

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

## ► **Ganzlin-Süd**

# *Analyse der Reflexionswirkung einer Photovoltaikanlage*

### **Auftraggeber:**

Clenergy Global Projects GmbH  
Herr Stefan Brabant  
Willy-Brandt-Straße 23  
20457 Hamburg

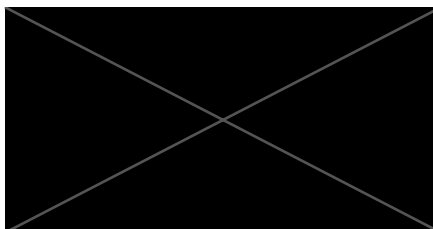
### **erstellt von:**



Solarpraxis Engineering GmbH  
Alboinstraße 36-42  
12103 Berlin Germany  
Tel. 030/ 726 296-396  
Fax. 030/ 726 296-360  
E-Mail:   
Internet: [www.solarpraxis.com](http://www.solarpraxis.com)

Datum: 21.12.2023

Berichtnummer: P230211-01





## 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
3.3	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen .....	10
3.4	Verwendete Azimut-Winkelangaben .....	11
4	Situation vor Ort .....	12
4.1	Die Photovoltaikanlage .....	12
4.2	Bahnlinie 6939 .....	13
4.3	Bundesstraße B 103 .....	13
5	Berechnungen .....	14
5.1	Methodik der Berechnung .....	14
5.1.1	Geometrische Aspekte .....	14
5.1.2	Lichttechnische Aspekte .....	17
5.2	Bahnlinie 6939 .....	17
5.2.1	Untersuchungspunkte .....	17
5.2.2	Südlicher Untersuchungspunkt .....	18
5.2.3	Mittlerer Untersuchungspunkt .....	19
5.2.4	Nördlicher Untersuchungspunkt .....	19
5.3	Bundesstraße B 103 .....	20
6	Bewertung der Ergebnisse .....	22
7	Verwendete Materialien .....	23
7.1	Dokumente vom Auftraggeber .....	23

7.2 Literatur..... 23

8 Abbildungsverzeichnis..... 24

9 Tabellenverzeichnis ..... 26





## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll geprüft werden, ob von den Modulen der geplanten PV-Anlage Ganzlin-Süd Sonnenlicht zu Verkehrsteilnehmern auf der westlich verlaufenden Bundesstraße B 103 oder Zugführern auf der Bahnlinie 6939 Meyenburg-Ganzlin reflektiert werden kann, und ob dadurch gegebenenfalls verkehrsgefährdende Blendwirkungen auftreten können.

Die Lage des Plangebietes südlich von Ganzlin und der Bundesstraße B 103 sowie der Bahnlinie ist in Abbildung 1 dargestellt.

Anschließend sind ggf. Maßnahmen zur Verhinderung von Blendungen aufzuzeigen. Die Analyse erfolgt auf Basis der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten und Fotos.

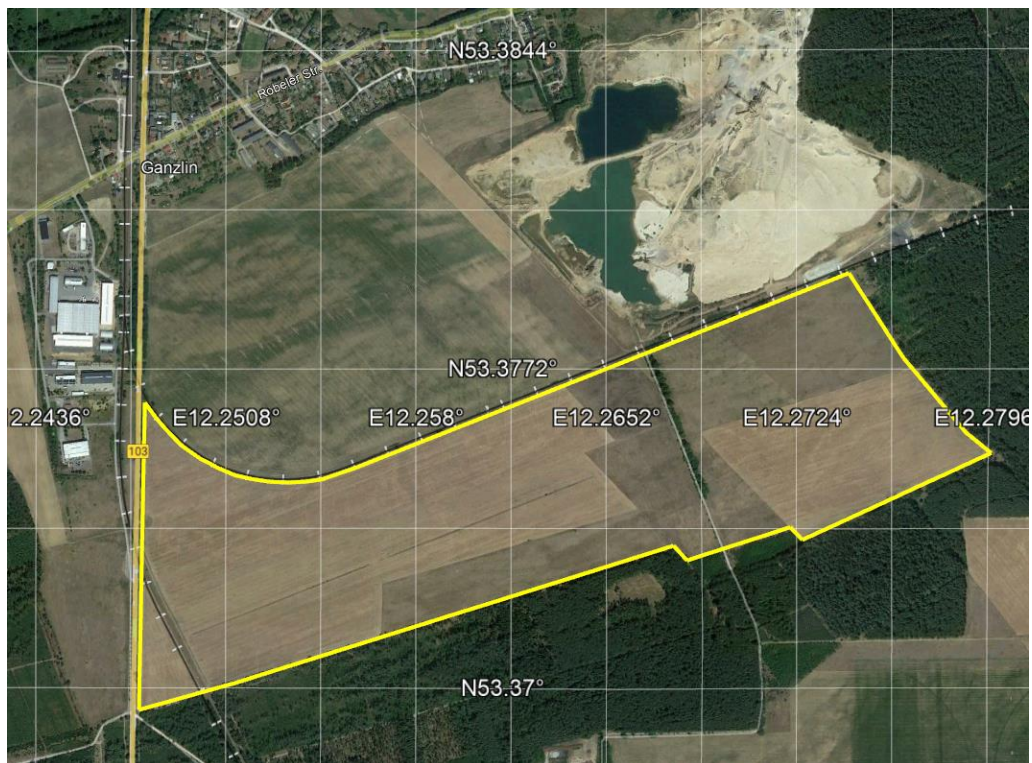


Abbildung 1: Lage des Plangebietes (gelb umrandet), der westlich davon verlaufenden Bundesstraße B 103 sowie der im Westen verlaufenden Bahnlinie, die das Plangebiet im Südwesten durchschneidet; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus Google Earth Pro



## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass auch ohne Berücksichtigung geplanter Sichtschutzwälle weder auf der Bundesstraße B 103 noch auf der Bahnlinie 6939 in einer der beiden Fahrtrichtungen zu irgendeinem Zeitpunkt im Jahresverlauf Reflexionen der geplanten Anlage in das maximale Blickfeld von Fahrzeugführenden bis 30° rechts und links der Blickachse gerichtet sein können.

Damit ist jedes Blendrisiko ausgeschlossen.

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 berechtigte 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. Das Raumordnungsgesetz (ROG) in der seit Februar 2023 wirksamen Fassung beruht u. a. auf dem Grundsatz, den „räumlichen Erfordernissen für eine kostengünstige, sichere und umweltverträgliche Energieversorgung [...] Rechnung zu tragen.“

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

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

Durch die Privilegierung wird die Realisierung des Vorhabens in der Schutzgüterabwägung gegenüber anderen öffentlichen Belangen gestärkt. Durch die Zuweisung eines überragenden öffentlichen Interesses an der Errichtung und dem Betrieb von Erneuerbare-Energien-Anlagen in § 2 Erneuerbare-Energie-Gesetz (EEG 2023) setzen sich diese in der Regel gegen andere öffentliche Belange durch.



### 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“. Auch Lichtreflexionen zählen grundsätzlich zu diesen Immissionen. Es existiert aber keine diesbezügliche Immissionsschutz-Verordnung.

## 3.2 Blendung

Blendung ist in der DIN EN 12665 als "unangenehmer Sehzustand durch ungünstige Leuchtdichteverteilung oder zu hohe Kontraste" definiert. Die Leuchtdichte ist als Lichtstärke pro Fläche definiert ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) 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.<sup>1</sup> Normalerweise treten Abwehrreaktionen wie Blinzeln und Blickabwendung auf, ohne die eine thermische Schädigung der Netzhaut eintreten kann.

Abbildung 2 zeigt zwei Beispiele für Blendsituationen.<sup>2</sup> Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.

---

<sup>1</sup> Wittlich 2010

<sup>2</sup> 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.



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

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 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  $30^{\circ}$  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  $10^\circ$  nicht aktiv wahrgenommen und vom Gehirn verarbeitet. Dies entspricht einem bewusst wahrgenommenen Blickfeld von  $20^\circ$  auf der horizontalen Ebene.<sup>3 4</sup>

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	(maximales) Blickfeld	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

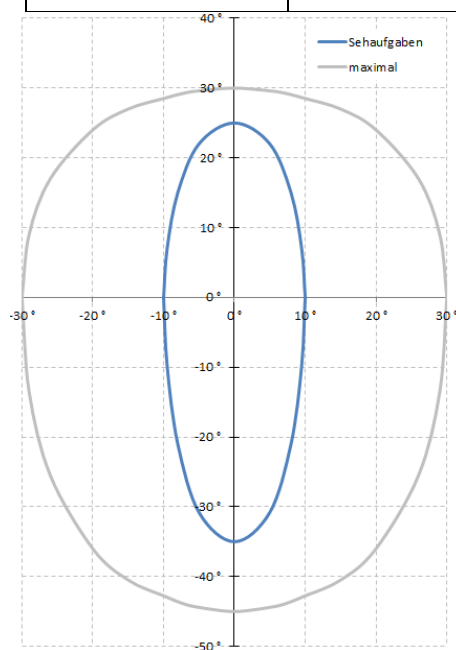


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt  $0^\circ/0^\circ$  stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion als Blendung empfunden wird, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je  $30^\circ$  rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu

<sup>3</sup> Reidenbach u. a. 2008

<sup>4</sup> Kaufmann 1986



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.<sup>5</sup> 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.<sup>6</sup>

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

---

<sup>5</sup> Reidenbach u. a. 2008

<sup>6</sup> Fischbach u.a. 2014



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.

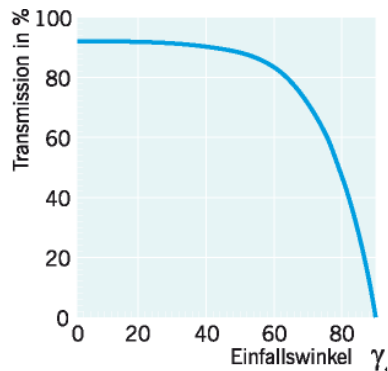


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

Die Transmission ist bei senkrechtem Einfall auf die Modulebene ( $0^\circ$ ) am größten. Mit zunehmendem Einfallswinkel sinkt die Transmission und die Reflexion am Glas steigt an. Als Beispiel beträgt der Transmissionsgrad bei einem Einfallswinkel von  $65^\circ$  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<sup>2</sup> beträgt und um die Mittagszeit  $1,5 \cdot 10^9$  cd/m<sup>2</sup> erreicht, muss aber auch bei den niedrigen Reflexionsgraden von Solarmodulen mit dem Eintritt von Absolutblendung ( $>10^5$  cd/m<sup>2</sup>) bei Beobachtern gerechnet werden.

### 3.4 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Häufig werden in der Solartechnik Azimutwinkel von Süden ( $=0^\circ$ ) aus angegeben, so dass üblicherweise eine Ostausrichtung mit  $-90^\circ$  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 im Folgenden die sich daraus ergebenden Azimutangaben verwendet:

Norden =  $0^\circ$ , Osten =  $90^\circ$ , Süden =  $180^\circ$  und Westen =  $270^\circ$



## 4 Situation vor Ort

### 4.1 Die Photovoltaikanlage

Gemäß dem Bebauungsplan Nr. 17 „Solarpark Ganzlin Süd I“ soll zunächst nicht das gesamte Plangebiet mit PV-Modultischen belegt werden, sondern nur der in Abbildung 5 abgegrenzte Bereich.

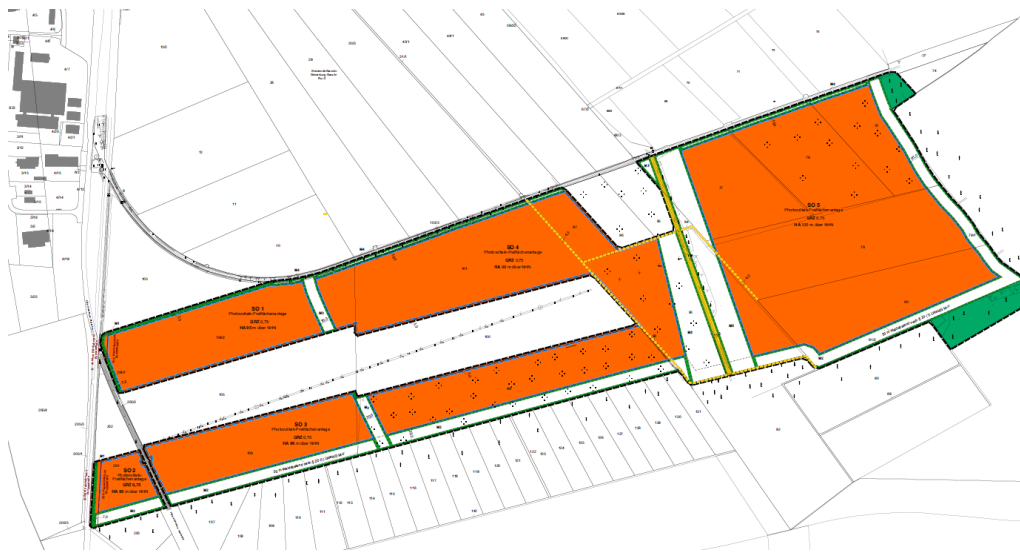


Abbildung 5: Zu belegende Teilflächen (orange) des Plangebiets gem. Vorentwurf zum Bebauungsplan Nr. 17 „Solarpark Ganzlin Süd I“ vom 21.8.2023

Es ist geplant, südlich ausgerichtete Tischreihen mit Neigungswinkeln zwischen  $15^\circ$  und  $25^\circ$  zu errichten. Die Konstruktionszeichnung in Abbildung 6 zeigt als Beispiel die Montage mit  $15^\circ$ .

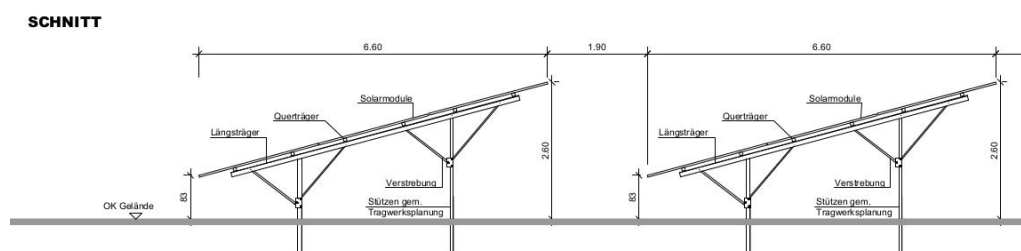


Abbildung 6: Seitlicher Schnitt der Tischreihen bei  $15^\circ$  Neigungswinkel

Je nach Neigungswinkel ergeben sich Höhen der Tischoberkanten zwischen 2,60 m und 3,72 m über Gelände.

Da die Plangrundlage im UTM-Koordinatensystem erstellt ist, ergibt sich mit einer Meridiankonvergenz von  $-2,2^\circ$  gegenüber geografisch Nord eine reale Planausrichtung von  $177,8^\circ$ .



Ein genauer Belegungsplan mit exakter Position der einzelnen Tische steht noch nicht fest. Der derzeitige Planungsstand ist dokumentiert in Abbildung 7.



Abbildung 7: Derzeitiger noch nicht endgültiger Belegungsplan mit blau eingezeichneten Modultischen

Das Gelände weist nur geringfügige Höhenunterschiede auf. Am westlichen Rand liegen die Geländehöhen zwischen 89,6 m üNN und 90,4 m üNN. Zum östlichen Rand steigt das Gelände mit einer durchschnittlichen Steigung von 0,2° geringfügig an auf maximal 95,9 m üNN. Die west-östlichen Querneigungen der einzelnen Tische sind so gering, dass sie die Ausrichtungen der reflektierenden Ebenen nur unwesentlich beeinflussen.

## 4.2 Bahnlinie 6939

Im Streckenabschnitt Meyenburg – Ganzlin führt die Bahnlinie Meyenburg – Ganzlin zwischen den Bahnkilometern 4,94 und 5,34 direkt an Belegungsflächen vorbei. Die Gleishöhe steigt von Nord nach Süd in diesem Bereich von 90 m üNN auf 91 m üNN und die Blickrichtung von Zugführenden wechselt von 182° allmählich zu 153°. Der mit Schranken versehene Bahnübergang der B 103 und die Signaleinrichtungen auf diesem Streckenabschnitt müssen für Zugführende gut sichtbar bleiben.

## 4.3 Bundesstraße B 103

Die B 103 führt von Nord nach Süd mit einer Blickrichtung von 181° im Westen an der geplanten Anlage vorbei mit einem geringfügigen Anstieg von 89,5 m üNN auf 90,5 m üNN.



## 5 Berechnungen

### 5.1 Methodik der Berechnung

#### 5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Ganzlin-Süd (geografische Länge 12,26°, Breite 53,37°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils für den 21. jeden Monats)<sup>7</sup> 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 potenziellen Reflexionspunktes heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt (siehe Abbildung 8). Mögliche Abweichungen der realen Reflexionen von den ideal gerichteten (durch Bündelaufweitung oder Versatz) werden im Rahmen der Einzelberechnungen und -bewertungen bei Bedarf durch Sicherheitszuschläge abgeschätzt.

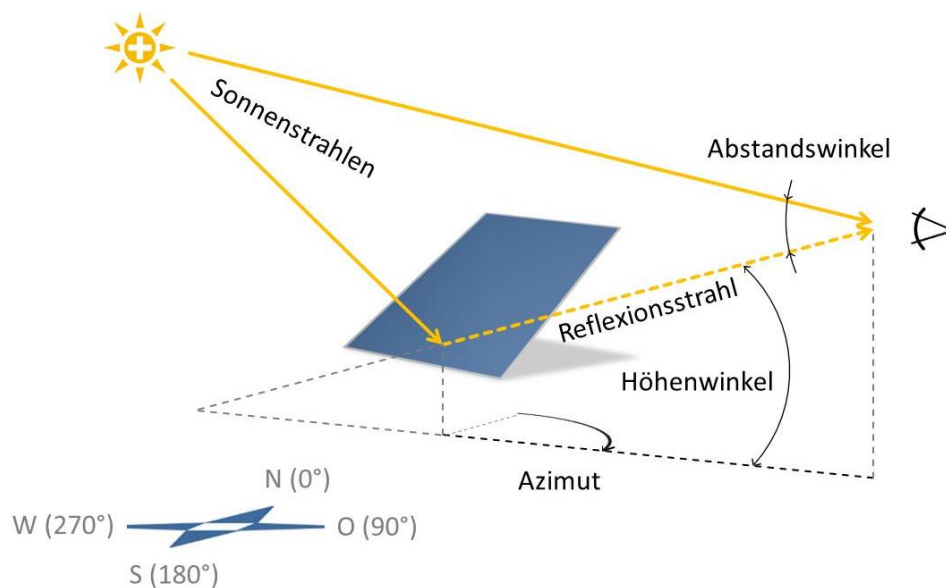


Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut- und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

<sup>7</sup> Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 8 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt der mit  $177,8^\circ$  Azimut ausgerichteten Modultische mit einer Modulneigung von  $15^\circ$  ergibt sich so das in Abbildung 9 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

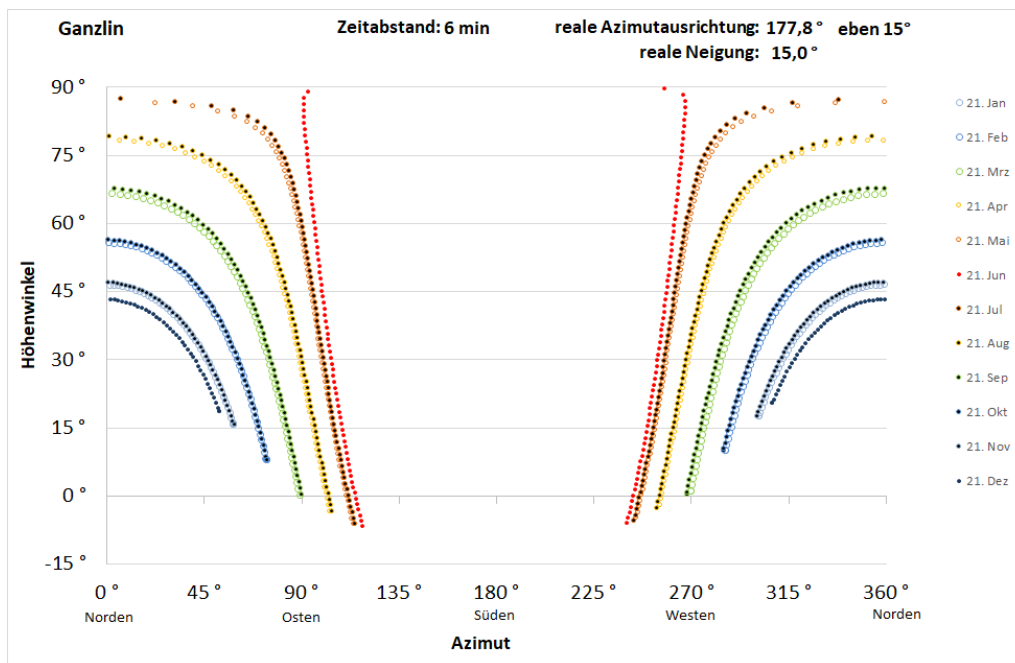


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit  $177,8^\circ$  Azimut ausgerichteten reflektierenden Ebene mit einer Neigung von  $15^\circ$  am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^\circ$ ) über Osten ( $90^\circ$ ), Süden ( $180^\circ$ ) nach Westen ( $270^\circ$ ), senkrecht die Höhenwinkel

Bei einer Modulneigung von  $25^\circ$  ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 10.

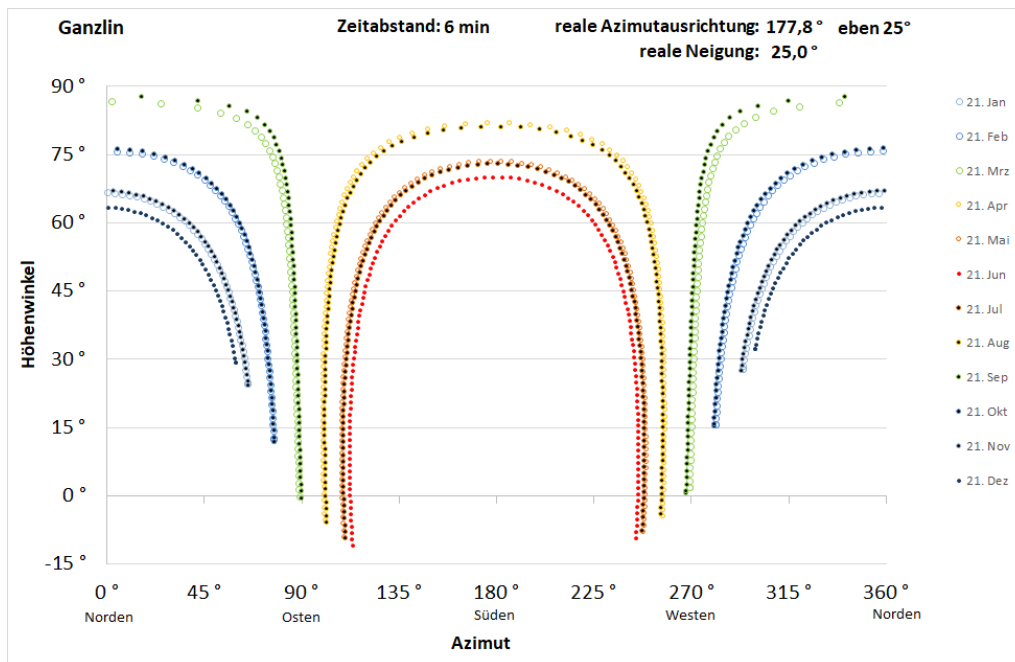


Abbildung 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit 177,8° Azimut ausgerichteten reflektierenden Ebene mit einer Neigung von 25° am Standort der Anlage

Liegen Blickpunkte mit ihren Kugelkoordinaten Azimut- und Höhenwinkel aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunktes innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember) im Reflexionsdiagramm, so können sie von Reflexionen betroffen sein und anhand des Diagramms 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.

Die Höhenwinkel zwischen Anlagenpunkt und Immissionsort können mehr oder weniger variieren, da Fahrzeugführer Augen unterschiedliche Höhen haben können.

Abbildung 11 verdeutlicht dies skizzenhaft für Kraftfahrzeugführer Augen: Maximale Höhenwinkel ergeben sich zu höchstmöglichen Fahrzeugführer Augen und minimale Höhenwinkel zu niedrigstmöglichen.

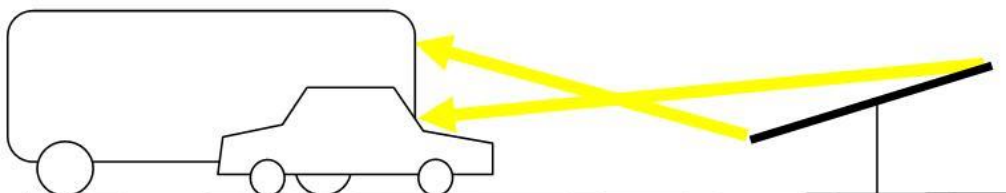


Abbildung 11: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel





Für den Straßenverkehr wird eine Spanne zwischen 1 m und 3 m über der Fahrbahn angesetzt, für Zugführende 2 m bis 4 m über dem Gleis.

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

In Fällen, in denen im Verkehr die Blickrichtung von Fahrzeugführenden durch die Streckenführung klar vorgegeben ist, kann auch der Bereich eingezeichnet werden, aus dem Reflexionen in das maximale oder zentrale Blickfeld der Fahrzeugführenden gerichtet wären. Dazu werden die in Abschnitt 3.2 erläuterten Blickfelder um die der Blickrichtung entgegengesetzte Richtung um 180° gedreht eingezeichnet, da das Reflexionsdiagramm aus Sicht der potenziellen Reflexionspunkte erstellt wird.

### 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 3.1).

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 Bahnlinie 6939

### 5.2.1 Untersuchungspunkte

Auf der Bahnlinie werden drei Punkte exemplarisch untersucht, deren Lage in Abbildung 12 dokumentiert ist.

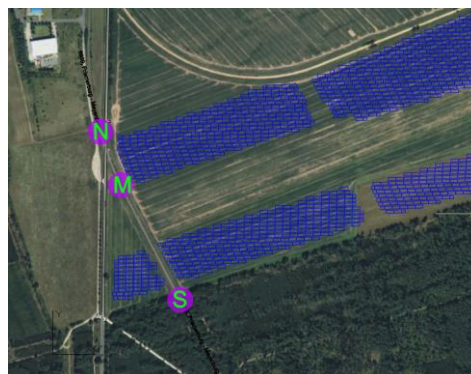


Abbildung 12: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnlinie, markiert als lila Kreise und benannt als S(üd), M(itte) und N(ord)



### 5.2.2 Südlicher Untersuchungspunkt

Als Reflexionsdiagramme für den südlichen Untersuchungspunkt ergeben sich bei 15° und 25° Neigung die Diagramme in Abbildung 13.

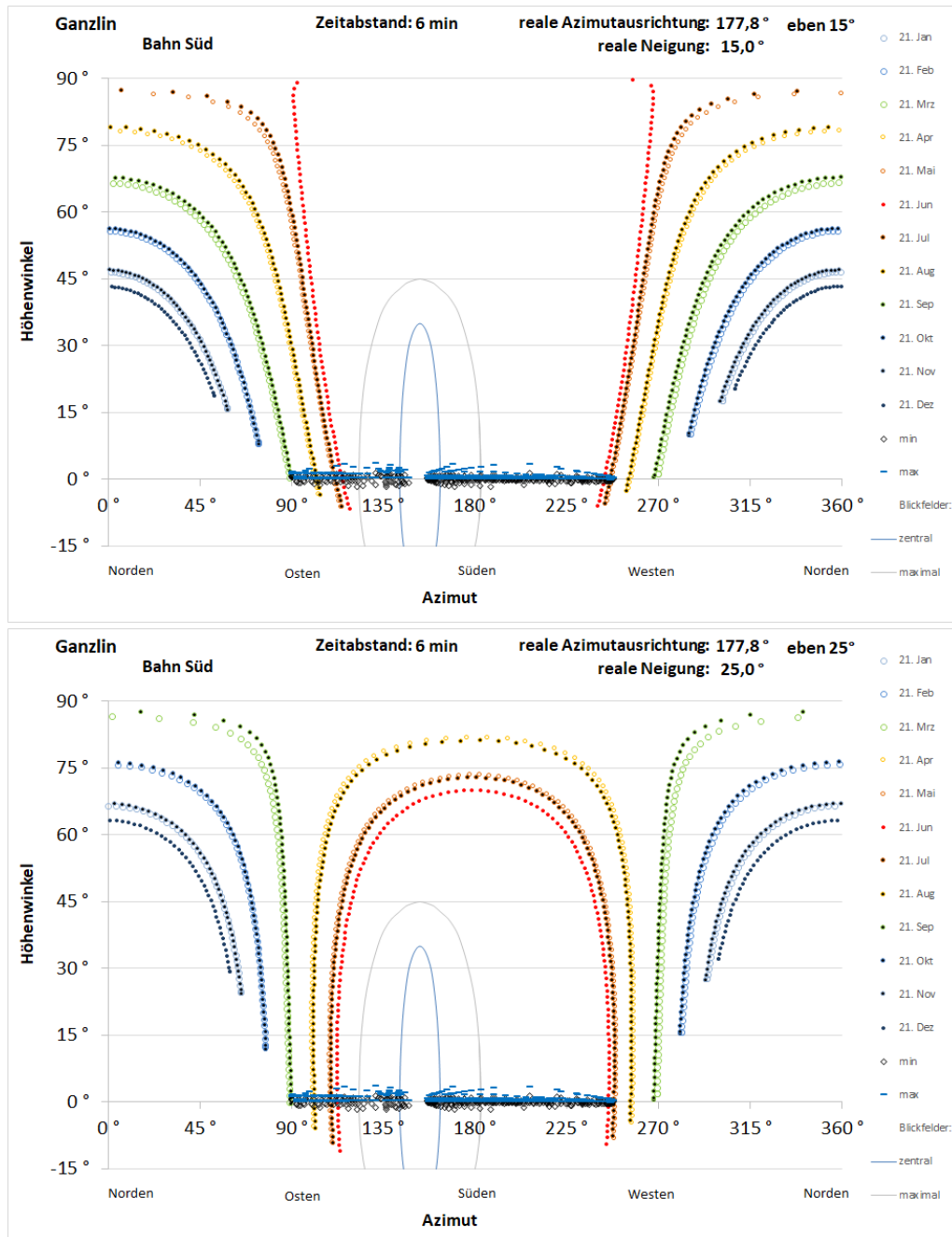


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für den südlichen Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (oben) und 25° Neigung (unten) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder, wie in Abschnitt 5.1.1 erläutert



Aus diesen Diagrammen wird ersichtlich, dass weder bei 15° Neigung noch bei 25° Reflexionen auftreten können, die in auch nur in das maximale Blickfeld von Zugführenden 30° rechts oder links der Blickachse gerichtet sein könnten.

### 5.2.3 Mittlerer Untersuchungspunkt

Bis zum mittleren Punkt auf der Bahnlinie ändern sich die Blickachse und damit auch das Blickfeld von Zugführenden aus Süden nicht. Erst hier schwenkt die Blickachse leicht nach rechts und es ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 14.

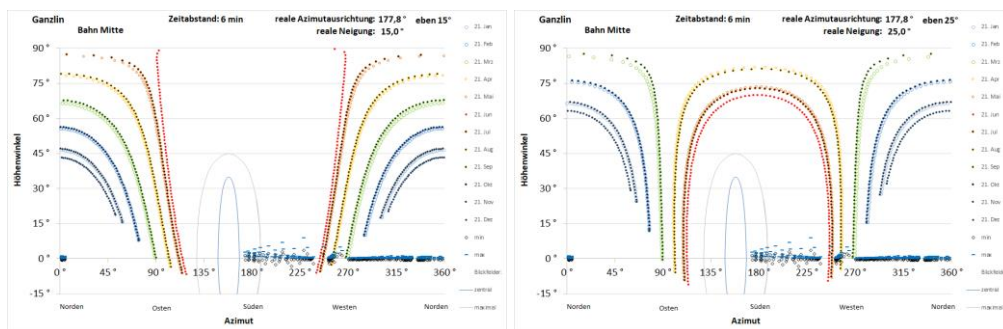


Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den mittleren Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Süden kommender Zugführender

In der Gegenrichtung ergeben sich für Zugführende aus Norden kommend die Diagramme in Abbildung 15.

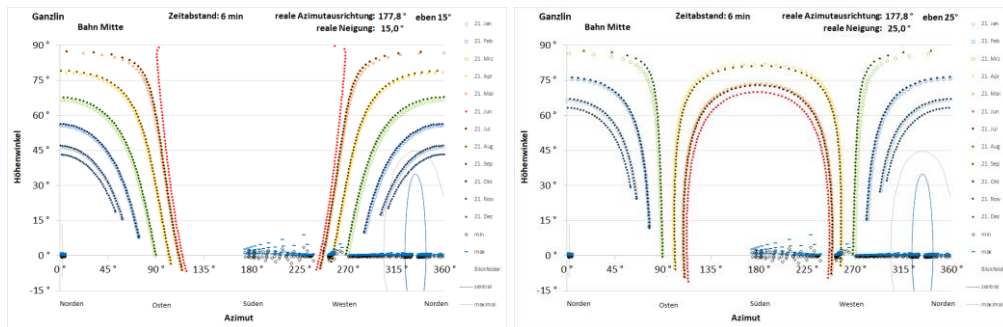


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für den mittleren Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Zugführender

In allen Fällen ist die Blickachse von Zugführenden so weit von möglichen Reflexionsrichtungen entfernt, dass auch die maximalen Blickfelder von keinerlei Reflexionen betroffen sein können.

### 5.2.4 Nördlicher Untersuchungspunkt

Am nördlichen Untersuchungspunkt ergeben sich für aus Norden kommende Zugführende die Reflexionsdiagramme in Abbildung 16.

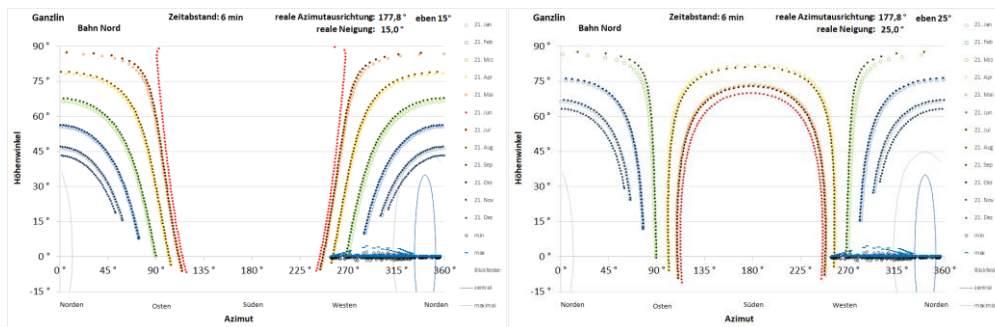


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für den nördlichen Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Zugführender

Auch hier ist die Blickachse von Zugführenden so weit von möglichen Reflexionsrichtungen entfernt, dass auch die maximalen Blickfelder von keinerlei Reflexionen betroffen sein können.

### 5.3 Bundesstraße B 103

Auf der Bundesstraße B 103 genügt es, wegen des nahezu gradlinigen Straßenverlaufs zwei Punkte exemplarisch zu untersuchen, deren Lage in Abbildung 17 dokumentiert ist.

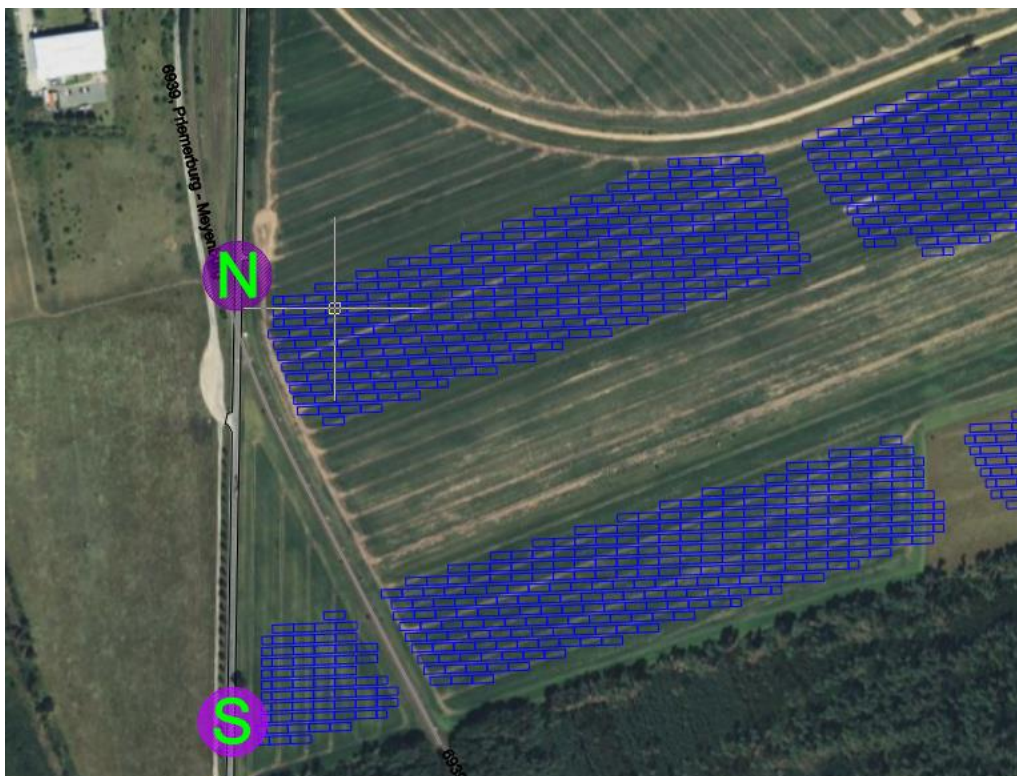


Abbildung 17: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bundesstraße B 103, markiert als lila Kreise und benannt als S(üd) und N(ord)



Als Reflexionsdiagramme für den südlichen Untersuchungspunkt ergeben sich bei 15° und 25° Neigung die Diagramme in Abbildung 18 und für den nördlichen diejenigen in Abbildung 19.

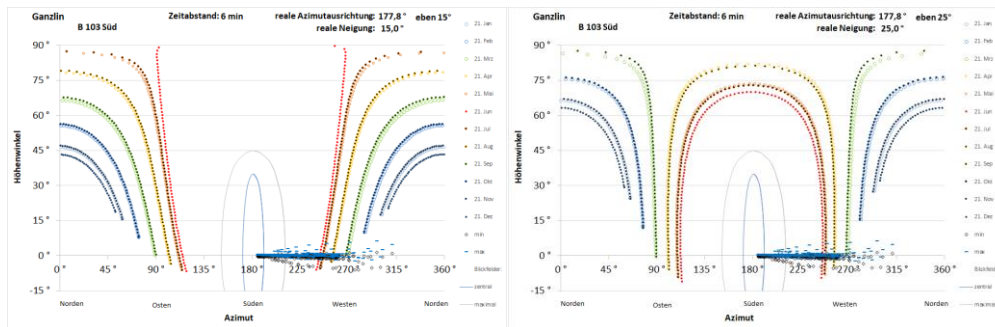


Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für den südlichen Punkt auf der Bundesstraße B 103 bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Süden kommender Fahrzeugführer

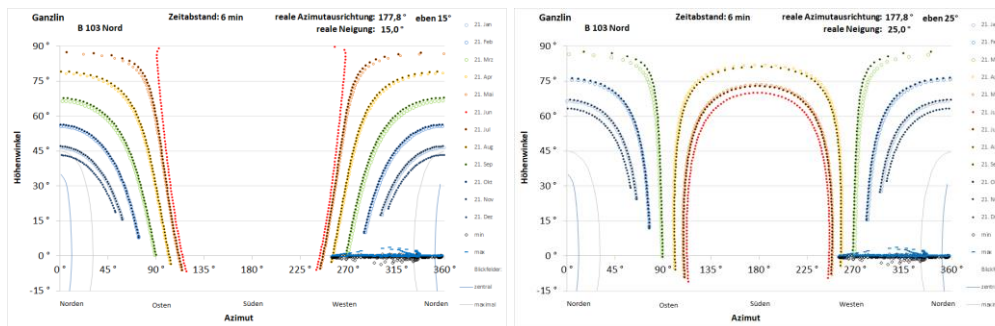


Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für den nördlichen Punkt auf der Bundesstraße B 103 bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Fahrzeugführer

In allen Fällen ist die Blickachse von Fahrzeugführern so weit von möglichen Reflexionsrichtungen entfernt, dass auch die maximalen Blickfelder von keinerlei Reflexionen betroffen sein können.



## 6 *Bewertung der Ergebnisse*

Es wird festgestellt, dass auch ohne Berücksichtigung geplanter Sichtschutzwälle weder auf der Bundesstraße B 103 noch auf der Bahnlinie 6939 in einer der beiden Fahrtrichtungen zu irgendeinem Zeitpunkt im Jahresverlauf Reflexionen der geplanten Anlage in das maximale Blickfeld von Fahrzeugführenden bis 30° rechts und links der Blickachse gerichtet sein können.

Damit ist jedes Blendrisiko ausgeschlossen.

Insbesondere sind

- ▶ für Zugführende alle Signale und der Bahnübergang, die alle im zentralen Blickfeld liegen, immer gut sichtbar und
- ▶ für Fahrzeugführende auf der Bundesstraße B 103 sind auch insbesondere der Bahnübergang mit seinen Schranken und Lichtsignalen immer gut sichtbar.

Zusätzliche Blendschutzmaßnahmen sind damit nicht erforderlich.



## 7 *Verwendete Materialien*

### 7.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan als Datei 230802-CKo-GZN.S-Layout-update.dwg
- ▶ Geländeplan mit vermessenen Höhen als Datei GeoP-GZN.S-UTM33-6-Aufmass-Bestand-Höhen-2.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: 2021-08 Tageslicht in Innenräumen – Teil 2: Grundlagen
- ▶ Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung; Deutsche Fassung EN 12665:2018, Ausgabe 2018-08



## 8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage des Plangebietes (gelb umrandet), der westlich davon verlaufenden Bundesstraße B 103 sowie der im Westen verlaufenden Bahnlinie, die das Plangebiet im Südwesten durchschneidet; Quelle: Kundenmaterial vor dem Hintergrund einer nach geografisch Nord ausgerichteten Luftbildkarte aus 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 .....	9
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser .....	11
Abbildung 5: Zu belegende Teilflächen (orange) des Plangebiets gem. Vorentwurf zum Bebauungsplan Nr. 17 „Solarpark Ganzlin Süd I“ vom 21.8.2023 .....	12
Abbildung 6: Seitlicher Schnitt der Tischreihen bei $15^{\circ}$ Neigungswinkel .....	12
Abbildung 7: Derzeitiger noch nicht endgültiger Belegungsplan mit blau eingezeichneten Modultischen .....	13
Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut- und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt.....	14
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit $177,8^{\circ}$ Azimut ausgerichteten reflektierenden Ebene mit einer Neigung von $15^{\circ}$ am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden ( $0^{\circ}$ ) über Osten ( $90^{\circ}$ ), Süden ( $180^{\circ}$ ) nach Westen ( $270^{\circ}$ ), senkrecht die Höhenwinkel .....	15
Abbildung 10: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Reflexionspunktes der mit $177,8^{\circ}$ Azimut ausgerichteten reflektierenden Ebene mit einer Neigung von $25^{\circ}$ am Standort der Anlage .....	16
Abbildung 11: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel .....	16
Abbildung 12: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bahnlinie, markiert als lila Kreise und benannt als S(üd), M(itte) und N(ord) .....	17
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für den südlichen Punkt auf der Bahnlinie bei $15^{\circ}$ (oben) und $25^{\circ}$ Neigung (unten) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder, wie in Abschnitt 5.1.1 erläutert ....	18
Abbildung 14: Reflexionsdiagramme für den mittleren Punkt auf der Bahnlinie bei $15^{\circ}$ (links) und $25^{\circ}$ Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Süden kommender Zugführender .....	19





Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für den mittleren Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Zugführender .....	19
Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für den nördlichen Punkt auf der Bahnlinie bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Zugführender .....	20
Abbildung 17: Exemplarisch gewählte Punkte auf der Bundesstraße B 103, markiert als lila Kreise und benannt als S(üd) und N(ord) .....	20
Abbildung 18: Reflexionsdiagramme für den südlichen Punkt auf der Bundesstraße B 103 bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Süden kommender Fahrzeugführender .....	21
Abbildung 19: Reflexionsdiagramme für den nördlichen Punkt auf der Bundesstraße B 103 bei 15° (links) und 25° Neigung (rechts) mit eingetragenen Bereichen für die Blickfelder aus Norden kommender Fahrzeugführender .....	21

## 9 Tabellenverzeichnis



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