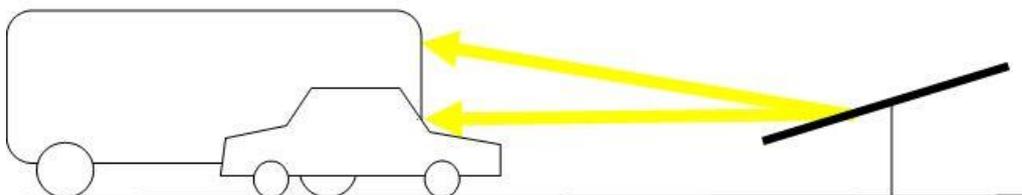


Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

In den Reflexionsdiagrammen werden deshalb mit „min“ und „max“ die sich ergebenden Höhenwinkel bezeichnet, um die mögliche Spanne als worst-case zu berücksichtigen.



5.1.2 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 eine potenzielle Gefährdung darstellen (s. Abschnitt 3.2).

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 4.2 für die Bedingungen von klarem Himmel verwendet, um sicherheitshalber den für Blendung ungünstigsten Fall zu betrachten.

5.2 Die Autobahn A 20

Bei nord-südlich verlaufenden Verkehrswegen geht von südlich ausgerichteten Modulreihen generell kein Blendrisiko aus, da deren Reflexionen mit kleinen Höhenwinkeln im Wesentlichen nach West bis Südwest bzw. nach Ost bis Südost gerichtet sind. Größere Höhenwinkel von Reflexionen bedeuten eine steile Richtung zum Himmel, so dass sie erdgebundene Verkehrsteilnehmer nicht treffen können.

Für den hier konkret vorliegenden Fall zeigt Abbildung 11 für die gesamte Bandbreite möglicher Tischausrichtungen zwischen $-16,4^\circ$ und $+14,3^\circ$, dass Reflexionen mit Höhenwinkeln bis 15° nur zwischen Azimutwinkeln von 45° bis 123° oder von 235° bis 314° auftreten können.

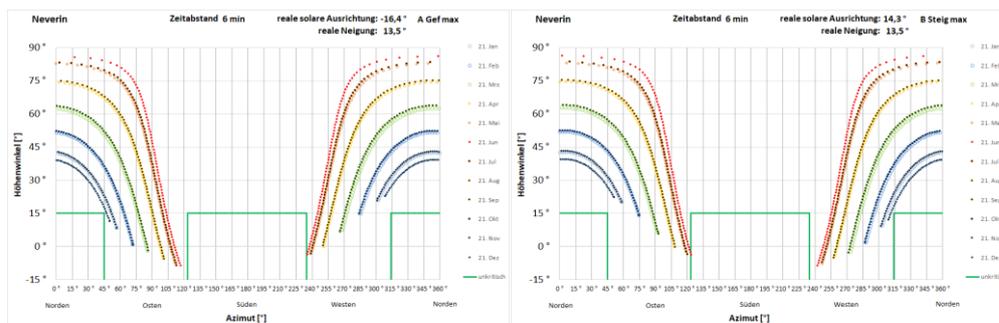


Abbildung 11: Azimutbereiche reflexionsfreier Höhenwinkel bis 15° grün umgrenzt für beide Extremfälle möglicher Tischausrichtungen im gesamten Solarpark, links im Reflexionsdiagramm für die minimal auftretende Ausrichtung von $-16,4^\circ$ und rechts für maximal auftretende Ausrichtung von $+14,3^\circ$

Die Blickrichtung auf der Autobahn variiert nur zwischen $348,5^\circ$ und 359° , in der Gegenrichtung damit zwischen $168,5^\circ$ und 179° . Die zugehörigen maximalen Blickfelder bis 30° rechts und links der Blickrichtung reichen damit maximal von $318,5^\circ$ bis 29° bzw. von $138,5^\circ$ bis 209° .



5.3 Die Bahnlinie

Aus östlicher Richtung werden sieben Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 12 dokumentiert ist.

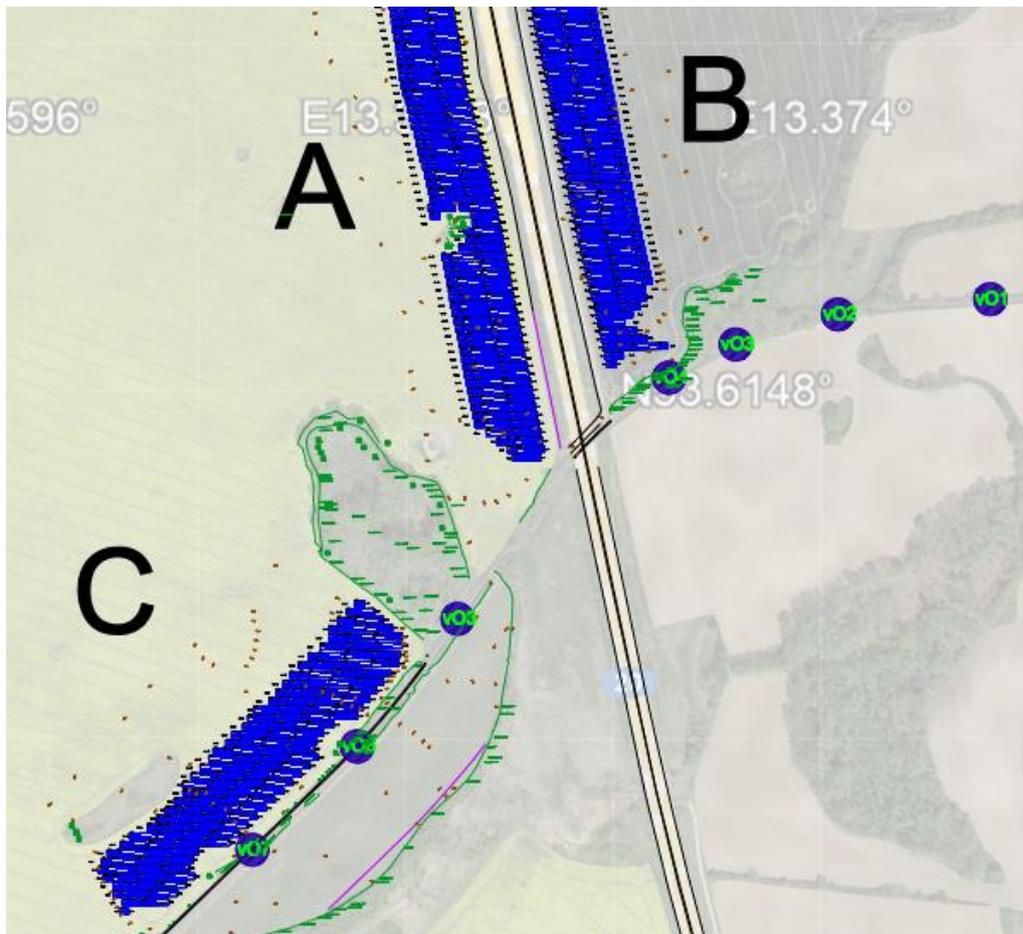


Abbildung 12: Exemplarisch untersuchte Punkte für aus Osten kommende Züge markiert als lila Kreise, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert als vO1 bis vO7; vermessene Höhen der Vegetation in grün

5.3.1 Punkt 1 von Osten

Innerhalb des Blickfeldes von Punkt 1 treten alle möglichen unterschiedlichen Hanglagen auf. Als Reflexionsdiagramme für maximales West-Ost-Gefälle und maximale West-Ost-Steigung der Tische mit den sich ergebenden minimalen bzw. maximalen solaren Ausrichtungen ergeben sich die Diagramme in Abbildung 13.

Das zentrale Blickfeld von Zugführern (in den Diagrammen blau umgrenzt) ist bei maximaler Ausrichtung gänzlich frei von Reflexionsrichtungen und mögliche Reflexionsrichtungen der Monate Mai bis Juli, die aufgrund höherer Sonnenstände zu größeren Beleuchtungsstärken an



Zugführeragen führen können, treten ausschließlich außerhalb des maximalen Blickfeldes (grau abgegrenzt) auf.

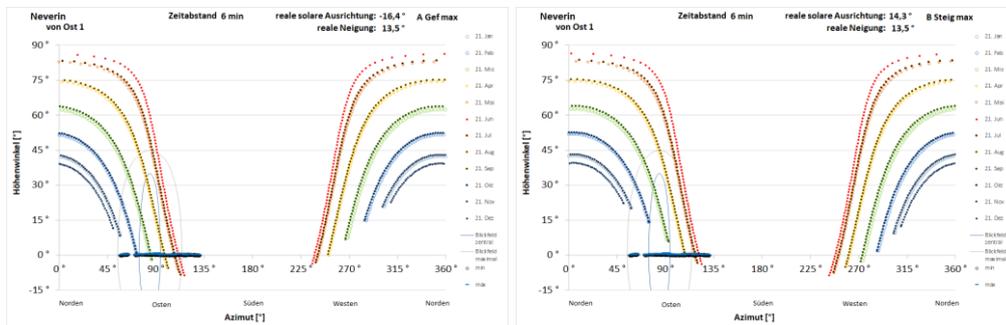


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für Punkt 1 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale

Bei minimal auftretender Ausrichtung ist das gesamte zentrale Blickfeld von möglichen Reflexionsrichtungen betroffen. Intensivere Reflexionen in den Sommermonaten treten aber nur außerhalb des zentralen Blickfeldes auf und sind zudem weitgehend durch beliebte Vegetation abgeschirmt.

Unabhängig von der abschirmenden Vegetation ist die Größe der reflektierenden Fläche außerhalb des zentralen Blickfeldes begrenzt durch einen Höhenwinkel von 0,5° und auch an dem noch am stärksten betroffenen Rand des zentralen Blickfeldes können die Reflexionen höchstens zu Beleuchtungsstärken an Zugführeragen von 700 lx führen bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 18.000 lx.

5.3.2 Punkt 2 von Osten

Am zweiten Punkt ergeben sich die Reflexionsdiagramme für die Extremfälle in Abbildung 14.

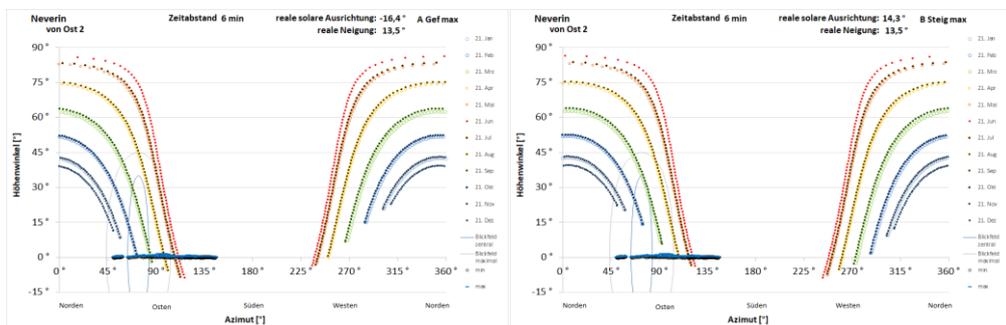


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für Punkt 2 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale

Das maximale Blickfeld von Zugführern ist bei maximaler Ausrichtung bereits gänzlich frei von Reflexionsrichtungen.



Bei minimal auftretender Ausrichtung treten intensivere Reflexionen in den Sommermonaten Mai bis Juli – unabhängig von weitgehender Abschirmung durch Vegetation – nur außerhalb des maximalen Blickfeldes auf.

Das zentrale Blickfeld, das weitgehend abgeschirmt ist durch Vegetation, kann unabhängig davon allenfalls von Reflexionen betroffen sein, die von Sonnenständen unterhalb von 5° herrühren. Dabei steht die Sonne selbst so dicht bei der reflektierenden Fläche, dass sie die absolut dominierende Quelle möglicher Blendung darstellt.

Sonnenstände über 6° können zu Reflexionen erst ab $12,7^\circ$ Abstand zur Blickachse führen. Unabhängig von der abschirmenden Vegetation nimmt die potenziell an Zugführeraugen durch Reflexionen bewirkte Beleuchtungsstärke mit dem Abstand zur Blickachse langsam zu, beginnend mit 330 lx und sich steigernd auf 1.150 lx am äußersten Rand des maximalen Blickfeldes bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 26.000 lx.

5.3.3 Punkt 3 von Osten

Am dritten Punkt ergeben sich die Reflexionsdiagramme für die Extremfälle in Abbildung 15.

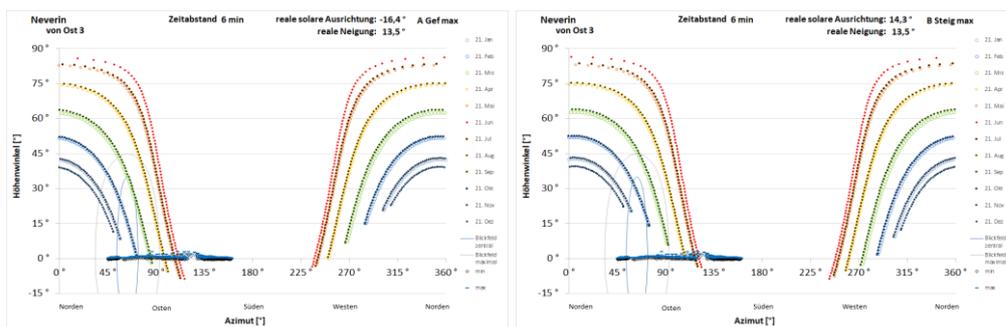


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für Punkt 3 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale

Tische mit positiver solarer Ausrichtung können bereits keinerlei Reflexionen mehr in das maximale Blickfeld von Zugführern richten, unabhängig von möglicher Abschirmung durch Vegetation. Im Falle der minimalen Ausrichtung beginnen mögliche Reflexionen frühestens bei einem Abstand zur Blickachse von 22° und können maximal zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von 750 lx führen bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 17.000 lx.

5.3.4 Weiterer Streckenverlauf aus Osten kommend

Ab Punkt 4 ist die Blickachse von Zugführern so weit von möglichen Reflexionsrichtungen entfernt, dass auch Tische mit minimal möglicher Ausrichtung keine Reflexionen mehr in das maximale Blickfeld richten können, wie das Reflexionsdiagramm in Abbildung 16 verdeutlicht.

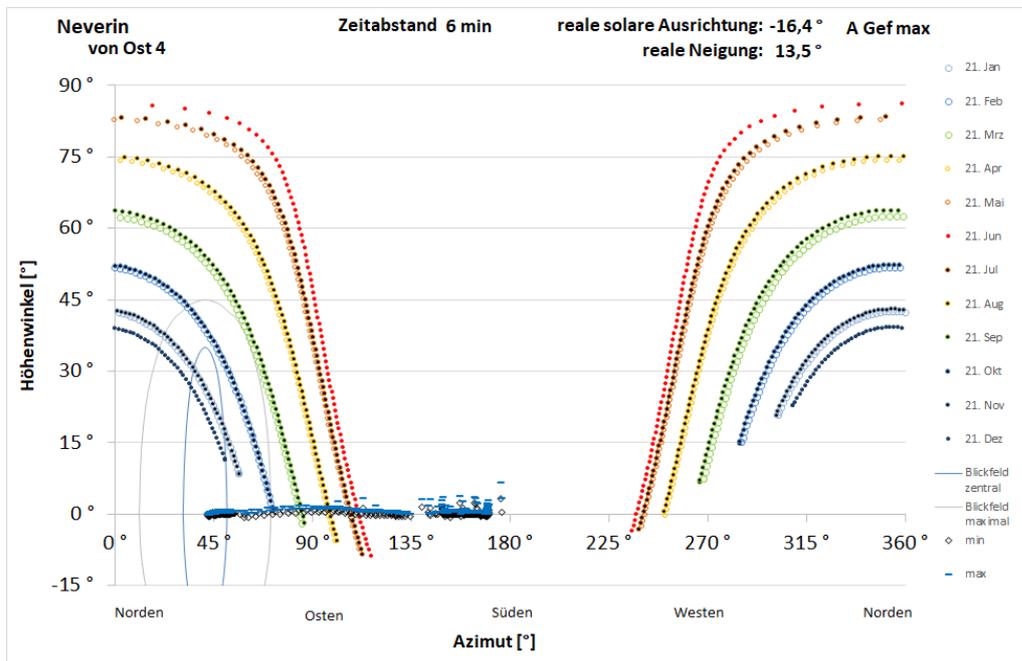


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für Punkt 4 der Bahnlinie aus Osten und für die minimal auftretende Ausrichtung

5.3.5 Gegenrichtung von Südwesten kommend

Zur Betrachtung der Gegenrichtung genügt es, den Punkt 7 mit entgegengesetzter Blickrichtung zu analysieren.

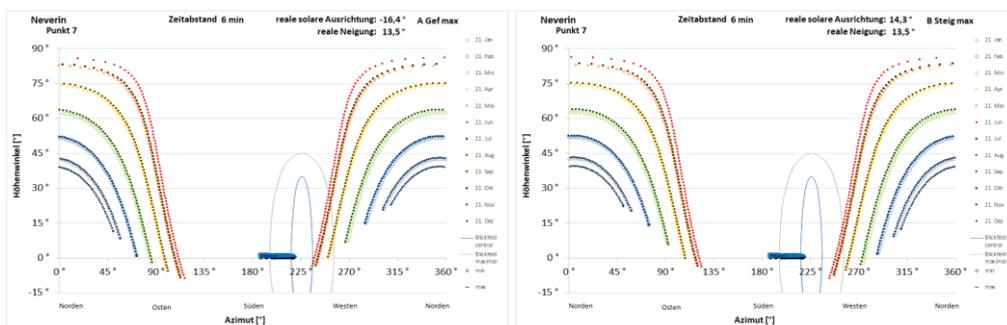


Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für Punkt 7 der Bahnlinie aus Südwesten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale

Die Reflexionsdiagramme für diesen Punkt in Fahrtrichtung Nordost für die Bandbreite möglicher Tischausrichtungen in Abbildung 17 zeigen, dass nur Tische rechts der Blickachse Reflexionen zu Zugführer Augen richten könnten. Sämtliche Tische liegen aber links der Bahnstrecke.



5.4 Wohnhäuser

Exemplarisch für die Wohnhäuser in Glocksin wird das höchstgelegene Fenster am östlichen Rand der Garten- und Ferienhäuser, das den geringsten Abstand zur Anlage hat, untersucht. In Abbildung 18 ist die genauere Lage dokumentiert.



Abbildung 18: Exemplarisch untersuchtes Haus durch roten Punkt markiert

Hier wurde nur die Fensteroberkante vermessen. Um einen ungünstigen Fall zu wählen, wird seine Breite mit 3 m angesetzt und seine Höhe mit 2 m. Mit diesen Maßen ergeben sich für Modultische der Anlagenfelder A und B die Reflexionsdiagramme in Abbildung 19.

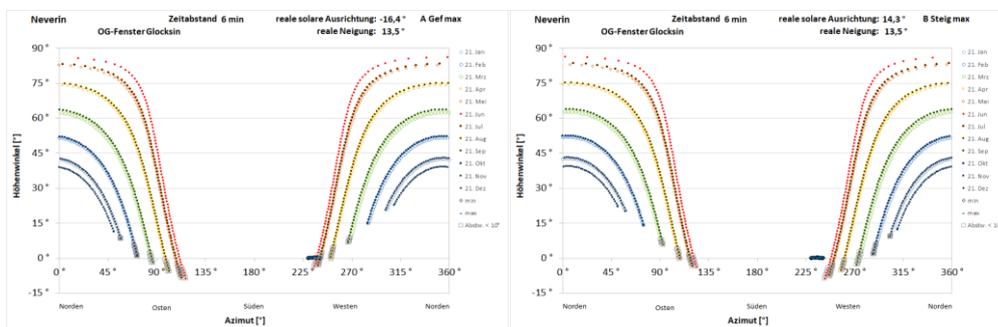


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für exemplarisch untersuchtes Fenster und Modultische der Felder A und B, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale



Sie zeigen, dass nur Tische mit starkem West-Ost-Gefälle überhaupt Reflexionen zu diesem Fenster richten können. Zur genaueren Betrachtung wird für den ungünstigsten Fall der relevante Ausschnitt des Reflexionsdiagramms vergrößert dargestellt in Abbildung 20.

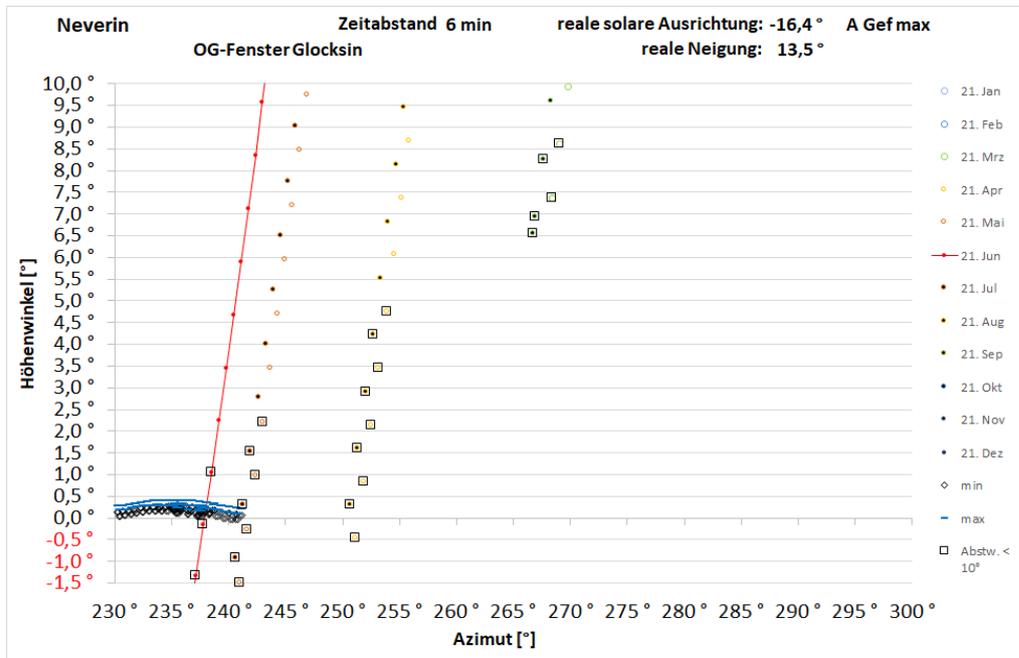


Abbildung 20: Detailausschnitt des linken Diagramms aus Abbildung 19; Reflexionen mit Abständen zur Sonne von unter 10° , die nach LAI-Richtlinie nicht als Immissionen gewertet werden, sind schwarz umrahmt

In diesem Diagramm wird ersichtlich, dass Reflexionen, sofern sie das Beispielfenster überhaupt treffen können, maximal für zwei Minuten an einem Tag zwischen 21. Mai und 21. Juli auftreten können, da der Abstand zwischen zwei Punkten einer Tagesganglinie 6 Minuten repräsentiert.

Drüber hinaus zeigt das Diagramm, dass selbst diese geringfügigen Reflexionen allenfalls zu Zeiten auftreten, in denen die Sonne selbst aus Sicht potenzieller Beobachter zur reflektierenden Stelle einen Abstand von weniger als 10° hat, so dass selbst diese Reflexionen keine Lichtimmissionen im Sinne der LAI-Richtlinie darstellen.

Für Feld C und die darin auftretende Bandbreite unterschiedlicher Tischneigungen mit daraus sich ergebenden Ausrichtungen und Neigungen sind die relevanten Ausschnitte der Reflexionsdiagramme dargestellt in Abbildung 21.

Sie zeigen, dass bei gefällebedingter negativer Ausrichtung potenzielle Reflexionen nahezu ausschließlich aus Abständen zur Sonne von weniger als 10° das Beispielfenster treffen können, und hangbedingte positive Tischausrichtungen den ungünstigsten Fall darstellen.

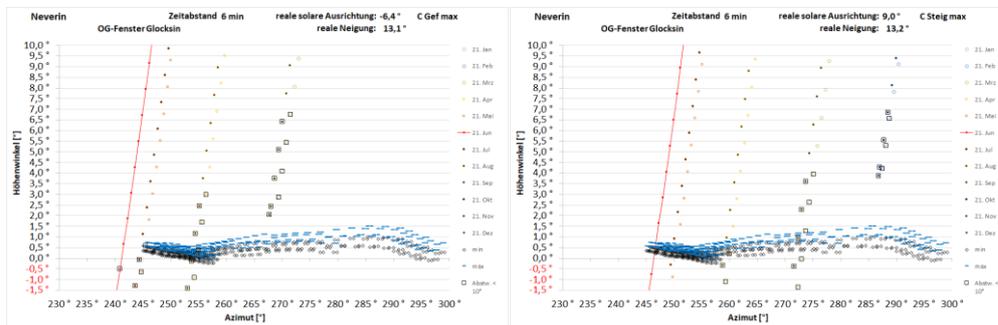


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für exemplarisch untersuchtes Fenster und Modultische von Feld C, links für minimal in Feld C auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale; Reflexionen mit Abständen zur Sonne von unter 10°, die nach LAI-Richtlinie nicht als Immissionen gewertet werden, sind schwarz umrahmt

Aber auch unter Annahme der ungünstigsten Ausrichtung aller Tische von Feld C (rechtes Diagramm in Abbildung 21) überschreiten die Immissionszeiten an einem einzelnen Tag nicht 6 Minuten. Die Obergrenze einer jährlich kumulierten Immissionszeit lässt sich mit 4 Monaten zu je 30 Tagen und durchschnittlich 6 Minuten abschätzen, woraus sich eine Dauer von 12 Stunden im gesamten Jahr ergeben würde.



6 Bewertung der Ergebnisse

6.1 Autobahn

Für die Autobahn wird festgestellt, dass alle möglichen Reflexionsrichtungen für beide Fahrrichtungen weit außerhalb des maximalen Blickfeldes von Fahrzeugführern bis 30° rechts und links der Blickachse liegen.

Ein Blendrisiko kann damit auf der gesamten Autobahn a 20 ausgeschlossen werden.

Auf den beiden Parkplätzen entspricht die Hauptfahrtrichtung den zugehörigen Autobahnfahrspuren, so dass auch hier keine Reflexionen in das maximale Blickfeld von Fahrzeugführer gerichtet sein können. Wo auf den Parkplätzen von dieser Fahrtrichtung abgewichen wird, etwa zum Einparken, und damit Reflexionen in den äußeren Randbereich des maximalen Blickfeldes gelangen könnten, sind diese Reflexionen nicht verkehrsrelevant wegen der geringen Fahrgeschwindigkeit, die eine sofortige Reaktion auf etwaige Irritationen ermöglicht.

Auf den jeweiligen Beschleunigungsstreifen beim Verlassen eines Parkplatzes entspricht die Hauptblickrichtung ebenfalls der der Fahrbahn und die Beobachtung des rückwärtigen Verkehrs im Rückspiegel erfolgt in der Blickrichtung der Gegenfahrbahn, so dass auch sie blendfrei gewährleistet ist.

Für Straßenverkehrsteilnehmer kann damit zu keinem Zeitpunkt im Jahr ein die Verkehrssicherheit beeinträchtigendes Blendrisiko von der geplanten Anlage ausgehen.

6.2 Bahnlinie

Für die Bahnlinie wird festgestellt, dass aus westlicher Richtung kommende Züge von keinerlei Reflexionen betroffen sein können.

Zugführer in der Gegenrichtung sind im Osten der Anlage durch die Vegetation, die sich im Südosten der Anlage bis kurz vor der Autobahn erstreckt, weitgehend abgeschirmt. Um partielle Lücken oder nicht überall ausreichende Vegetationshöhe zur vollständigen Abschirmung ebenso zu berücksichtigen wie reduzierte Abschirmung in der unbelaubten Vegetationsperiode, wird in einer Zusatzbetrachtung festgestellt, dass das zentrale Blickfeld von Zugführern bis 10° rechts und links der Blickachse auch unter den ungünstigsten Bedingungen allenfalls bis 250 m vor der Anlage an seinem äußersten Rand von Reflexionen betroffen sein kann, die zu Beleuchtungsstärken von 700 lx an Zugführeraugen führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 18.000 lx. Dies stellt keinerlei Blendrisiko dar.

Danach treten allenfalls noch Reflexionen einer so niedrig über der reflektierenden Fläche stehender Sonne auf, dass sie angesichts der Dominanz der Sonnenblendung keine eigenständige Blendwirkung entfalten können.



Bedingt durch die Änderung der Gleisrichtung und damit der Blickrichtung südöstlich der Anlage ist im weiteren Streckenverlauf keinerlei Reflexion mehr in das maximale Blickfeld von Zugführern bis 30° rechts oder links der Blickachse möglich.

Eine die Verkehrssicherheit beeinträchtigende Blendung von Zugführern durch Reflexionen der Anlage kann damit ausgeschlossen werden.

6.3 Glocksins

Anhand eines der der Anlage nächstgelegenen Garten- oder Ferienhauses von Glocksins wird festgestellt, dass auch unter Annahme ungünstigster Umstände Immissionszeiten von maximal 6 Minuten täglich bzw. 12 Stunden kumuliert über das Jahr auftreten können.

Derart kurzzeitige Immissionen stellen keine nennenswerte Beeinträchtigung dar und für die noch deutlich weiter entfernt liegenden Wohnhäuser von Glocksins kann damit auch jedes Belästigungspotenzial ausgeschlossen werden.



7 Verwendete Materialien

7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Lageplan mit vermessenen Höhen als Datei 21170LAG_LHP_26.11.21.dwg
Belegungsplan als Datei 211221_Neverin Final 22.12.2021.dwg

7.2 Literatur

- ▶ 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; <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20170/Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf?command=downloadContent&filename=Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf>
- ▶ 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 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen



8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (blau) zu beiden Seiten der Autobahn A 20 und nördlich der Bahnlinie Neubrandenburg-Friedland sowie der Ortschaft Glocksin auf Hintergrund von Google Earth Pro	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	11
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	13
Abbildung 5: Original Belegungsplan mit Lage der Modultischreihen (blau).....	14
Abbildung 6: Baufelder A, B und C, Modulreihen blau, Höhenlinien im 0,5-m-Abstand braun, farblich hervorgehoben die Höhenlinien für 75 m (violett), 73 m (blau), 71 m (grün), 70 m (gelb), 69 m (orange) und 67 m (rot)	16
Abbildung 7: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	18
Abbildung 8: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes eines Modultisches auf ebenem Grund mit einer Ausrichtung von $-1,2^{\circ}$ und einer Modulneigung von $13,0^{\circ}$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel.....	19
Abbildung 9: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen von der durchschnittlichen West-Ost-Neigung der Tische; links für maximales Gefälle und die sich daraus ergebende Ausrichtung von $-16,4^{\circ}$ mit $13,5^{\circ}$ Neigung und rechts für maximale Steigung und resultierende Ausrichtung von $+14,3^{\circ}$ mit ebenfalls $13,5^{\circ}$ Neigung	20
Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	20
Abbildung 11: Azimutbereiche reflexionsfreier Höhenwinkel bis 15° grün umgrenzt für beide Extremfälle möglicher Tischausrichtungen im gesamten Solarpark, links im Reflexionsdiagramm für die minimal auftretende Ausrichtung von $-16,4^{\circ}$ und rechts für maximal auftretende Ausrichtung von $+14,3^{\circ}$	21
Abbildung 12: Exemplarisch untersuchte Punkte für aus Osten kommende Züge markiert als lila Kreise, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert als vO1 bis vO7; vermessene Höhen der Vegetation in grün	22
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für Punkt 1 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale	23



Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für Punkt 2 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale	23
Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für Punkt 3 der Bahnlinie aus Osten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale	24
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm für Punkt 4 der Bahnlinie aus Osten und für die minimal auftretende Ausrichtung	25
Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für Punkt 7 der Bahnlinie aus Südwesten, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale	25
Abbildung 18: Exemplarisch untersuchtes Haus durch roten Punkt markiert	26
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für exemplarisch untersuchtes Fenster und Modultische der Felder A und B, links für die minimal auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale.....	26
Abbildung 20: Detailausschnitt des linken Diagramms aus Abbildung 19; Reflexionen mit Abständen zur Sonne von unter 10°, die nach LAI-Richtlinie nicht als Immissionen gewertet werden, sind schwarz umrahmt	27
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für exemplarisch untersuchtes Fenster und Modultische von Feld C, links für minimal in Feld C auftretende Ausrichtung, rechts für die maximale; Reflexionen mit Abständen zur Sonne von unter 10°, die nach LAI-Richtlinie nicht als Immissionen gewertet werden, sind schwarz umrahmt	28



9 Tabellenverzeichnis

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

Tabelle 2: Feldweise aufgelistete Bandbreite sich hangbedingt ergebender Flächenorientierungen15