

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

► **Oettelin**

Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage

Auftraggeber:

Enerparc AG
Büro Berlin
Herr Adrian Weigand
Spittelmarkt 11
10117 Berlin

erstellt von:

Wolfgang Rosenthal
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: 12.06.2020



Projektnummer: P20210/v.1



Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens	4
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	5
3	Einleitung	6
3.1	Blendung.....	6
3.2	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen	9
3.3	Verwendete Azimut-Winkelangaben	10
4	Situation vor Ort	11
4.1	Die Photovoltaikanlage	11
4.2	Die Bahnlinie.....	14
4.3	Die Schwaaner Straße	15
5	Berechnungen	17
5.1	Methodik der Berechnung	17
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	17
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	19
5.2	Bahnlinie von Nordost kommend	20
5.3	Bahnlinie von Südwest kommend	21
5.3.1	Erster Punkt aus Südwesten.....	22
5.3.2	Folgende Bahnstrecke.....	24
5.3.3	Gesonderte Betrachtung der beiden Tische mit extremem Gefälle.....	25
5.4	Schwaaner Straße	27
5.4.1	Fahrtrichtung Nordost	27
5.4.2	Fahrtrichtung Südwest.....	27
5.4.3	Kreuzungsbereich.....	28
6	Bewertung der Ergebnisse	31
7	Blendschutzmaßnahmen	32
8	Verwendete Materialien.....	34

8.1	Dokumente vom Auftraggeber	34
8.2	Literatur	34
9	Abbildungsverzeichnis	35
10	Tabellenverzeichnis	38





1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen der geplanten Photovoltaikanlage Oettelin westlich der Ortschaft Oettelin Sonnenlicht auf die Schwaaner Straße (K 14) südöstlich der Anlage oder die zwischen den beiden Anlagenteilen verlaufende Bahnlinie reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage der geplanten Anlage sowie der Straße und der Bahnlinie ist in Abbildung 1 zu erkennen.

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

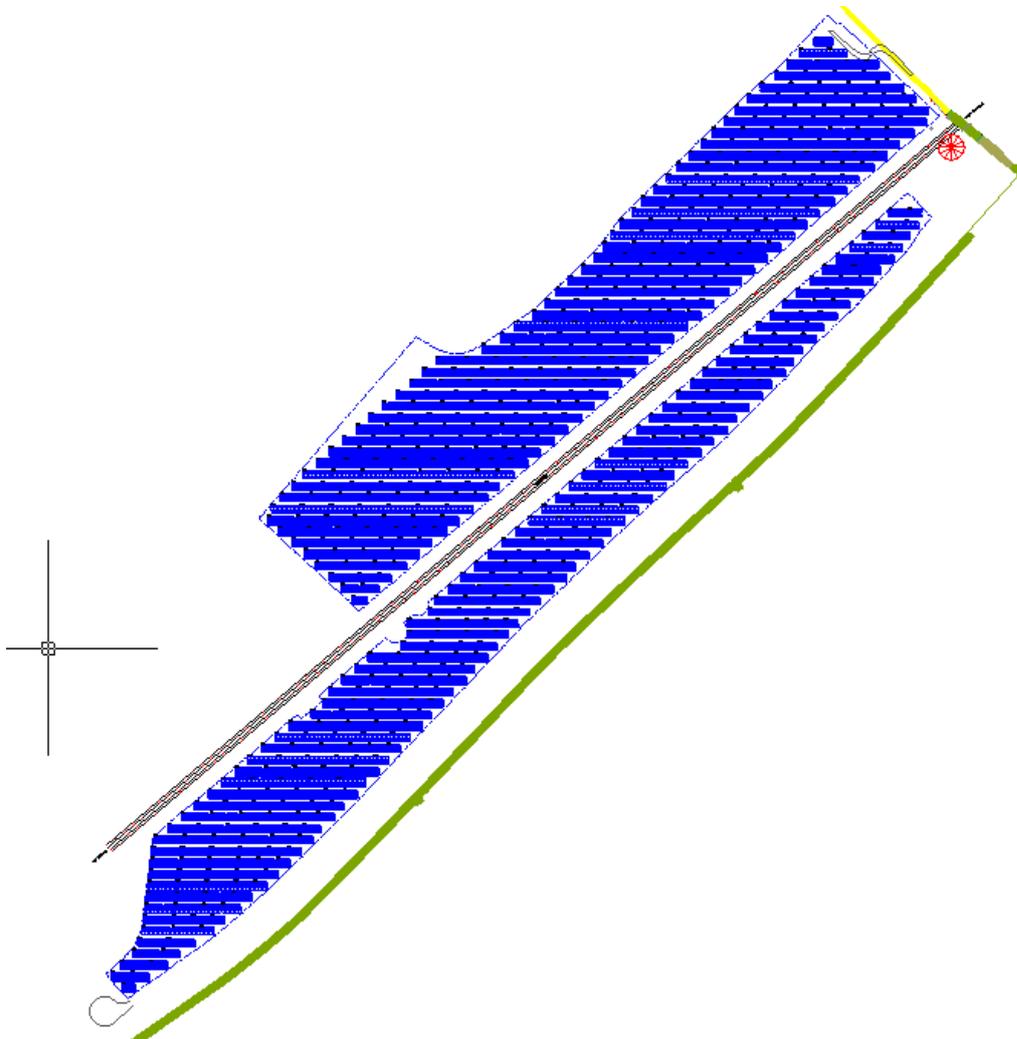


Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (Modulreihen blau) nordwestlich der Schwaaner Straße (grün) und beiderseits der Bahnlinie (grau)

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



2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass der Bereich der Einmündung der von Oettelin kommenden Hauptstraße in die Schwaaner Straße sowie das von dort über den Bahnübergang führende Straßenstück von Reflexionen der geplanten Anlage betroffen sein können, die ohne Blendschutz möglicherweise zu Verkehrsgefährdungen führen können.

Lage und Höhe eines Blendschutzes, der diese Risiken ausschließen kann, werden in Kapitel 7 bestimmt.

Weiterhin wird festgestellt, dass aus Südwesten kommende Zugführer in den Sommermonaten nach Durchfahren einer längeren von Wald umsäumten Strecke plötzlich mit großflächigen Reflexionen ab 16° Abstand zur Blickachse konfrontiert sein können. Diese Reflexionen beeinträchtigen zwar nicht das zentrale Blickfeld bis 10° Abstand zur Blickachse, in dem auch alle relevanten Hinweistafeln klar zu erkennen bleiben, ihr plötzliches Auftreten birgt aber die Gefahr einer unwillkürlichen Hinwendung des Blickes zur grellen Lichtquelle mit anschließender Sichtbeeinträchtigung mindestens durch großflächige Nachbilder in den Augen. Um auch diese eher indirekte Gefahrenquelle auszuschließen, wird empfohlen, Flächengröße und Intensität der ersten hinter dem Wald auftretenden Reflexionen durch einen Blendschutz zu reduzieren, dessen Lage und Höhe ebenfalls in Kapitel 7 dargelegt sind.

Für Fahrzeugführer auf allen anderen Strecken – Zugführer in südwestlicher Richtung und Straßenverkehrsteilnehmer auf der Schwaaner Straße südlich der Kreuzung – wird festgestellt, dass sie zu keinem Zeitpunkt im Jahr von Reflexionen im gesamten Blickfeld bis 30° Abstand zur Blickachse betroffen sein können.

Damit bestehen für sie keinerlei Blendrisiken und weitere Blendschutzmaßnahmen sind 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 B-Planes durch die Gemeinde an berechnete 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 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 (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 $1,6 \cdot 10^6 \text{ cd}/\text{m}^2$ wird die Adaptationsfähigkeit des menschlichen Auges überschritten. Dieser Zustand wird als Absolutblendung bezeichnet.¹ 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.²



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

¹ Wittlich 2010

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



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
- ▶ 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}

³ Reidenbach u. a. 2008

⁴ Kaufmann 1986



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

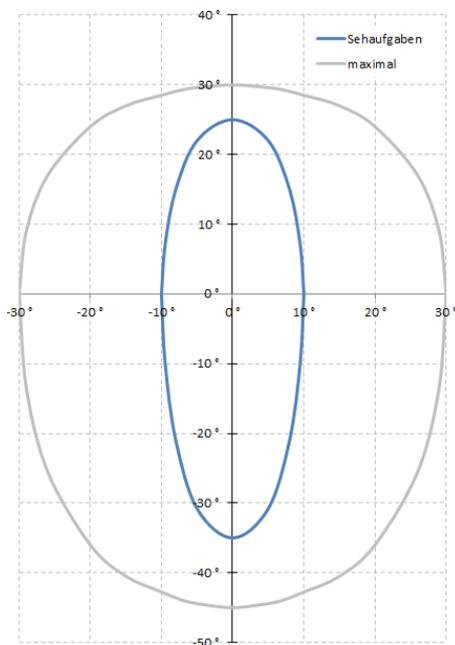


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1; der Achsenschnittpunkt $0^\circ/0^\circ$ stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion 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.⁵ Bei Einmündungen oder Kreuzungen muss ein größerer Blickbereich frei von Blendrisiken sein.

3.2 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.⁶

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.

⁵ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

⁶ Fischbach u.a. 2014

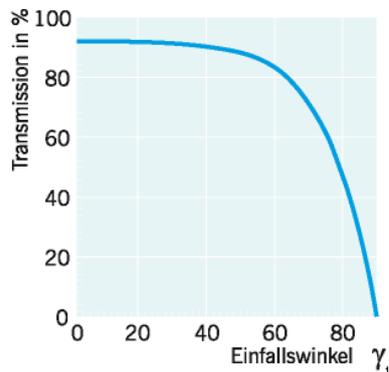


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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.

3.3 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. Nach diesem Belegungsplan weist die gradlinige Bahnstrecke eine Azimutrichtung von $49,34^\circ$ auf.

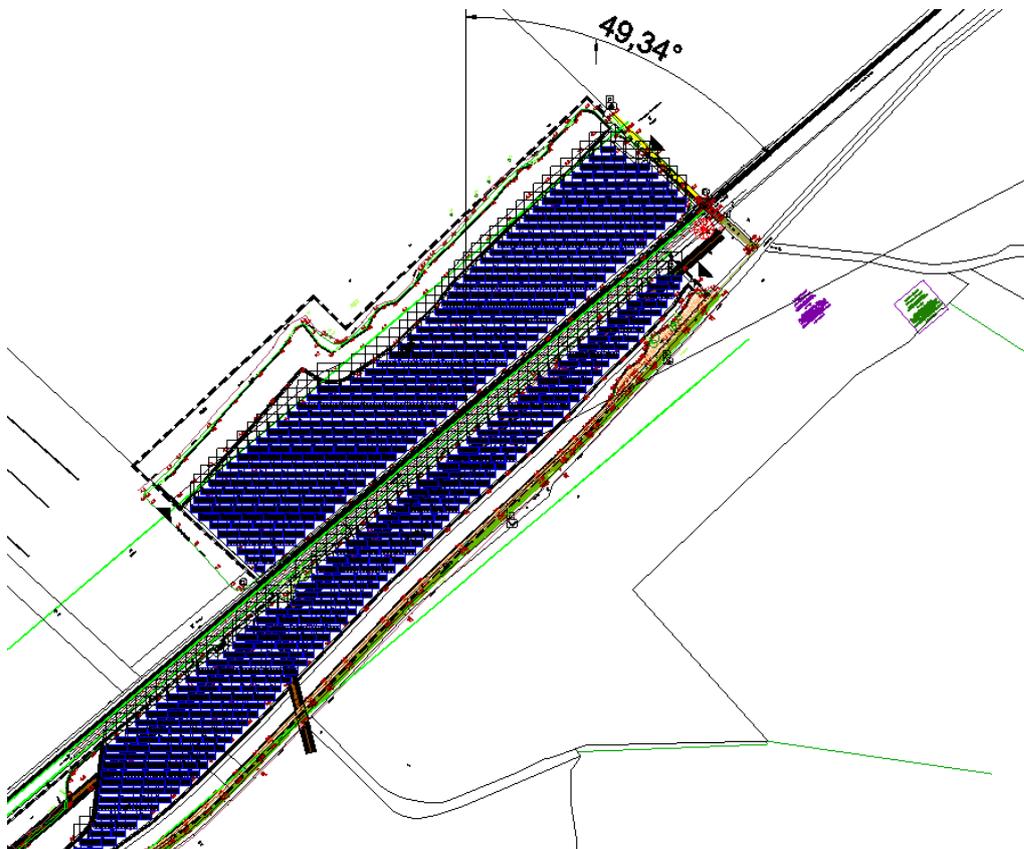


Abbildung 5: Original Belegungsplan mit Azimutrichtung der Bahnlinie von $49,34^\circ$

Für Sonnenstands- und Reflexionsberechnungen ist aber die genaue Ausrichtung nach geografisch Nord erforderlich. Diese Ausrichtung nach geografisch Nord bietet Google Earth (Abbildung 6) mit der Azimutangabe für die Bahnlinie von $47,04^\circ$. Deshalb wurde der Belegungsplan dieser Ausrichtung durch Drehung um $-2,3^\circ$ angepasst.

So ergibt sich bei Modultischen auf ebener Fläche eine Ausrichtung von $-2,3^\circ$.

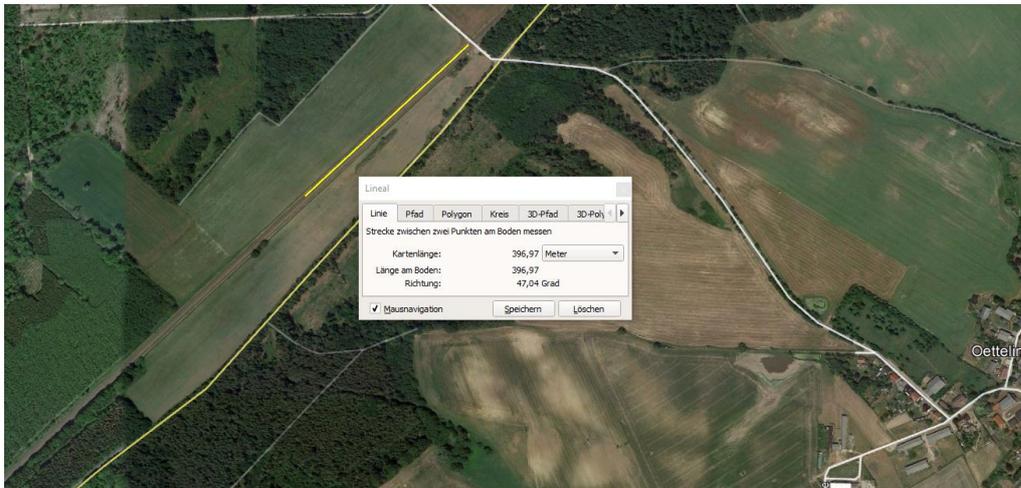


Abbildung 6: Azimut der Bahnstrecke nach Google Earth: 47,04°

Das Gelände, auf dem die Anlage errichtet werden soll, ist aber nicht ganz eben, sondern weist generell eine leichte Steigung von West nach Ost auf, wobei in einzelnen Bereichen auch ein West-Ost-Gefälle vorliegt. Die niedrigsten Punkte liegen an der nordwestlichen Kante bei 4,2 m ü. NN bis 4,5 m ü. NN, an der südöstlichen Kante betragen die Höhen zwischen 6 m ü. NN und 6,9 m ü. NN. Die West-Ost-Neigung jedes einzelnen Modultisches ist im Belegungsplan angegeben. Sie schwankt im nördlichen Teilfeld zwischen 1,3° Steigung und -0,4° Gefälle, im südlichen zwischen 1,8° Steigung und -2,2° Gefälle. Dieses relativ große Gefälle von -2,2° tritt allerdings nur bei den beiden westlichsten Tischen der Reihen 57 und 58, von Süden an gezählt, auf, während ansonsten das Tischgefälle maximal -0,8° beträgt. Die Lage dieser beiden Tische ist zur Verdeutlichung in Abbildung 7 gekennzeichnet.

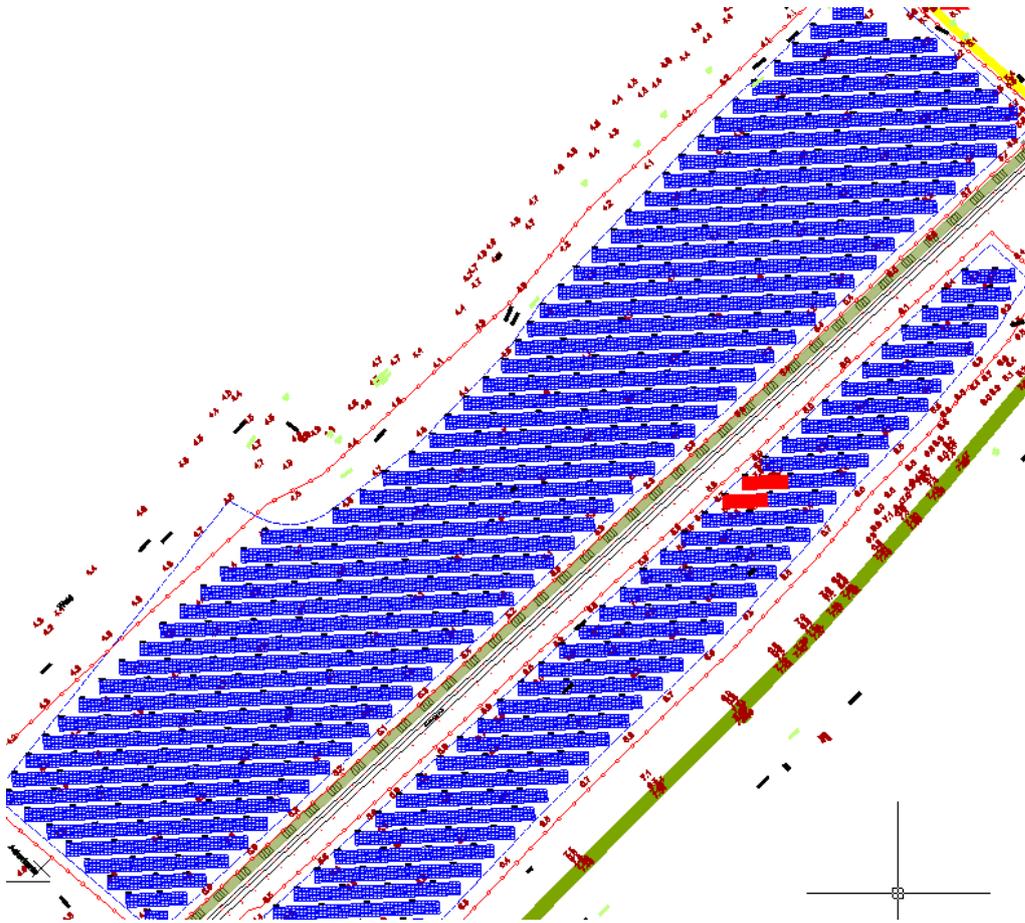


Abbildung 7: Tische mit extremem West-Ost-Gefälle durch rote Füllung gekennzeichnet

Wie die Konstruktionszeichnung der Tische in Abbildung 8 zeigt, beträgt die Modulneigung 20° . Die Unterkante der Module liegt 0,8 m über dem jeweiligen Grund und ihre Oberkante erreicht 2,87 m über Grund.

Die Neigung eines Modultisches in west-östlicher Richtung verändert die Orientierung der reflektierenden Ebene. Aus den oben genannten Maximalwerten für west-östliche Tischneigungen in den beiden Teilfeldern ergeben sich die Werte in Tabelle 2.

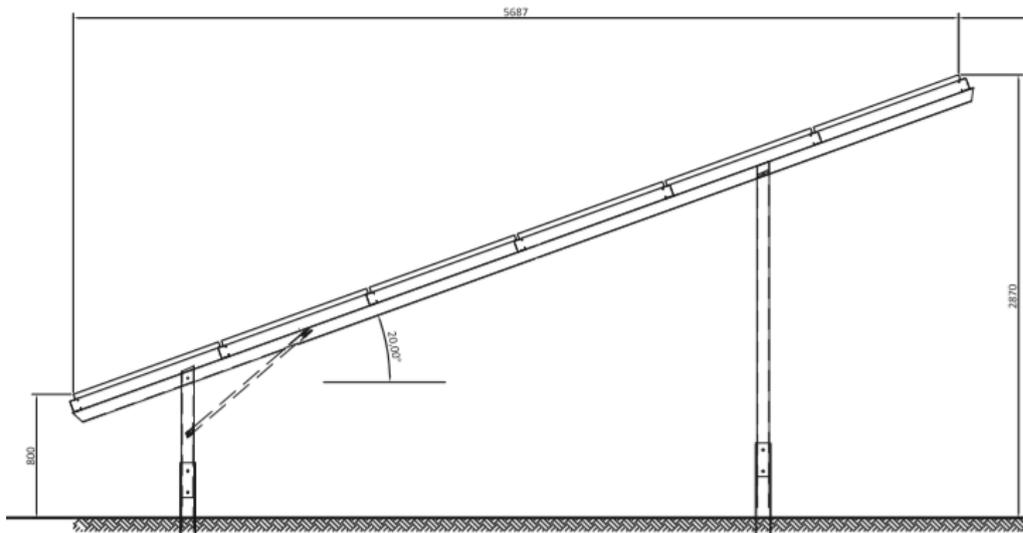


Abbildung 8: Seitlicher Schnitt durch eine Modulreihe

Tabelle 2: Bandbreite der Ausrichtungen und Neigungen in den beiden Teilfeldern

	West-Ost-Neigung	Reale Ausrichtung	Reale Neigung
Nordfeld maximales Gefälle	-0,4°	-3,5°	20°
Nordfeld maximale Steigung	1,3°	1,1°	20°
Südfeld extremes Gefälle	-2,2°	-8,5°	20,1°
Südfeld sonst maximales Gefälle	-0,8°	-4,6°	20°
Südfeld maximale Steigung	1,8°	2,5°	20,1°

Das maximale Gefälle im Nordfeld stellt damit etwa einen Mittelwert für alle auftretenden Tischneigungen dar.

4.2 Die Bahnlinie

Die zweigleisige Bahnstrecke verläuft gradlinig mit einer Azimutrichtung von 47,04° aus Südwesten von Bützow kommend nach Schwaan im Nordosten. Die Gleishöhe beträgt im Südwesten 5,9 m ü. NN und im Nordosten am Bahnübergang, der automatisch gesichert ist, 6,06 m ü. NN. Fotos des Bahnübergangs sind in Abbildung 9 dokumentiert.



Abbildung 9: Bahnübergang von Oettelin kommend (links) und Beschilderung aus Südwest (rechts)

4.3 Die Schwaaner Straße

Die Schwaaner Straße bzw. Kreisstraße K 14 verläuft von Südwest nach Nordost mit Azimutrichtungen zwischen $40,0^\circ$ und $52,4^\circ$ nach Nordost an der südöstlichen Kante des südlichen Baufeldes vorbei (s. Abbildung 10).



Abbildung 10: Verlauf der Schwaaner Straße (gelbe Linie) von Südwest nach Nordost am südöstlichen Rand des Anlagengeländes (braun) mit Verbindungsstraße von Oettelin kommend, die hinter der Schwaaner Straße zum Bahnübergang führt und dahinter in einen Feldweg übergeht; Quelle: Auftraggeber

Südlich der Südspitze der geplanten Anlage hat die Fahrbahn eine Höhe von $7,36$ m ü. NN, steigt dann über 156 m hinweg leicht auf $7,6$ m ü. NN und verbleibt danach mit geringfügigen Schwankungen etwa bei dieser Höhe. Ihre maximale Höhe liegt an der Nordspitze des südlichen Teilfeldes bei $7,84$ m ü. NN. An der Einmündung der von Oettelin kommenden Hauptstraße beträgt

die Höhe 7,78 m ü. NN. Das noch asphaltierte Straßenstück, das in Verlängerung der Hauptstraße zum Bahnübergang führt, fällt bis zum Bahnübergang auf 6,06 m ü. NN ab. Nordwestlich des Bahnübergangs endet der Asphaltbelag.





5 Berechnungen

5.1 Methodik der Berechnung

5.1.1 Geometrische Aspekte

Zunächst wird eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Oettelin (geografische Länge 12,04°, Breite 53,87°) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr erstellt (jeweils der 21. jeden Monats)⁷ 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 11). 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.

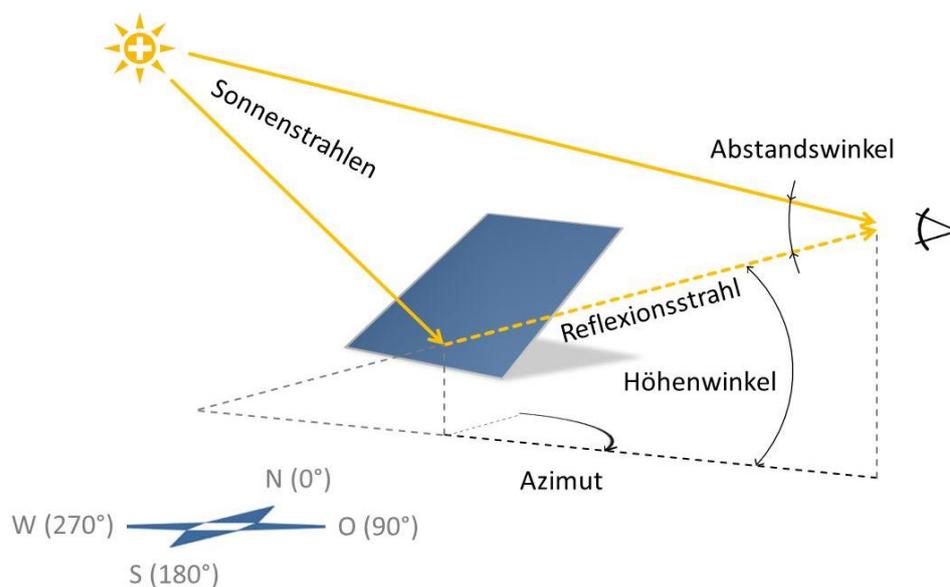


Abbildung 11: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt

⁷ Berechnung nach Eicker 2001



Ebenfalls in Abbildung 11 ist der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt beschrieben.

Für einen beliebigen Punkt eines durchschnittlich geneigten Modultisches, der wie in Abschnitt 4.1 hergeleitet im Nordfeld als Tisch mit maximalem Gefälle auftritt, mit einer Ausrichtung von $-3,5^\circ$ und 20° Neigung ergibt sich so das in Abbildung 12 dokumentierte Reflexionsdiagramm.

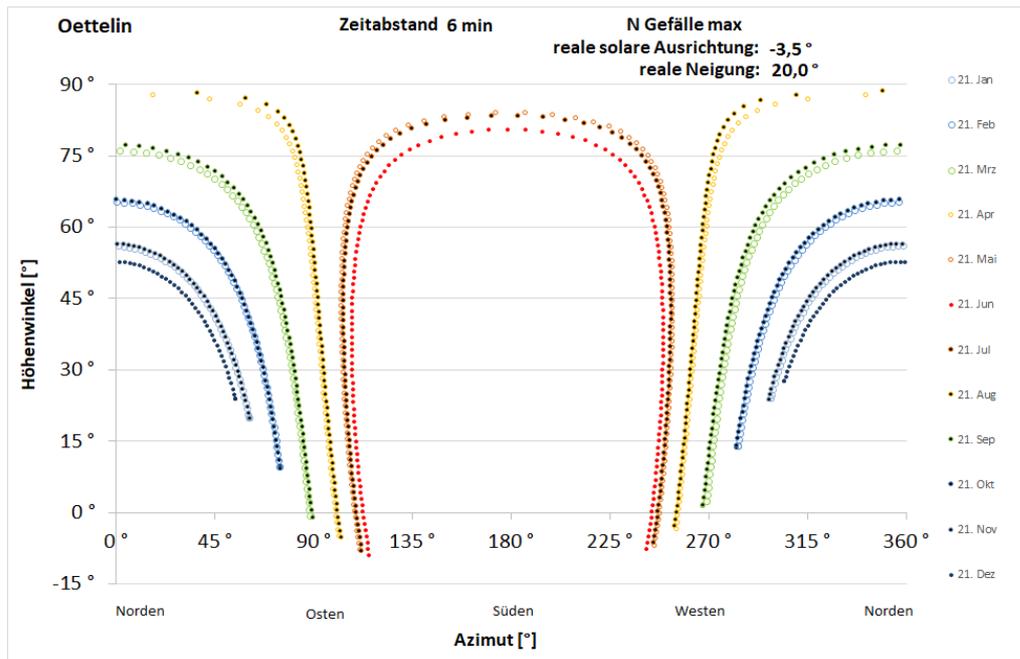


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich geneigter Module mit einer Ausrichtung von $-3,5^\circ$ und einer Modulneigung von 20° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel

In Abbildung 13 sind zum Vergleich die Reflexionsdiagramme dargestellt, die sich bei maximal in der Gesamtanlage auftretenden Abweichungen von der durchschnittlichen West-Ost-Neigung ergeben.

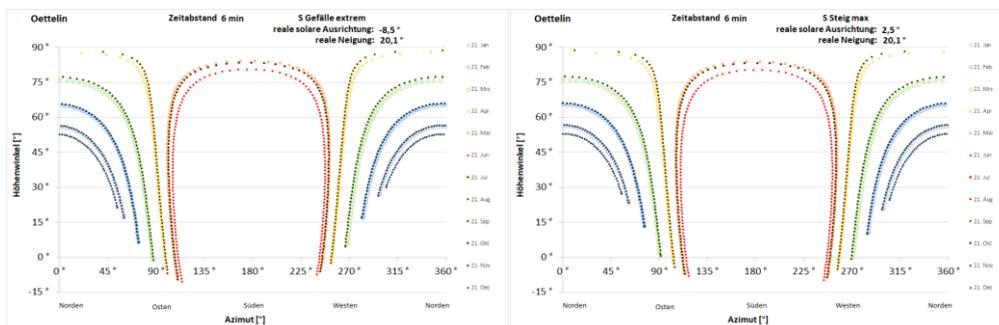


Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen von der durchschnittlichen West-Ost-Neigung der Tische; links für extremes Gefälle von nur 2 Tischen des Südfeldes und rechts für maximale Steigung

Liegt ein Blickpunkt innerhalb des betroffenen Bereichs (d.h. zwischen den Kurven für den 21. Juni und den 21. Dezember oder darüber) 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 14 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 zwischen 2 m und 4 m über Gleis angesetzt.

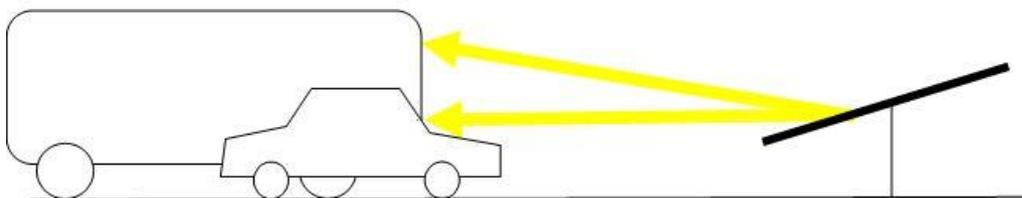


Abbildung 14: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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 3.1).

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

5.2 Bahnlinie von Nordost kommend

Für aus Nordosten kommende Züge wird exemplarisch der Bahnübergang zur Untersuchung herangezogen. Hier ergeben sich für das Nordfeld mit den darin auftretenden maximal unterschiedlichen Ausrichtungen die Reflexionsdiagramme in Abbildung 15.

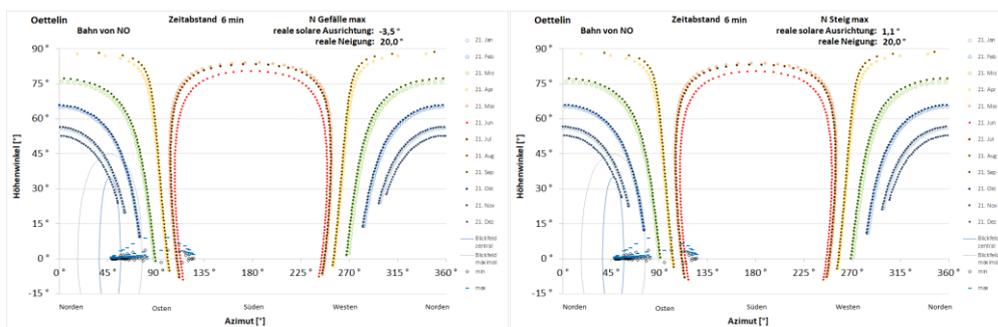


Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für aus Nordost kommende Zugführer am Bahnübergang und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme des maximal im Nordfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts)

Sie zeigen, dass innerhalb des maximalen Blickfeldes von Zugführern – bis 30° Abstand zur Blickachse, grau abgegrenzt im Diagramm – zu keinem Zeitpunkt im Jahr Reflexionen auftreten können.

Für das Südfeld und die darin auftretenden maximalen Ausrichtungsunterschiede ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 16. Auch hier können keinerlei Reflexionen auf Zugführeraugen auftreten.

Da sich im folgenden Streckenverlauf die Blickrichtung nicht ändert und auch die Höhenverhältnisse im Wesentlichen gleichbleiben, kann für alle aus Nordost kommenden Züge Reflexionsfreiheit im gesamten Blickfeld konstatiert werden.

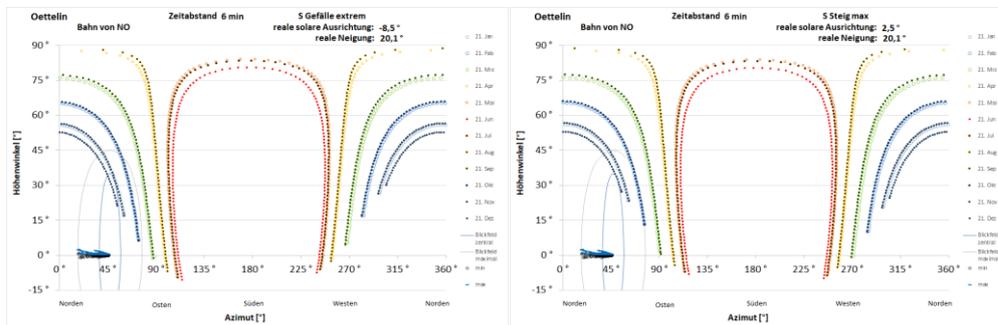


Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für aus Nordost kommende Zugführer am Bahnübergang und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme des maximal im Südfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts)

5.3 Bahnlinie von Südwest kommend

Für Züge, die aus Südwesten kommen, werden 8 Punkte zur Untersuchung ausgewählt, deren Lage in Abbildung 18 dokumentiert ist.

Für Reflexionen des Nordfeldes genügt eine exemplarische Untersuchung am Punkt 4. Die Reflexionsdiagramme für diesen Punkt sind in Abbildung 17 dargestellt.

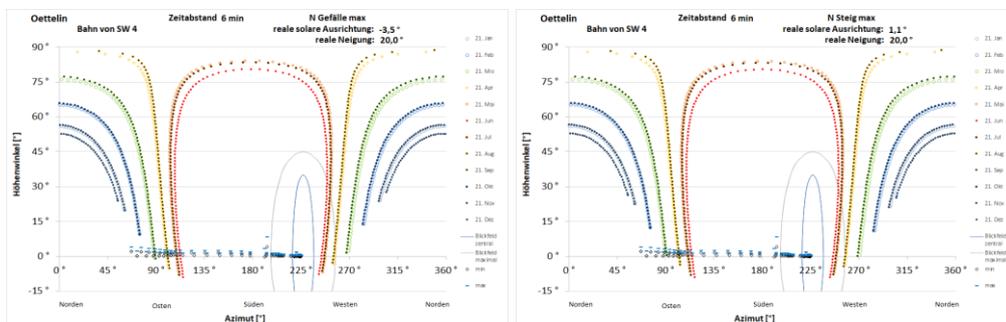


Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für aus Südwest kommende Zugführer am Punkt 4 und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme des maximal im Nordfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts)

Darin ist zu erkennen, dass geometrische Lage der Modultische und Reflexionsrichtungen innerhalb des maximalen Blickfeldes keinerlei Übereinstimmung haben. An der Blickrichtung ändert sich über die gesamte Strecke nichts, so dass Reflexionen des Nordfeldes in das Blickfeld von Zugführern, die aus Südwesten kommen, ausgeschlossen sind.

Anders verhält es sich mit Reflexionen des Südfeldes, die im Folgenden genauer untersucht werden müssen. Um die unterschiedlichen West-Ost-Neigungen der Modultische mit den daraus folgenden unterschiedlichen Ausrichtungen der jeweiligen reflektierenden Ebenen zu berücksichtigen, wird für die Reflexionsdiagramme einmal angenommen, dass alle Tische des Südfeldes die maximal im Feld



auftretende Steigung haben und einmal, dass alle Tische das maximale Gefälle, nicht aber das extreme Gefälle, dass nur bei zwei Tischen überhaupt auftritt.

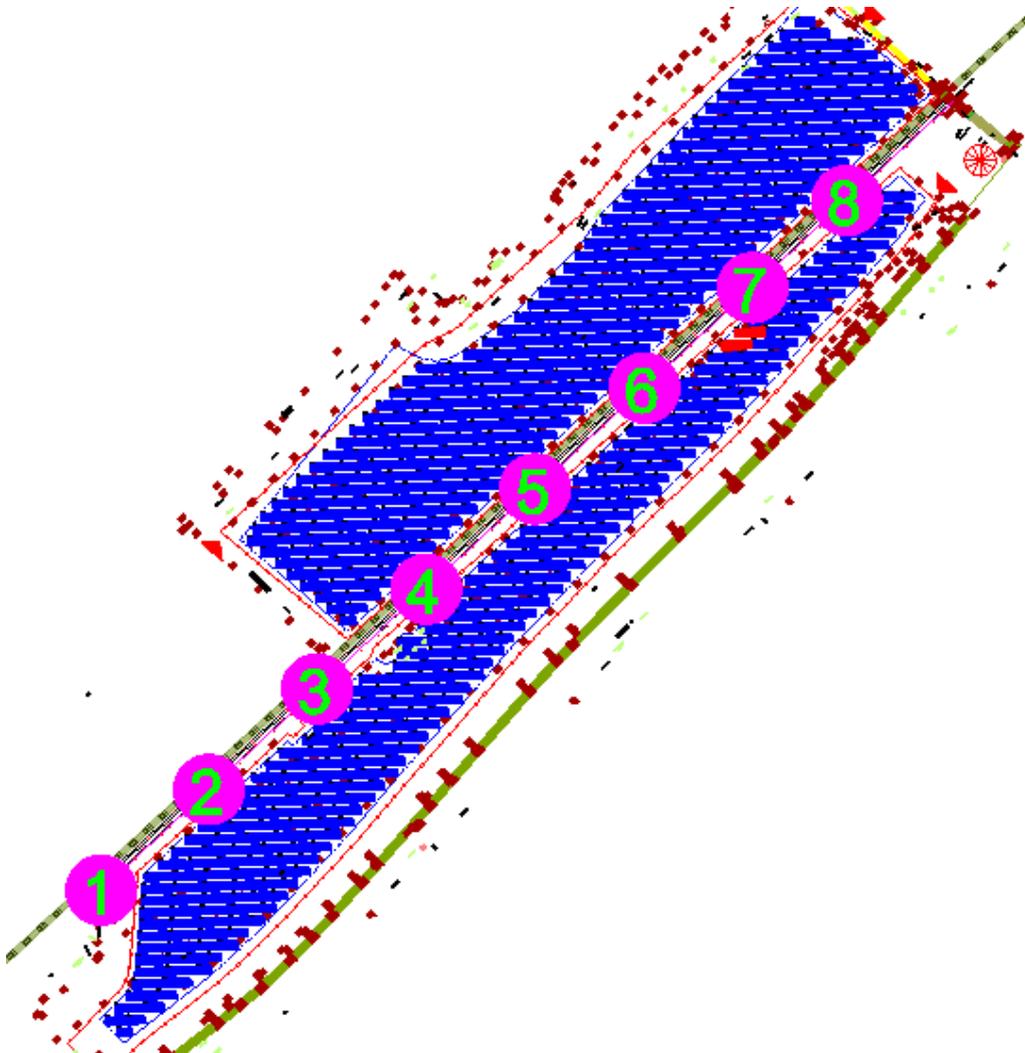


Abbildung 18: Lage der exemplarisch gewählten Punkte auf der von Südwesten kommenden Bahnstrecke durch rosa Kreise gekennzeichnet, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert; extrem geneigte Modultische des Südfeldes rot gekennzeichnet

5.3.1 Erster Punkt aus Südwesten

Für den ersten Punkt ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 19 für maximales West-Ost-Gefälle (ohne den Extremwert zweier einzelner Tische) und in Abbildung 20 für maximale West-Ost-Steigung.

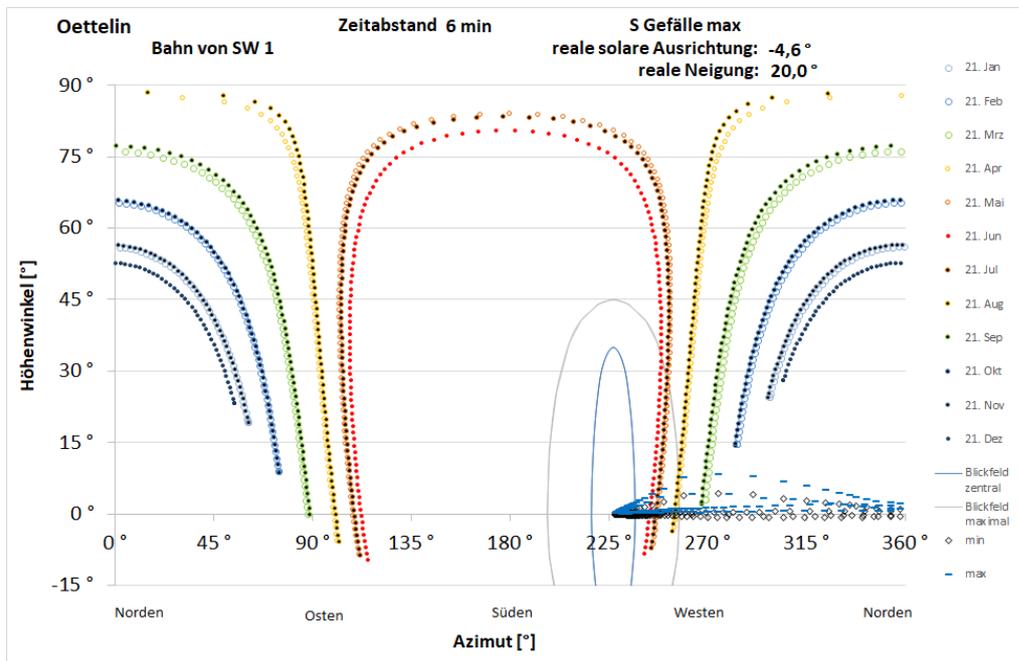


Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal negativen Südabweichung der Ausrichtung, nicht aber der hangbedingt extremen von nur zwei Tischen

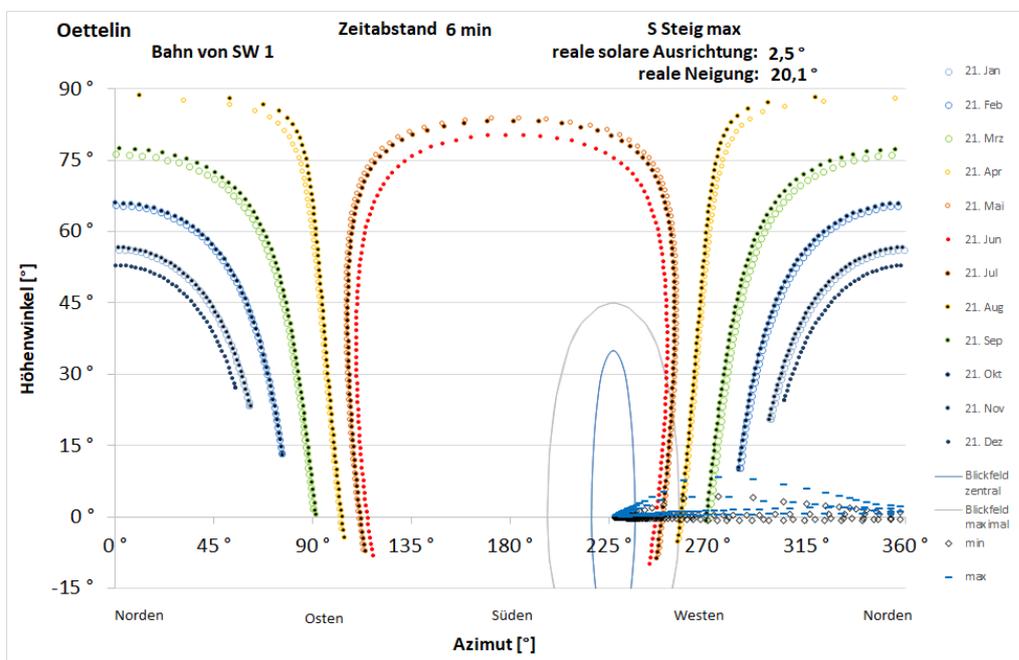


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal positiven Südabweichung der Ausrichtung



Aus diesen Diagrammen wird zunächst deutlich, dass das zentrale Blickfeld bis 10° Abstand zur Blickachse, blau abgegrenzt in den Diagrammen, stets frei ist von Reflexionen. Aber außerhalb des zentralen Blickfeldes und noch innerhalb des maximalen Blickfeldes treten durchaus Reflexionen auf.

Ihr Minimalabstand zur Blickachse tritt bei maximalem West-Ost-Gefälle auf und beträgt 16,8°. Die Reflexionen treten um den 21. Juni mit ihrer höchsten Intensität auf, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von bis zu 1.550 lx führen kann, bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 30.000 lx. Sie können dabei einen Höhenwinkel im Blickfeld von bis zu 4° einnehmen. Mit datumsmäßigem Abstand vom 21. Juni nimmt der im Blickfeld eingenommene Höhenwinkel sogar noch zu, aber die Intensität der Reflexionen nimmt im selben Maße ab.

5.3.2 Folgende Bahnstrecke

Die Reflexionsdiagramme für die folgenden Punkte 2 bis 7 sind in Abbildung 21 dokumentiert.

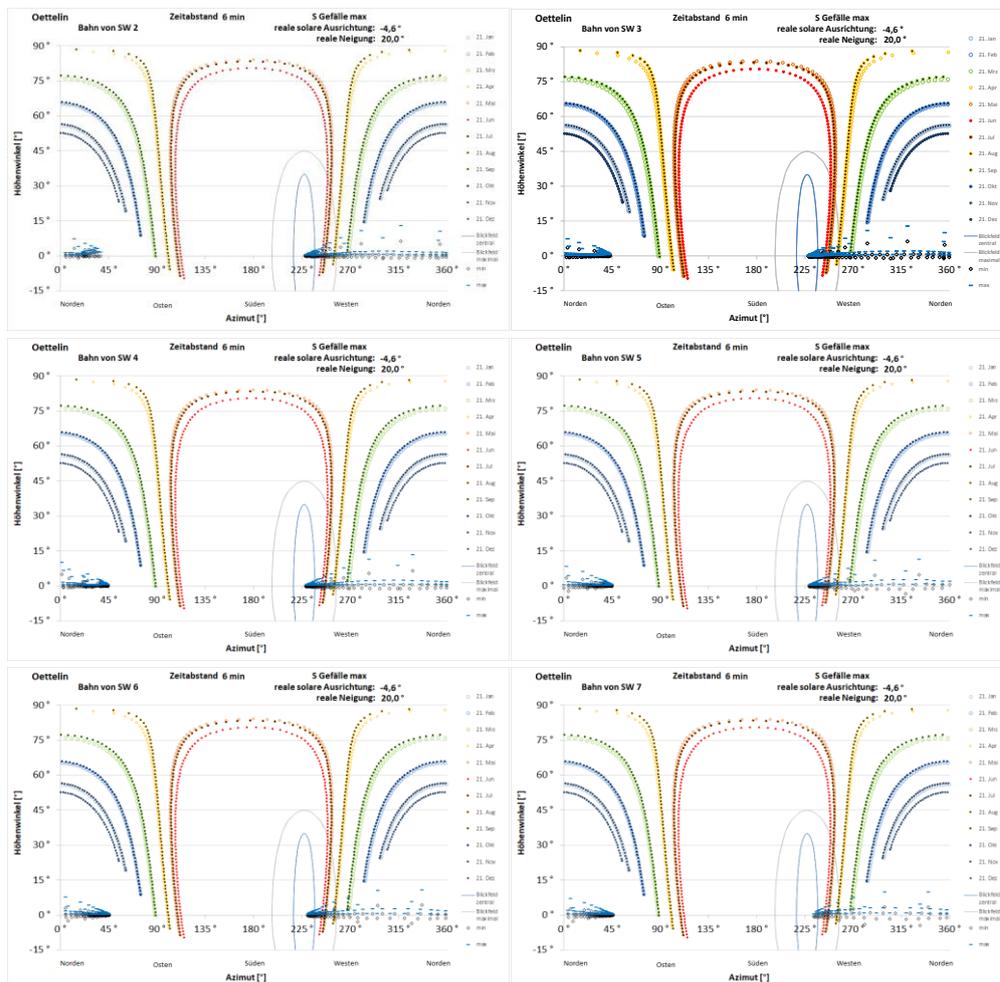


Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für die Punkte 2 bis 7 auf der Bahnstrecke von Südwesten kommend

Die Diagramme zeigen nur den ungünstigeren Fall maximalen West-Ost-Gefälles.



Sie zeigen einen im Wesentlichen gleichbleibenden Verlauf, da sich Blickrichtung und -feld nicht ändern und die Höhenverhältnisse sich nur insofern leicht verändern, als das Gelände des südlichen Baufeldes von Südwest nach Nordost hin leicht ansteigt bei annähernd gleichbleibender Gleichhöhe. Daraus ergibt sich eine geringfügige Abnahme der Reflexionsintensitäten, die aber auch an Punkt 7 noch Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen bis zu 1.300 lx bewirken kann bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 26.000 lx.

Ab Punkt 8 sind keine Module mehr im Bereich des maximalen Blickfeldes von Zugführern, wie das Diagramm in Abbildung 22 zeigt.

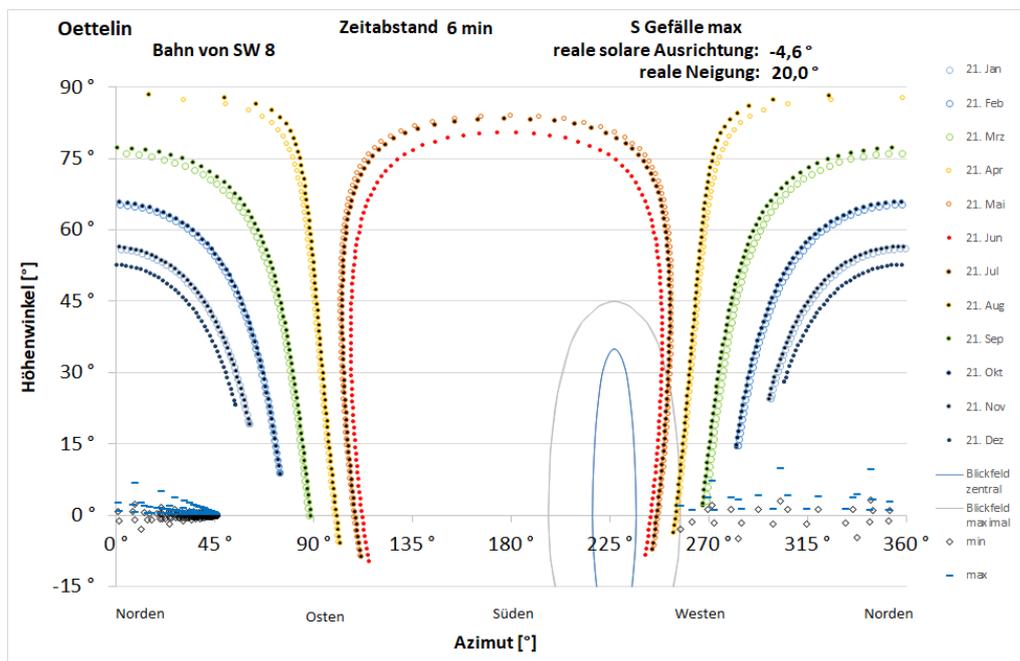


Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal negativen Südabweichung der Ausrichtung, nicht aber der hangbedingt extremen von nur zwei Tischen

5.3.3 Gesonderte Betrachtung der beiden Tische mit extremem Gefälle

Wie das Reflexionsdiagramm für die beiden Tische mit extremem Gefälle und den Punkt 5 in Abbildung 23 zeigt, sind bis zu diesem Punkt noch keinerlei Reflexionen dieser beiden Tische auf Zugführeraugen möglich.

Um den Punkt 6 herum (Reflexionsdiagramm in Abbildung 24) treten kurzzeitig Reflexionen dieser Tische in das Blickfeld von Zugführern mit Minimalabständen zur Blickachse von 16°. Sie können Winkelhöhen im Blickfeld von 1,45° einnehmen und zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von maximal 1.100 lx führen bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 24.000 lx.

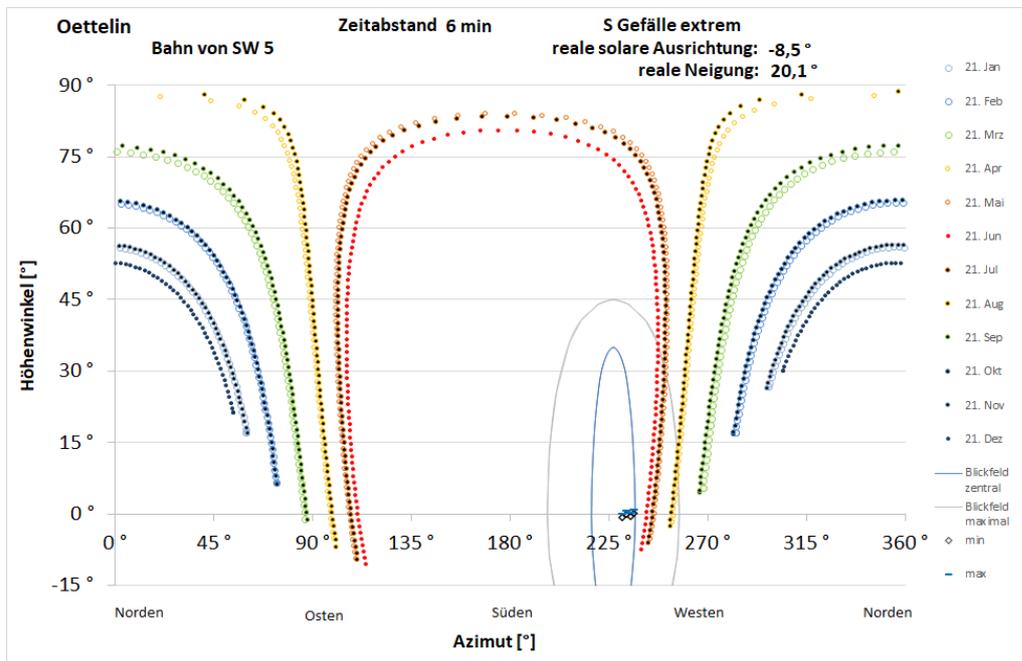


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für Punkt 5 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und die beiden Modultische mit hangbedingt extremem Gefälle

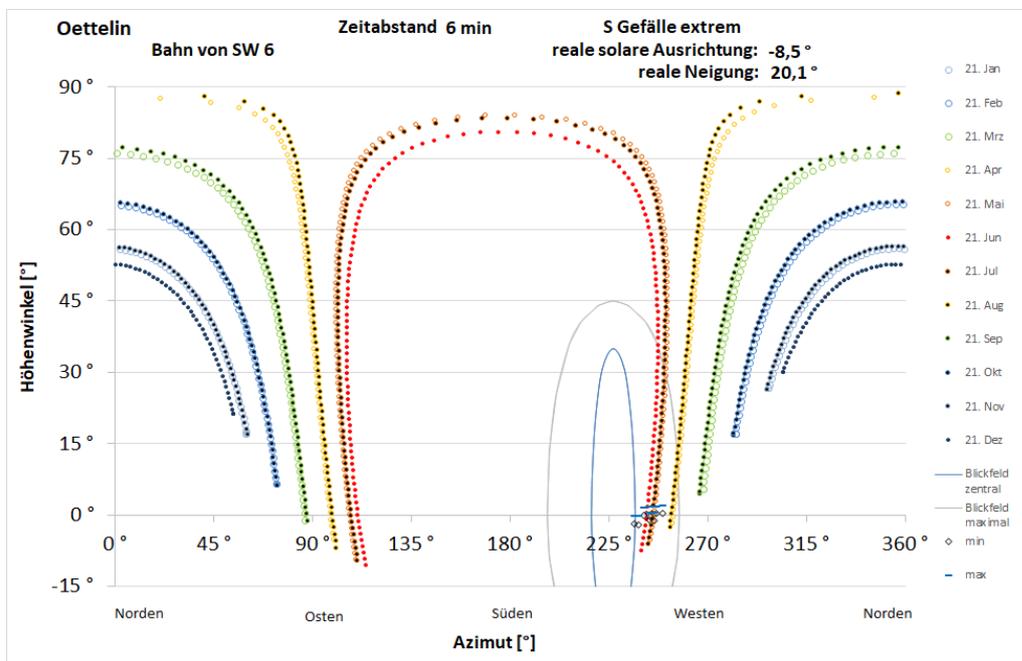


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für Punkt 6 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und die beiden Modultische mit hangbedingt extremem Gefälle



Bereits 50 m hinter Punkt 6 befinden sich die letzten Module dieser beiden Tische außerhalb des maximalen Blickfeldes von Zugführern.

5.4 Schwaaner Straße

5.4.1 Fahrrichtung Nordost

Fahrzeugführer, die aus Südwesten kommen, können von keinerlei Reflexionen der Anlage betroffen sein. Das beispielhaft dargestellte Reflexionsdiagramm in Abbildung 25 verdeutlicht dies anhand eines Fahrzeuges auf der Schwaaner Straße südlich der Südspitze der Anlage: Modultische liegen im zentralen Blickfeld oder links daneben und können keine Reflexionen in diese Richtung senden.

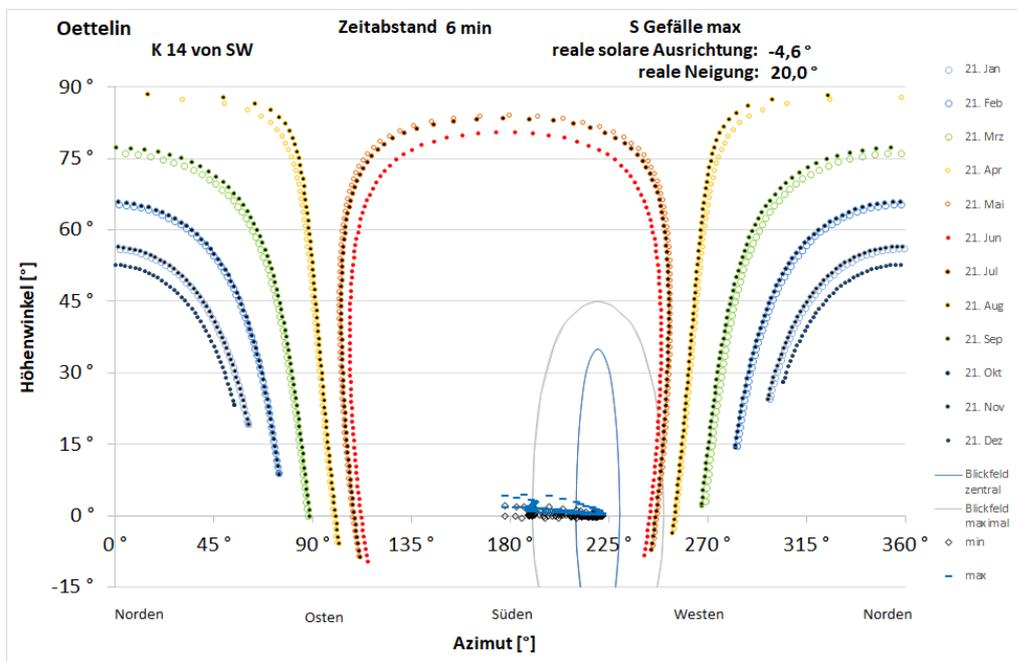


Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für einen beispielhaft gewählten Punkt auf der Schwaaner Straße (K 14) südlich der Südspitze der Anlage mit Fahrrichtung Nordwest und Modultische des Südfeldes unter Annahme maximalen Gefälles

Die geringfügigen Änderungen der Blickrichtung im weiteren Straßenverlauf nach Nordosten ändern hieran nichts.

5.4.2 Fahrrichtung Südwest

Für die Gegenrichtung wird exemplarisch die Kreuzung im Norden untersucht, an der die Hauptstraße von Oettelin kommend mündet und in ihrer Verlängerung zum Bahnübergang führt.

Für Fahrzeugführer, die auf der Schwaaner Straße nach Südwesten fahren, ergeben sich hier die Reflexionsdiagramme in Abbildung 26 für die gesamte Bandbreite der innerhalb der beiden



Anlagenteile auftretenden maximalen Abweichungen von der Südausrichtung für alle Modultische beider Anlagenteile.

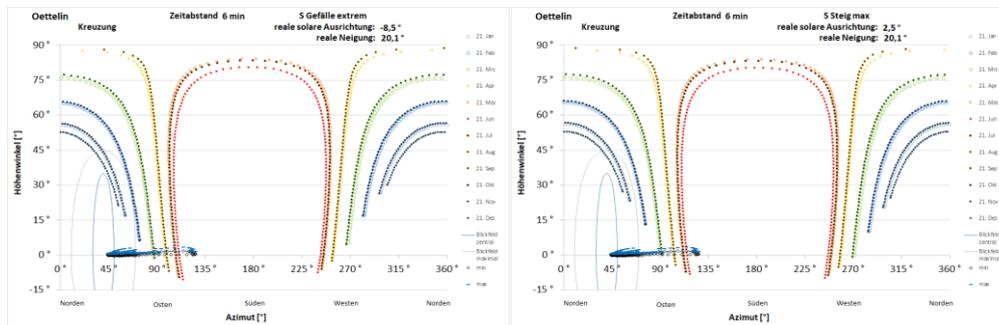


Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für Fahrzeugführer, die auf der Schwaaner Straße nach Südwesten fahren, und sämtliche Modultische beider Anlagenteile unter Annahme des extremen Gefälles nur zweier Tische (links) und maximal auftretender Steigung in der gesamten Anlage (rechts)

Aus diesen Diagrammen wird ersichtlich, dass das nach Südwesten gerichtete Blickfeld zu keinem Zeitpunkt im Jahr von Reflexionen betroffen sein kann. Für den folgenden Streckenverlauf auf der Schwaaner Straße, in dem sich die Blickrichtung nur wenig ändert, gilt das Gleiche.

5.4.3 Kreuzungsbereich

Die Reflexionsfreiheit bezieht sich aber nur auf das nach Südwest gerichtete Blickfeld. Für Verkehrsteilnehmer, die aus Nordost kommen und zum Bahnübergang hin abbiegen wollen oder die von Oettelin kommend den Verkehr auf der Schwaaner Straße beobachten müssen, gibt es kein abgegrenztes Blickfeld, da sie in verschiedene Richtungen blicken müssen. Hierfür sind genauere Untersuchungen erforderlich.

In Abbildung 27 sind die Reflexionsdiagramme dargestellt für die Kreuzung und alle Modultische des Nordfeldes mit den dort maximal auftretenden Abweichungen von der Südausrichtung der Tische.

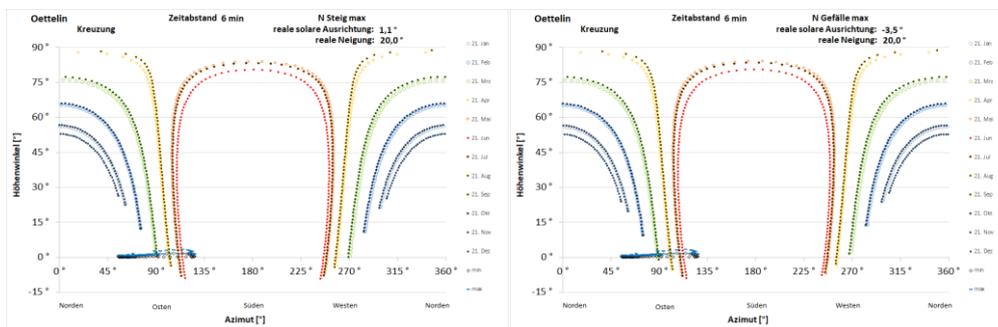


Abbildung 27: Reflexionsdiagramme für die Kreuzung und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme der maximal im Nordfeld auftretenden Steigung (links) und des maximal auftretenden Gefälles (rechts)

Darin ist zu erkennen, dass Reflexionsrichtungen zwischen 85° und 115° auf die Kreuzung treffen können. In Abbildung 28 ist der Bereich des Nordfeldes, dessen Reflexionen auf die Kreuzung gerichtet sein können, durch gelb überlagerte Schraffur gekennzeichnet.

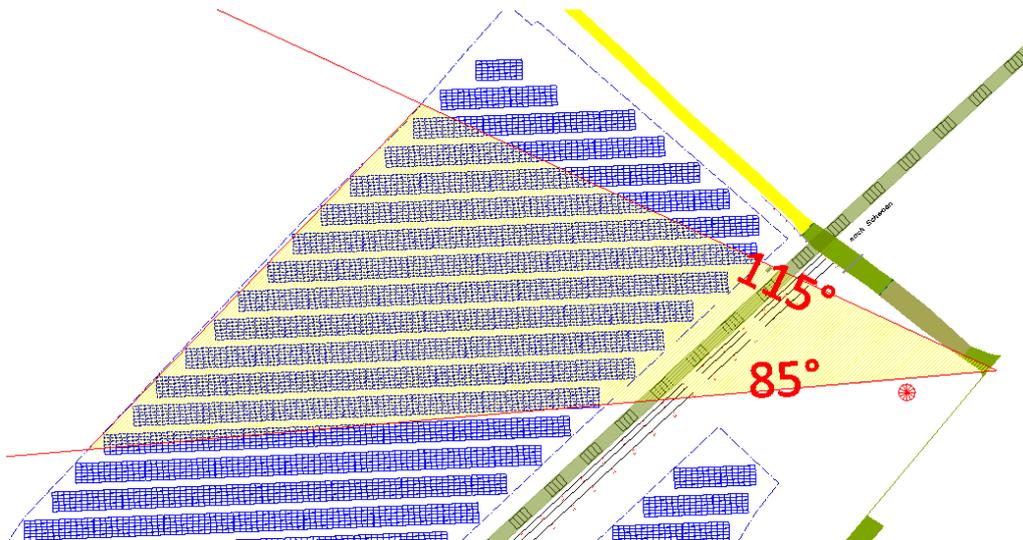


Abbildung 28: Tischbereich des Nordfeldes, von dem Reflexionen auf die Kreuzung gerichtet sein können (gelb eingefärbt)

Die Diagramme zeigen auch, dass Reflexionen mit größeren Azimutwinkeln zur Jahresmitte hin auftreten. Aufgrund höherer Sonnenstände führen sie zu den intensivsten Reflexionen, die bis zu 1.600 lx Beleuchtungsstärke an Fahreraugen hervorrufen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 32.000 lx. Daraus folgt auch, dass eine ähnlich starke Beeinträchtigung auf der Strecke zwischen Kreuzung und Bahnübergang von den noch weiter nördlich liegenden Tischen ausgeht.

Für das Südfeld ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 29 für die maximal auftretenden Hangneigungen mit Ausnahme der extremen Neigung von nur zwei Tischen, die hier irrelevant sind, weil sie sehr weit entfernt und südlich liegen.

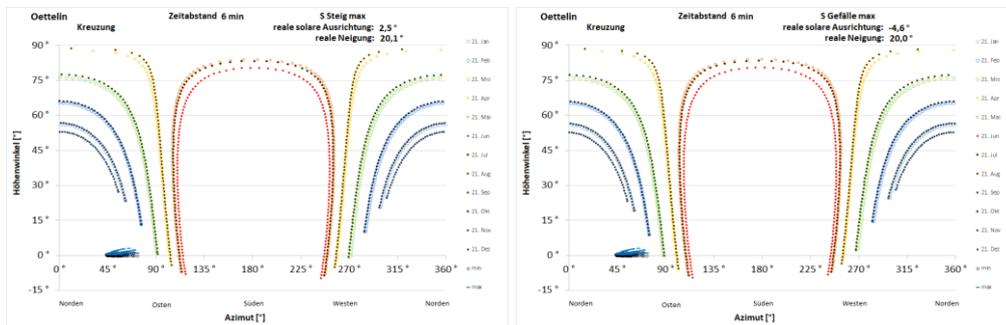


Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für die Kreuzung und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der maximal im Südfeld auftretenden Steigung (links) und des maximal auftretenden Gefälles (rechts)

Die Diagramme zeigen, dass die Kreuzung von Reflexionen des Südfeldes nicht betroffen sein kann.

Eine nähere Untersuchung der von Oettelin kommenden Hauptstraße erübrigt sich, da sie in größerer Entfernung von der Einmündung durch Wald abgeschirmt ist, so dass die stärkste potenzielle Beeinträchtigung im Bereich der Kreuzung liegt.



6 Bewertung der Ergebnisse

Es wird festgestellt, dass Zugführer, die aus Nordosten kommen sowie Verkehrsteilnehmer auf der Schwaaner Straße, die aus Südwesten kommen und aus Nordosten kommende ab der Kreuzung mit der von Oettelin kommenden Hauptstraße, im gesamten Blickfeld bis 30° Abstand zur Blickachse von keinerlei Reflexionen betroffen sein können.

Für sie können somit jegliche Blendrisiken ausgeschlossen werden.

Für aus Südwesten kommende Zugführer wird festgestellt, dass ihr Blickfeld frei ist von Reflexionen des Nordfeldes und ihr zentrales Blickfeld bis 10° Abstand zur Blickachse auch frei ist von Reflexionen des Südfeldes. Ab 16° Abstand zur Blickachse treten aber in den Sommermonaten Reflexionen von nicht unerheblicher Intensität auf, die zu Beleuchtungsstärken an Zugführeraugen von bis zu 1.550 lx führen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte von 30.000 lx. Die intensivsten Reflexionen um den 21. Juni herum können dabei eine Winkelhöhe im Blickfeld von bis zu 4° einnehmen. Diese Reflexionsverhältnisse halten auf einer Strecke von etwa 700 m an, was bei einer Geschwindigkeit von 180 km/h einer Dauer von 14 Sekunden entspricht und bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h von 21 Sekunden.

Derartige Reflexionen, die nicht im zentralen Blickfeld auftreten sondern erst mit einem größeren Abstand zu dessen Rand, beeinträchtigen die Sehfähigkeit auf die Strecke selbst und entlang der Strecke stehende Hinweistafeln nicht, sondern stellen allenfalls eine kurzfristige Belästigung dar, sofern sie nicht überraschend auftreten und damit zu einer unwillkürlichen Blickhinwendung zur Blendquelle führen. Da die Bahnstrecke vor Erreichen der Anlage über einige Kilometer durch einen Wald führt, ist ein solcher Überraschungsmoment hinter den letzten abschirmenden Bäumen nicht vollkommen auszuschließen. Deshalb wird empfohlen, im ersten Abschnitt hinter den letzten abschirmenden Bäumen, Größe und Intensität der Reflexionen im Blickfeld durch abschirmende Maßnahmen am Zaun zu verringern. Die genaue Lage und Höhe werden im folgenden Kapitel bestimmt.

Für Straßenverkehrsteilnehmer, die aus Oettelin kommend den Verkehr auf der Schwaaner Straße beobachten müssen oder die aus Nordosten kommend zum Bahnübergang hin einbiegen wollen, sowie alle, die von der Kreuzung zum Bahnübergang fahren wird festgestellt, dass sie in den Sommermonaten von Reflexionen des Nordfeldes betroffen sein können, die bis zu 1.600 lx Beleuchtungsstärke an Fahreraugen hervorrufen können bei gleichzeitiger Beleuchtung senkrecht von der Sonne bestrahlter Objekte. Diese Reflexionen sind geeignet, die Sehfähigkeit von Fahrzeugführern so zu beeinträchtigen, dass eine Verkehrsgefährdung nicht auszuschließen ist.

Um eine derartige Verkehrsgefährdung auszuschließen, muss an der Nordostecke des Nordfeldes ein Blendschutz errichtet werden. Dessen Lage und Höhe wird im folgenden Kapitel beschrieben.



7 Blendschutzmaßnahmen

Der Blendschutz für den Kreuzungsbereich und die zum Bahnübergang führende Straße muss eine Höhe von 3 m haben und am Zaun des Nordfeldes von der Nordostecke 51 m nach Nordwest und 81 m nach Südwest reichen, wie in Abbildung 30 eingezeichnet.

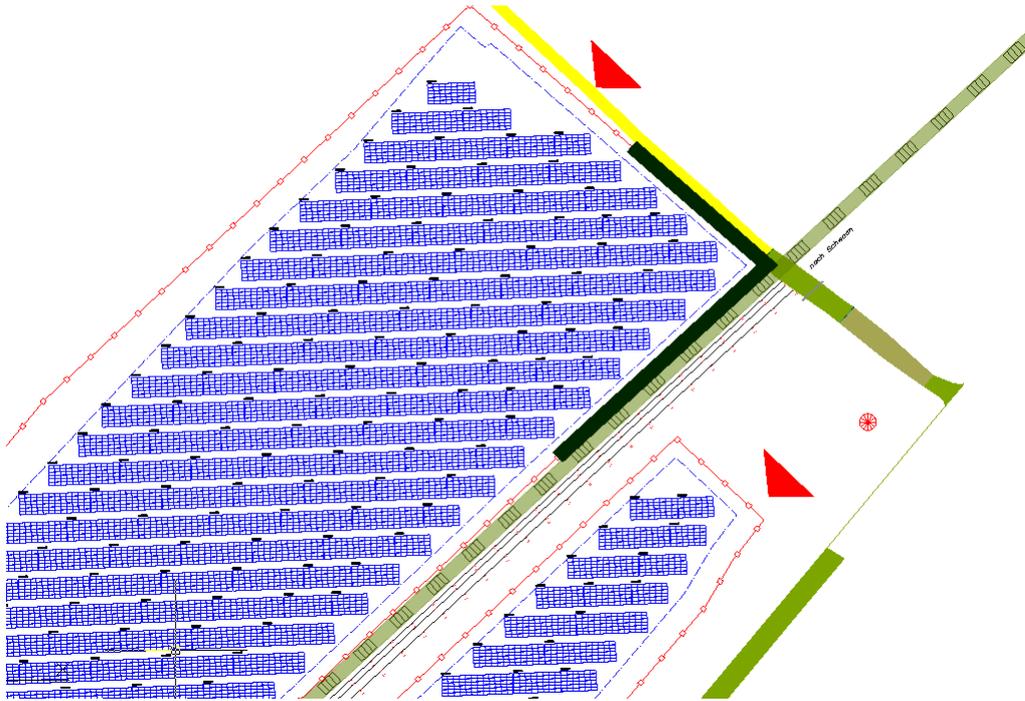


Abbildung 30: Lage des Blendschutzes an der Nordostecke des Nordfeldes durch dunkelgrüne breite Linie gekennzeichnet

Als Schutz für Zugführer vor zu plötzlichem, großflächigem Lichteinfall im äußeren Blickfeldbereich wird empfohlen, die ersten hinter dem Wald sichtbaren Reihen des Südfeldes mit einem 3 m hohen Blendschutz abzuschirmen, dessen Lage in Abbildung 31 eingezeichnet ist. Seine Gesamtlänge beträgt 67,3 m, 49,8 m davon parallel zur Bahnlinie und 17,5 m nach Süden abweichend.

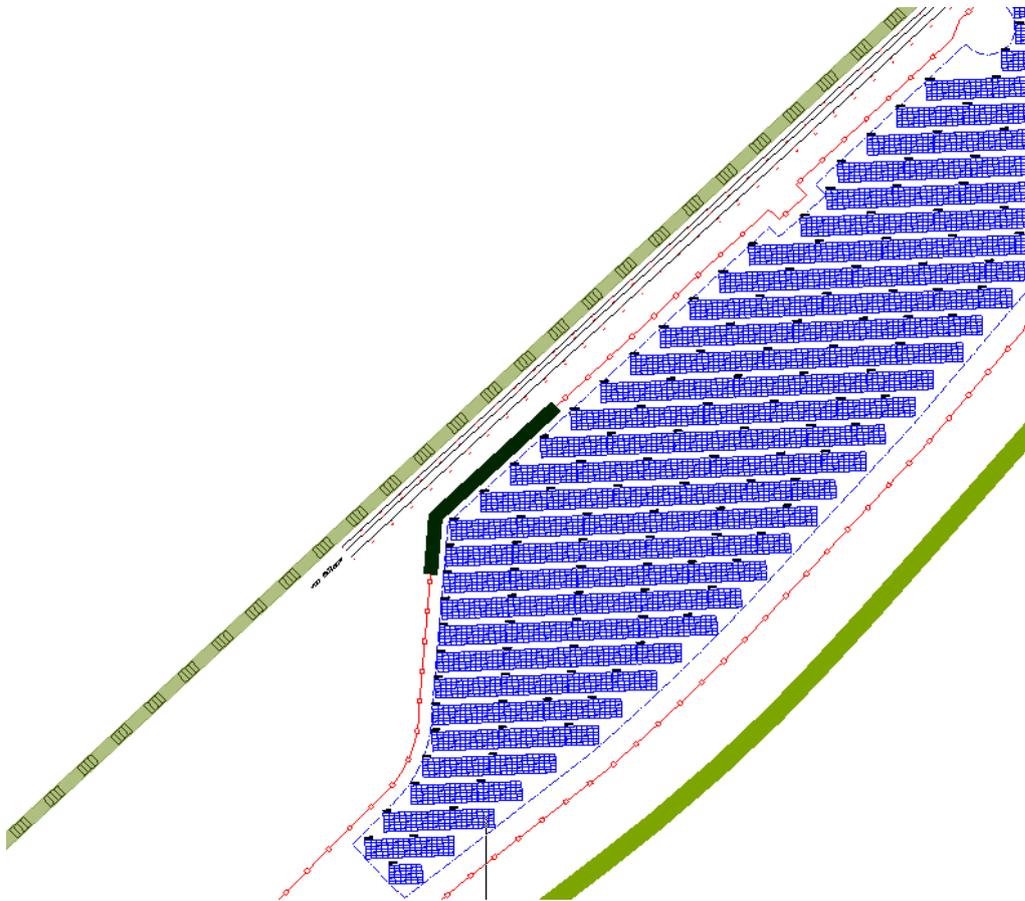


Abbildung 31: Lage des Blendschutzes an der Westseite des Südfeldes durch dunkelgrüne breite Linie gekennzeichnet



8 *Verwendete Materialien*

8.1 *Dokumente vom Auftraggeber*

- ▶ Belegungsplan als Datei 2019-12-27_Oettelin_Layout_bereinigt.dwg
- ▶ Höhenmesspunkte als Datei BV Solarpark Oettelin, Entwurfsvermessung vom 19.11.2019.dwg
- ▶ Angaben zu den Modultischen als Datei 04.01_Tischdetail mit Gestell.pdf

8.2 *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
- ▶ DB Netz AG: Richtlinien 301 – Signalbuch, Aktualisierung 10 vom 26. Juli 2017; Quelle: https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1355690/e8f119eef14f0b915191c78dbbd11c51/rw_30_1_aktualisierung_10-data.pdf



9 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage der geplanten Anlage (Modulreihen blau) nordwestlich der Schwaaner Straße (grün) und beiderseits der Bahnlinie (grau)	4
Abbildung 2: Gegenstände auf der Sichtachse zur Blendquelle sind nicht mehr wahrnehmbar.....	6
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	8
Abbildung 4: Auswirkung des Einfallwinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser	10
Abbildung 5: Original Belegungsplan mit Azimutrichtung der Bahnlinie von $49,34^{\circ}$	11
Abbildung 6: Azimut der Bahnstrecke nach Google Earth: $47,04^{\circ}$	12
Abbildung 7: Tische mit extremem West-Ost-Gefälle durch rote Füllung gekennzeichnet.....	13
Abbildung 8: Seitlicher Schnitt durch eine Modulreihe	14
Abbildung 9: Bahnübergang von Oettelin kommend (links) und Beschilderung (rechts).....	15
Abbildung 10: Verlauf der Schwaaner Straße (gelbe Linie) von Südwest nach Nordost am südöstlichen Rand des Anlagengeländes mit Verbindungsstraße von Oettelin kommend, die hinter der Schwaaner Straße zum Bahnübergang führt und dahinter in einen Feldweg übergeht auf Hintergrund von Google Earth Pro	15
Abbildung 11: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Blendpunkt.....	17
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm aus Sicht eines beliebigen potenziellen Blendpunktes durchschnittlich geneigter Module mit einer Ausrichtung von $-3,5^{\circ}$ und einer Modulneigung von 20° am Standort der Anlage; waagrecht aufgetragen sind die Azimutwinkel von Norden (0°) über Osten (90°), Süden (180°) nach Westen (270°), senkrecht die Höhenwinkel.....	18
Abbildung 13: Reflexionsdiagramme für die maximalen Abweichungen von der durchschnittlichen West-Ost-Neigung der Tische; links für extremes Gefälle von nur 2 Tischen des Südfeldes und rechts für maximale Steigung	19
Abbildung 14: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel	19
Abbildung 15: Reflexionsdiagramme für aus Nordost kommende Zugführer am Bahnübergang und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme des maximal im Nordfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts).....	20



Abbildung 16: Reflexionsdiagramme für aus Nordost kommende Zugführer am Bahnübergang und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme des maximal im Südfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts).....	21
Abbildung 17: Reflexionsdiagramme für aus Südwest kommende Zugführer am Punkt 4 und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme des maximal im Nordfeld auftretenden Gefälles (links) und der maximal auftretenden Steigung (rechts).....	21
Abbildung 18: Lage der exemplarisch gewählten Punkte auf der von Südwesten kommenden Bahnstrecke durch rosa Kreise gekennzeichnet, in Fahrtrichtung grün durchnummeriert; extrem geneigte Modultische des Südfeldes rot gekennzeichnet.....	22
Abbildung 19: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal negativen Südabweichung der Ausrichtung, nicht aber der hangbedingt extremen von nur zwei Tischen	23
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm für Punkt 1 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal positiven Südabweichung der Ausrichtung	23
Abbildung 21: Reflexionsdiagramme für die Punkte 2 bis 7 auf der Bahnstrecke von Südwesten kommend	24
Abbildung 22: Reflexionsdiagramm für Punkt 8 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der hangbedingt maximal negativen Südabweichung der Ausrichtung, nicht aber der hangbedingt extremen von nur zwei Tischen	25
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm für Punkt 5 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und die beiden Modultische mit hangbedingt extremem Gefälle	26
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm für Punkt 6 der aus Südwesten kommenden Bahnstrecke und die beiden Modultische mit hangbedingt extremem Gefälle	26
Abbildung 25: Reflexionsdiagramm für einen beispielhaft gewählten Punkt auf der Schwaaner Straße (K 14) südlich der Südspitze der Anlage mit Fahrtrichtung Nordwest und Modultische des Südfeldes unter Annahme maximalen Gefälles.....	27
Abbildung 26: Reflexionsdiagramme für Fahrzeugführer, die auf der Schwaaner Straße nach Südwesten fahren, und sämtliche Modultische beider Anlagenteile unter Annahme des extremen Gefälles nur zweier Tische (links) und maximal auftretender Steigung in der gesamten Anlage (rechts)	28
Abbildung 27: Reflexionsdiagramme für die Kreuzung und alle Modultische des Nordfeldes unter Annahme der maximal im Nordfeld auftretenden Steigung (links) und des maximal auftretenden Gefälles (rechts)	29
Abbildung 28: Tischbereich des Nordfeldes, von dem Reflexionen auf die Kreuzung gerichtet sein können (gelb eingefärbt)	29



Abbildung 29: Reflexionsdiagramme für die Kreuzung und alle Modultische des Südfeldes unter Annahme der maximal im Südfeld auftretenden Steigung (links) und des maximal auftretenden Gefälles (rechts) 30

Abbildung 30: Lage des Blendschutzes an der Nordostecke des Nordfeldes durch dunkelgrüne breite Linie gekennzeichnet 32

Abbildung 31: Lage des Blendschutzes an der Westseite des Südfeldes durch dunkelgrüne breite Linie gekennzeichnet 33



10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten)8

Tabelle 2: Bandbreite der Ausrichtungen und Neigungen in den beiden Teilfeldern14