

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

## ► **Löffingen Solarzaun**


# *Analyse der Reflexionswirkungen einer Photovoltaikanlage*

**Auftraggeber:**

Agri-Solarpark Löffingen UG (haftungsbeschränkt)  
Herr Christian Meyer  
Hämmerleweg 24  
79843 Löffingen

**erstellt von:**

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



Datum: 20.10.2022

Projektnummer: P22446/1.002



## Inhalt

1	Zweck und Gegenstand des Gutachtens .....	3
2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	4
3	Einleitung .....	5
3.1	Blendung.....	5
3.2	Entstehung von Reflexionen bei Photovoltaikanlagen .....	9
3.3	Verwendete Azimut-Winkelangaben .....	10
4	Situation vor Ort .....	11
4.1	Die Photovoltaikanlage Solarzaun .....	11
4.2	Die Bundesstraße B 31 .....	12
5	Berechnungen .....	13
5.1	Methodik der Berechnung .....	13
5.1.1	Geometrische Aspekte.....	13
5.1.2	Lichttechnische Aspekte.....	15
5.1.3	Auswahl der Reflexions- und Blickpunkte .....	15
5.2	Berechnungsergebnisse .....	17
5.2.1	Verkehr aus Richtung Osten.....	17
5.2.2	Verkehr aus Richtung Westen.....	22
6	Bewertung der Blendrisiken .....	25
6.1	Tagesblendung.....	25
6.2	Nachtblendung.....	25
7	Verwendete Materialien .....	26
7.1	Dokumente vom Auftraggeber .....	26
7.2	Literatur .....	26
8	Abbildungsverzeichnis.....	27
9	Tabellenverzeichnis .....	29



## 1 Zweck und Gegenstand des Gutachtens

Es soll untersucht werden, ob von den Modulen des geplanten Solarzauns zwischen dem geplanten Solarfeld Löffingen und der Bundesstraße B 31 Sonnenlicht in Richtung der Verkehrsteilnehmer reflektiert werden kann und ob dadurch gegebenenfalls störende Blendwirkungen auftreten können. Die Lage des geplanten Solarzauns und des geplanten Solarfelds sowie der B 31 ist in Abbildung 1 zu erkennen.

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

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

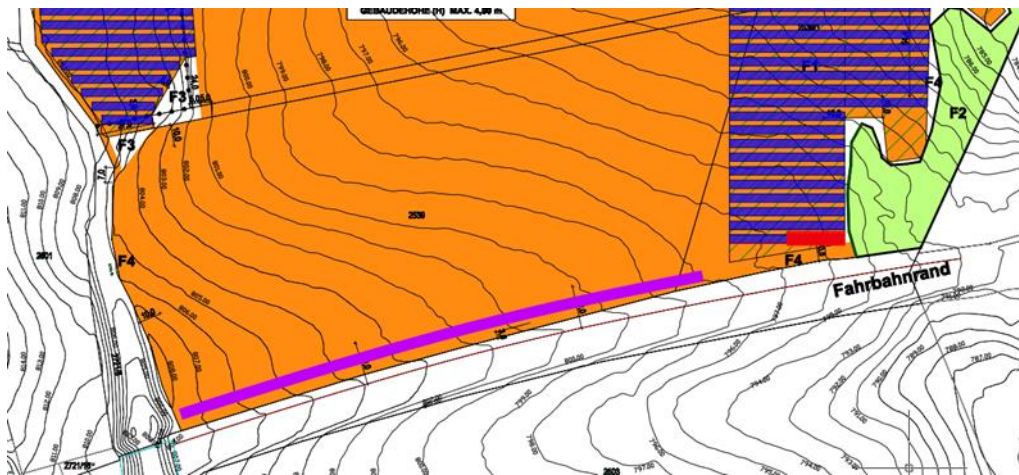


Abbildung 1: Lage des geplanten Solarzauns (violette Linie) am südlichen Rand des Baufelds nördlich der Bundesstraße B 31. Quelle: Kundenmaterial, bearbeitet

## 2 Zusammenfassung der Ergebnisse



Es wird festgestellt, dass von der geplanten Photovoltaikanlage „Solarzaun“ zu keinem Zeitpunkt im Jahr Blendrisiken für Verkehrsteilnehmer auf der Bundesstraße B 31 ausgehen können.

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 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 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. Auf der Sichtachse zur Blendquelle werden Gegenstände unerkennbar.<sup>2</sup>

---

<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: Blendsituationen. 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 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  $30^{\circ}$  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“ 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	$\pm 30^\circ$	$+30^\circ, -45^\circ$

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

<sup>4</sup> Kaufmann 1986

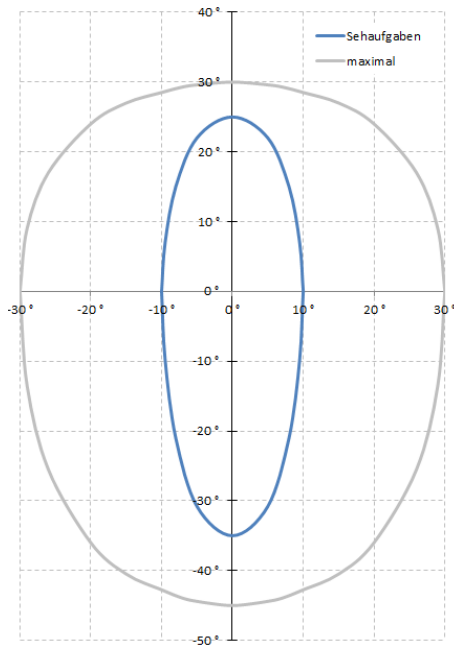


Abbildung 3: Blickfelder von Tabelle 1. Der Achsenschnittpunkt 0°/0° stellt dabei einen Punkt auf der Blickachse dar, auf den die Augen fokussieren, und nicht notwendigerweise einen Punkt auf dem Horizont

Für die Beurteilung des Bereichs, in dem auftretende Reflexion zur Blendung führen kann, wird typischerweise das maximale Gebrauchsblickfeld mit je 30° rechts und links der Blickrichtung als Blickfeld herangezogen. Diese Eingrenzung basiert auf umfangreichen Untersuchungen zu nächtlicher Blendung. Nächtliches, sog. skotopisches Sehen oder Stäbchensehen wird ermöglicht durch die große Lichtempfindlichkeit der Fotorezeptoren im Auge, die als Stäbchen bezeichnet werden. Sie sind ausschließlich außerhalb der Foveola (oder Sehgrube) angeordnet, die im zentralen Bereich der Netzhaut rundum die Sehachse liegt. Die beim photopischen Sehen (Tages- oder Zapfensehen) aktivierten farbmpfindlichen 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.

### 3.2 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.<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.

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.

---

<sup>5</sup> Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 2006

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

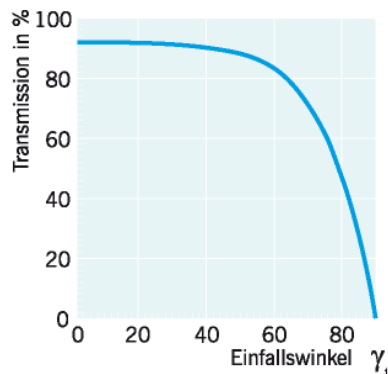


Abbildung 4: Auswirkung des Einfallswinkels auf den Transmissionsgrad für Modulgläser

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.

### 3.3 Verwendete Azimut-Winkelangaben

Allgemein 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 in den Reflexionsdiagrammen und bei der Beschreibung von Blickrichtungen die sich daraus ergebende Azimutangabe verwendet: Norden =  $0^\circ$ , Osten =  $90^\circ$ , Süden =  $180^\circ$  und Westen =  $270^\circ$ .

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 Solarzaun

Laut Lageplan Agriphotovoltaik Löffingen in Abbildung 5 soll der Solarzaun über eine Länge von 251,5 m in annähernd südlicher Ausrichtung mit senkrecht aufgestellten Modulen errichtet werden, wie sie beispielhaft in Abbildung 6 gezeigt werden. Der Verlauf des Solarzauns ist parallel zum Fahrbahnrand der B 31 mit einem Abstand von 12,5 Metern geplant. Für das westlichste Modul ergibt sich damit eine Ausrichtung nach Solardiktion von  $-18,7^\circ$ , für das östlichste Modul beträgt die Ausrichtung  $-11,2^\circ$ . Im Verlauf der geplanten Anlage fällt das Gelände von West nach Ost um 9 m.

Die Unterkante der Module liegt 0,8 m über dem Boden, die Oberkante reicht bis 3,0 m Höhe.

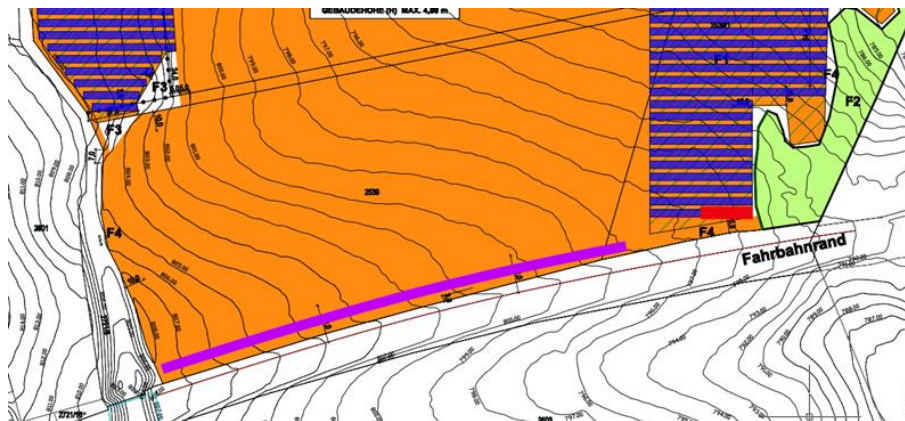


Abbildung 5: Lageplan Agriphotovoltaik Löffingen mit stilisierter Modulreihe „Solarzaun“ (violette Linie) und Höhenlinien; Quelle: Kundenmaterial, bearbeitet



Abbildung 6: Beispiel für einen Solarzaun (Quelle: Kundenmaterial)



## 4.2 Die Bundesstraße B 31

Die Bundesstraße B 31 (Abbildung 7) verläuft von Osten kommend mit nur geringfügigen Richtungsänderungen (Azimutrichtungen zwischen 260° und 270°) auf den südöstlichen Rand des geplanten Solarzauns zu. Über 1,5 km hinweg steigt die Straße dabei annähernd kontinuierlich von 744 m ü. NN auf 797 m ü. NN an. Ab dem Waldstück, das nördlich der B 31 vor dem Baufeld liegt, wendet sich die Blickrichtung mit der Fahrbahn etwas stärker nach Südwest bis zu einer Azimutrichtung von 250°. Bis zum westlichen Ende der Anlage steigt die Straße weiter an auf 807 m ü. NN und auf den folgenden 600 m mit annähernd gleicher Blickrichtung von 250° setzt sich die Steigung fort bis auf 832 m ü. NN. Südlich der Bundesstraße liegen unbewaldete landwirtschaftliche Nutzflächen.



Abbildung 7: Verlauf der B 31 im Bereich des Baufelds der geplanten Anlage (Quelle: Google Earth Pro)



## 5 Berechnungen

### 5.1 Methodik der Berechnung

#### 5.1.1 Geometrische Aspekte

Die Berechnung der Sonnenlichtreflexionen erfolgt nach dem Reflexionsgesetz bei ideal gerichteter Reflexion („Einfallswinkel = Ausfallswinkel“). Jedem Einfallswinkel des Sonnenlichts entspricht genau ein Ausfallswinkel reflektierter Strahlung bei gegebener reflektierender Ebene. Abbildung 8 zeigt die geometrischen Beziehungen einschließlich der Abstandswinkel zwischen den Blickrichtungen zur Sonne und dem Reflexionspunkt.

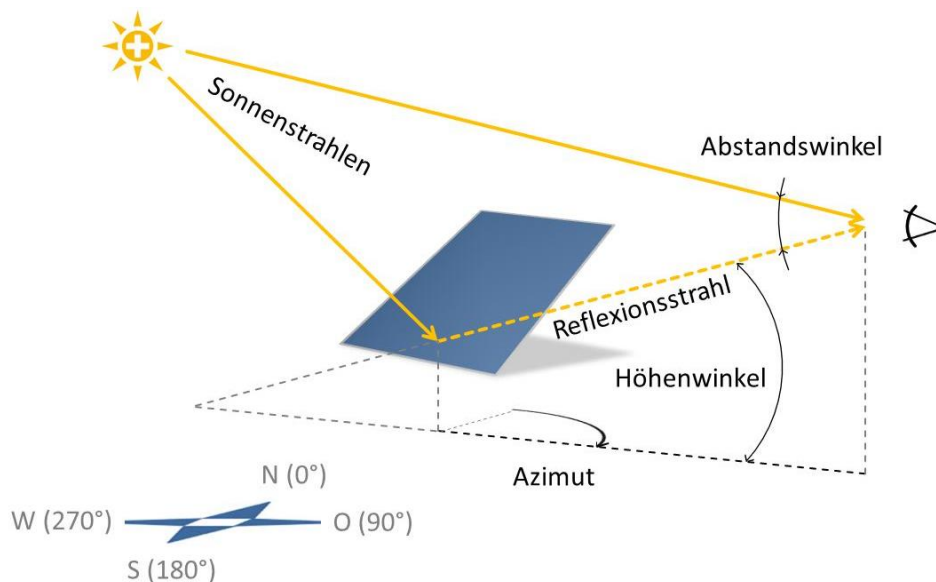


Abbildung 8: Darstellung des Reflexionsstrahls anhand von Azimut und Höhenwinkel wie im Reflexionsdiagramm verwendet und Beschreibung des Abstandswinkels zwischen Blickrichtungen zur Sonne und zum Reflexionspunkt

Für die Beurteilung der Blendrisiken durch die geplante Anlage wird zunächst eine Aufstellung mit sämtlichen Sonneneinfallswinkeln im Jahresverlauf am Standort Löffingen (geografische Länge  $8,37^\circ$ , Breite  $47,89^\circ$ ) in 6-minütiger Auflösung für 12 Tage im Jahr vorgenommen (jeweils der 21. jeden Monats)<sup>7</sup>. Anschließend werden die sich daraus ergebenden Reflexionsrichtungen berechnet. Diese werden anschaulich in einem Reflexionsdiagramm dargestellt, das über dem Horizont, aus Sicht eines beliebigen Reflexionspunkts heraus, alle möglichen Reflexionsrichtungen durch die Koordinaten Azimut- und Höhenwinkel beschreibt.

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



Abbildung 9 zeigt beispielhaft die physikalisch möglichen Reflexionsrichtungen für das östlichste Modul des Solarzauns mit einer solaren Ausrichtung von  $-11,3^\circ$  (nach Solardiktion) ohne Festlegung eines Blickpunkts.

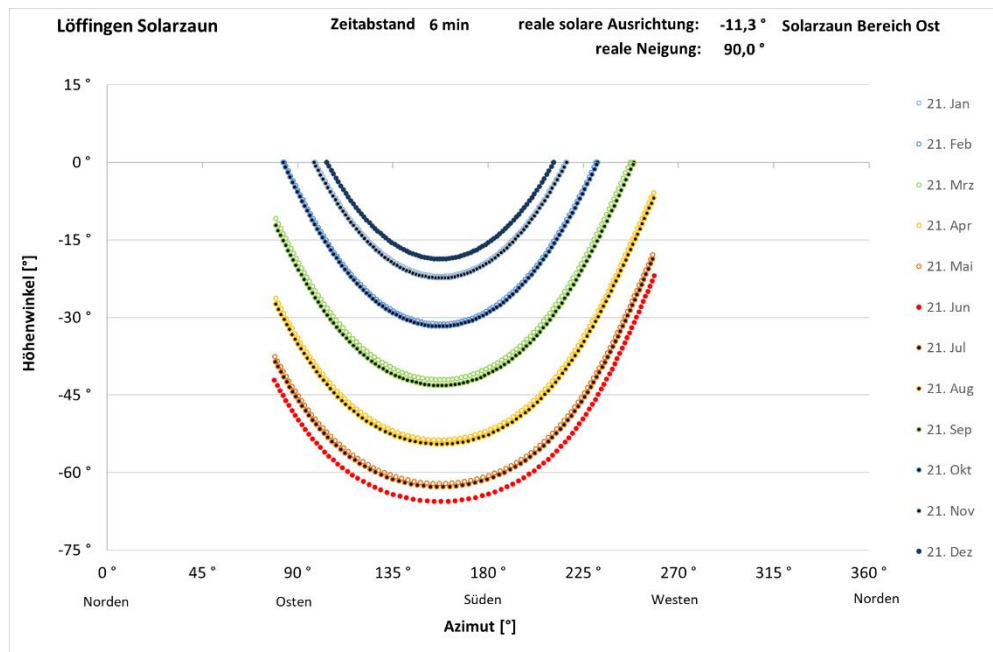


Abbildung 9: Reflexionsdiagramm des östlichsten Moduls des geplanten Solarzauns mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln

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

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.

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

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

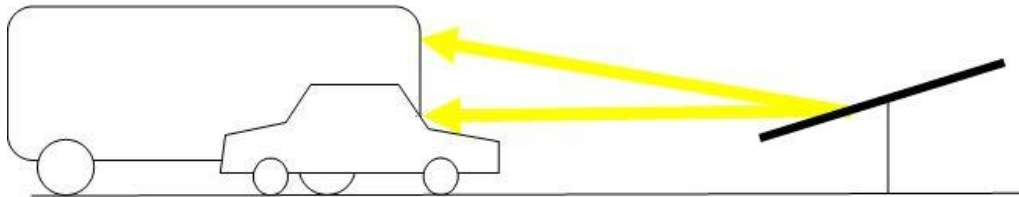


Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel

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

### 5.1.2 Lichttechnische Aspekte

Das Verhältnis der Beleuchtungsstärken am menschlichen Auge – einerseits verursacht durch Sonnenlichtreflexionen der zu prüfenden Anlage, andererseits verursacht durch direktes, gestreutes oder diffus reflektiertes Licht – ist wesentlich für die Beurteilung, ob Anlagenreflexionen eine potenzielle Gefährdung darstellen (s. Abschnitt 3.1).

Zur Abschätzung der Beleuchtungsstärken wird zunächst der Sonnenhöhenwinkel zu Zeitpunkten möglicher Betroffenheit durch Anlagenreflexionen bestimmt, 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.

### 5.1.3 Auswahl der Reflexions- und Blickpunkte

Für die Berechnung potenzieller Blendungen werden die Reflexionspunkte an der Anlage durch Wahl von ausgewählten Reflexionspunkten an den Außenkanten so umgrenzt, dass die gewählten Punkte die gesamte Anlage einschließen. Aufgrund der sich im Verlauf des Solarzauns ändernden Modulausrichtung wird die Anlage in drei Bereichen modelliert, die der westlichsten ( $-18,7^\circ$ ), östlichsten ( $-11,3^\circ$ ) und einer mittleren ( $-16,2^\circ$ ) solaren Ausrichtung entsprechen. Für jeden Bereich werden für den westlichsten, östlichsten und zwei dazwischen liegende Punkte der Module die Geokoordinaten bestimmt und in die Berechnung übernommen.

Für die Verkehrsteilnehmer aus östlicher Richtung werden sechs repräsentative Blickpunkte auf der nördlichen Fahrbahnseite festgelegt und mit Ihren Koordinaten in die Berechnungen übernommen. Die Verkehrsteilnehmer aus westlicher Richtung werden mit weiteren sechs Blickpunkte auf der südlichen Fahrbahn repräsentiert.

Abbildung 11 veranschaulicht die räumlichen Beziehungen der geplanten Anlage zu den untersuchten Blickpunkten.

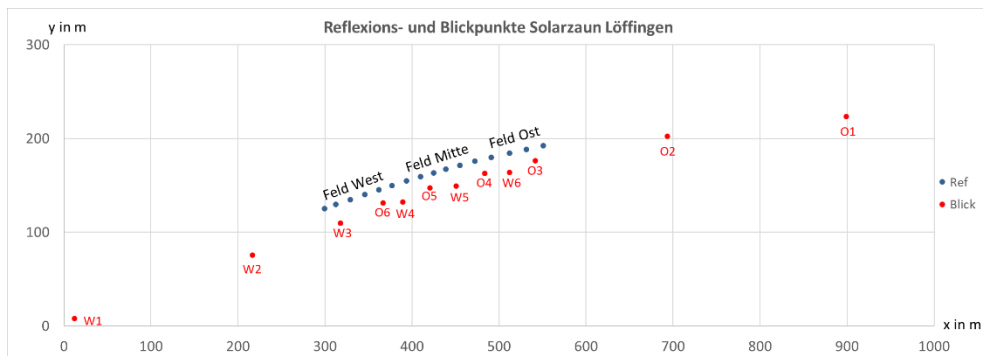


Abbildung 11: Übersicht der Einteilung der untersuchten Reflexionspunkte des Solarzauns (blaue Punkte) in die Bereiche West, Mitte und Ost sowie der Blickpunkte für Verkehr aus östlicher (O1 bis O6) und aus westlicher (W1 bis W6) Richtung





## 5.2 Berechnungsergebnisse

### 5.2.1 Verkehr aus Richtung Osten

#### Blickpunkt von Ost 1 (O1)

Für den 350 m vom Rand des Solarzauns entfernten ersten Blickpunkt aus östlicher Richtung ergibt sich für den östlichen Bereich des Solarzauns das Reflexionsdiagramm in Abbildung 12. Es zeigt, dass im Oktober und Februar kurz vor Sonnenuntergang für wenige Minuten Lichtreflexionen des Solarzauns in das zentrale Blickfeld der Verkehrsteilnehmer gelangen können. Diese bewirken eine maximale Beleuchtungsstärke von 240 lx an den Fahreraugen, während durch die Strahlung der ebenfalls im Blickfeld stehende Sonne bei gleichem Höhenwinkel mehr als 5.500 lx erzeugt werden.

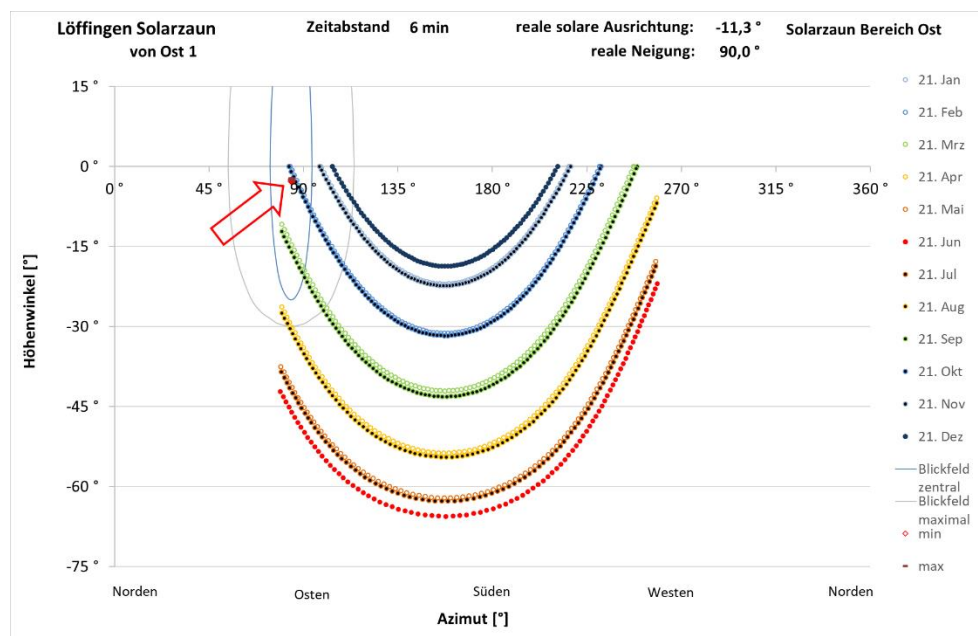


Abbildung 12: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O1 (Reflexionen am Blickpunkt mit rotem Pfeil markiert)

Für die Reflexionen des mittleren und des westlichen Bereichs des Solarzauns in Abbildung 13 ergibt sich ein ähnliches Bild. Hier treten um wenige Tage verschoben ebenfalls kurz vor Sonnenuntergang Reflexionen mit weniger als 270 lx im zentralen Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf.

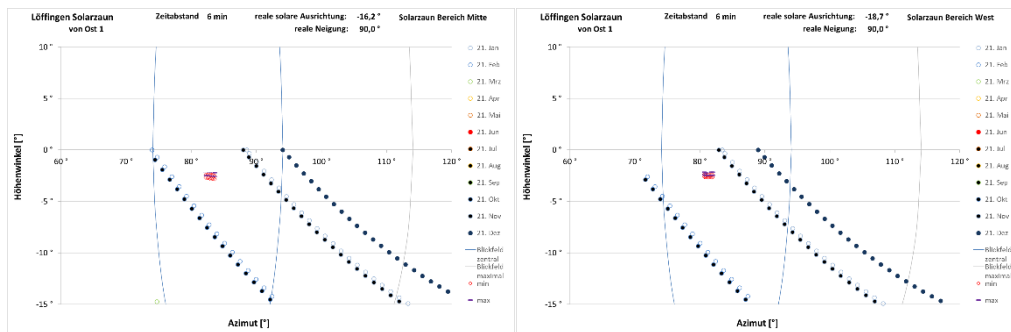


Abbildung 13: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O1

### Blickpunkt von Ost 2 (O2)

Für den zweiten Blickpunkt aus östlicher Richtung, 150 m vom Rand des Solarzauns entfernt, ergibt sich für den östlichen Bereich des Solarzauns das Reflexionsdiagramm in Abbildung 14. Auch hier können an wenigen Tagen Mitte Oktober und Ende Februar kurz vor Sonnenuntergang Lichtreflexionen des Solarzauns in das zentrale Blickfeld der Verkehrsteilnehmer gelangen. Diese bewirken eine Beleuchtungsstärke von < 280 lx an den Fahreraugen, während durch die auf gleicher Höhe ebenfalls im Blickfeld stehende Sonne mehr als 6.000 lx erreicht werden.

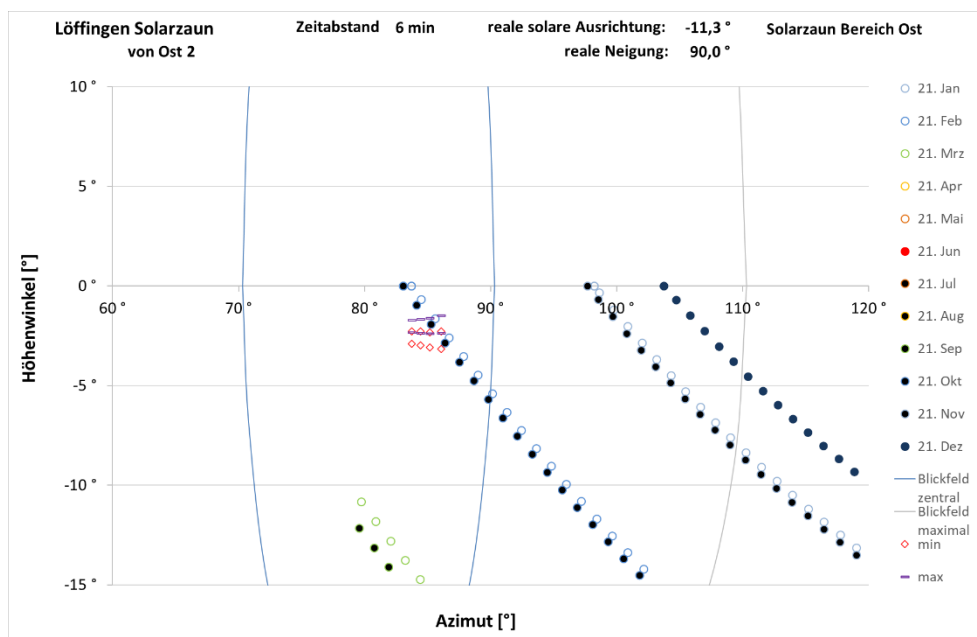


Abbildung 14: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O2

Für die Reflexionen des mittleren und des westlichen Bereichs des Solarzauns in Abbildung 15 ergibt sich ein ähnliches Bild. Hier können um einige Tage verschoben ebenfalls kurz vor Sonnenuntergang



Reflexionen im zentralen Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auftreten Die Beleuchtungsstärke am Auge beträgt mit maximal 260 lx weniger als 5 Prozent der durch die auf gleicher Höhe stehende Sonne bewirkten Beleuchtungsstärke.

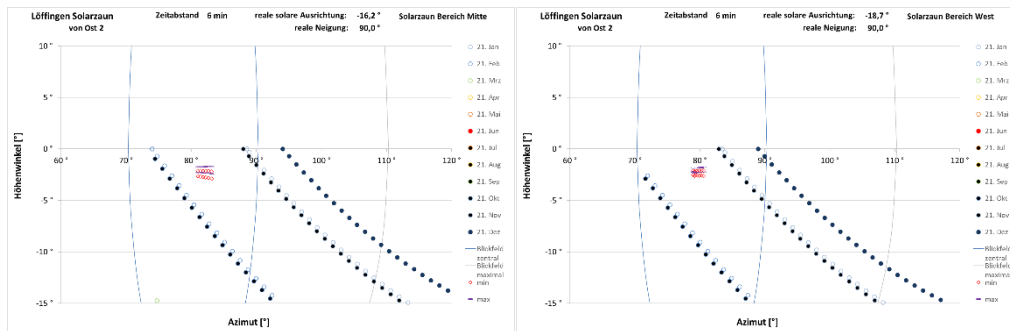


Abbildung 15: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O2

### Blickpunkt von Ost 3 (O3)

Für den dritten Blickpunkt aus östlicher Richtung, der bereits auf Höhe des Solarzauns ist, ergibt sich für den östlichen Bereich des Solarzauns das Reflexionsdiagramm in Abbildung 16.

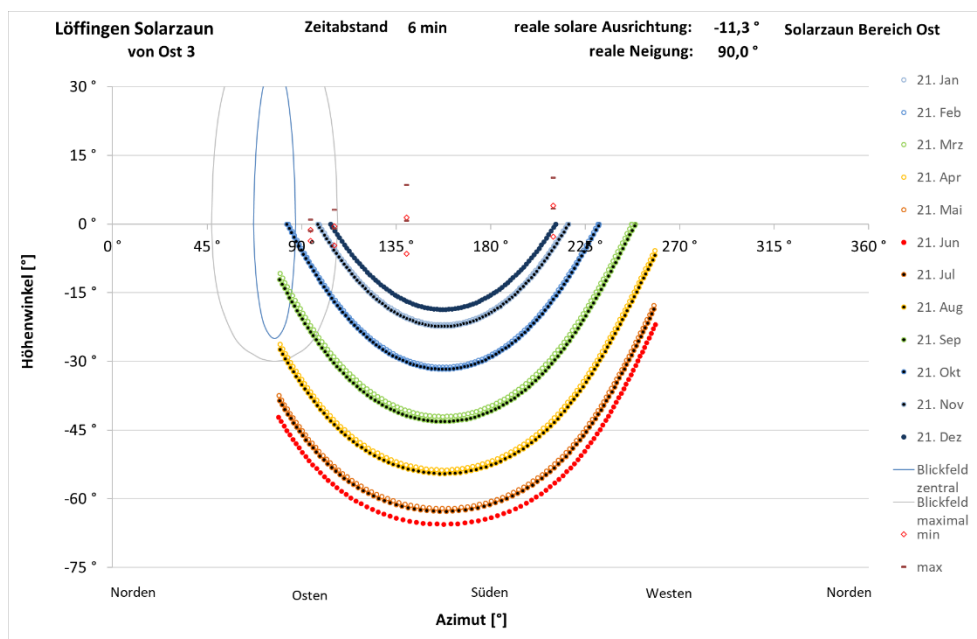


Abbildung 16: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O3

Mit der Annäherung an die Reflexionspunkte wird die Zeitspanne, in der Reflexionen auftreten können, größer und zugleich wandern diese vom zentralen Blickfeld in den äußeren Bereich des



Blickfelds und erreichen dort am Rand eine maximale Beleuchtungsstärke von 420 lx. Die im linken Bereich des Blickfelds stehende Sonne bewirkt bei gleichem Höhenwinkel annähernd 9.000 lx.

Die Reflexionen des mittleren und des westlichen Bereichs des Solarzauns in Abbildung 17 treten im Vergleich zum östlichen Bereich um wenige Tage verschoben kurz vor Sonnenuntergang im zentralen Blickfeld der Verkehrsteilnehmer auf. Die dabei erzeugte Beleuchtungsstärke am Auge liegt bei maximal 310 lx und beträgt damit etwa 5 Prozent der durch die auf gleicher Höhe ebenfalls im Blickfeld stehende Sonne bewirkten Beleuchtungsstärke.

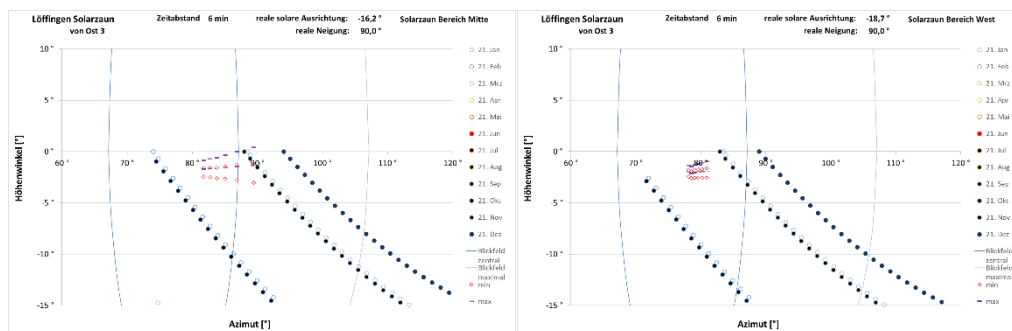


Abbildung 17: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O3

### Blickpunkt von Ost 4 (O4)

Am vierten Blickpunkt aus östlicher Richtung können keine Reflexionen mehr vom östlichen Teil des Solarzauns ins Blickfeld gelangen. Für den mittleren und den westlichen Bereich des Solarzauns ergeben sich die Reflexionsdiagramme in Abbildung 18. Die potenziellen Reflexionen entsprechen im Wesentlichen denen am Blickpunkt O3. Auch am Punkt O4 erreicht die durch Reflexionen im Blickfeld bewirkte Beleuchtungsstärke von weniger als 350 lx höchstens fünf Prozent der Beleuchtungsstärke der auf gleicher Höhe im Blickfeld stehende Sonne.

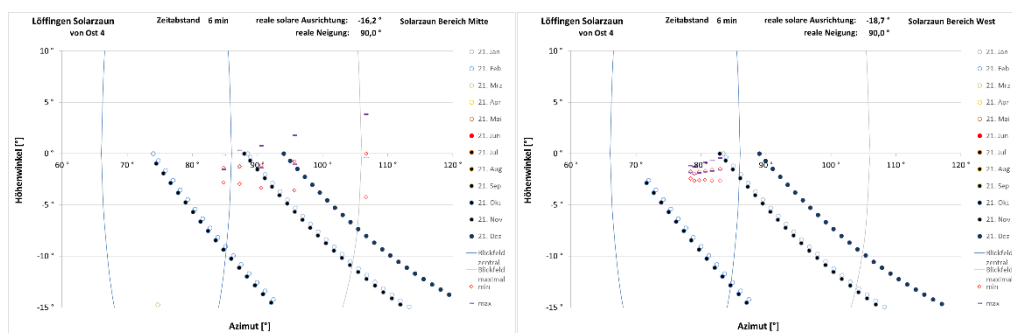


Abbildung 18: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O4



### Blickpunkt von Ost 5 (O5)

Für den mittleren und den westlichen Bereich des Solarzauns ergeben sich am Blickpunkt O5 die Reflexionsdiagramme in Abbildung 19. Aus dem mittleren Bereich des Solarzauns können keine Reflexionen ins Blickfeld der Verkehrsteilnehmer mehr geraten. Im westlichen Bereich erreichen die potenziellen Reflexionen in das zentrale Blickfeld Beleuchtungsstärken von bis zu 320 lx und damit etwa fünf Prozent der Beleuchtungsstärke der auf gleicher Höhe im Blickfeld stehenden Sonne.

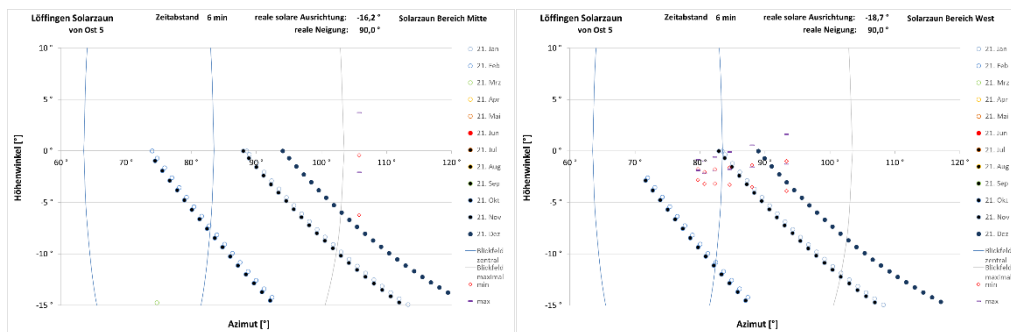


Abbildung 19: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O5

### Blickpunkt von Ost 6 (O6)

Am Blickpunkt O6 liegt nur noch ein Teil des westlichen Bereichs des Solarzauns im Blickfeld der Verkehrsteilnehmer. Es ergibt sich das Reflexionsdiagramm in Abbildung 19. Potenzielle Reflexionen ins Blickfeld erreichen 440 lx und damit fünf Prozent der Beleuchtungsstärke durch die Sonne.

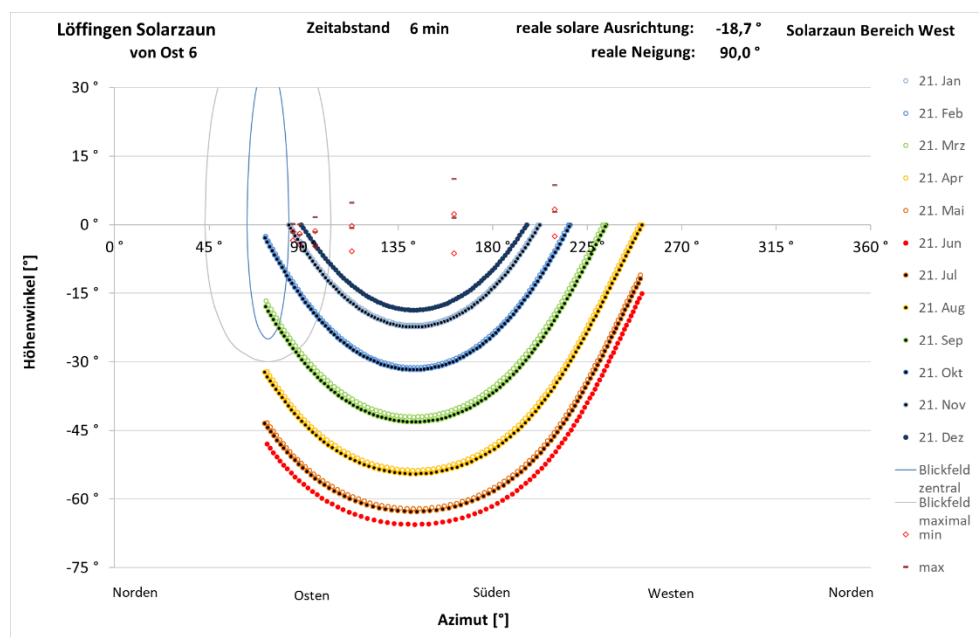


Abbildung 20: Reflexionsdiagramm des westlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O6



## 5.2.2 Verkehr aus Richtung Westen

### Blickpunkt von West 1 (W1)

Der 320 m vom Rand des Solarzauns entfernte erste Blickpunkt aus westlicher Richtung liegt auf einer Höhe von 825 m ü NN und damit 15 m höher als der höchste Punkt des Solarzauns. Damit können an diesem Punkt zu keinem Zeitpunkt Reflexionen auf die Augen der aus westlicher Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer gelangen.

### Blickpunkt von West 2 (W2)

Auch der zweite Blickpunkt aus westlicher Richtung, 100 m vom Rand des Solarzauns entfernt, liegt mit 815 m ü NN oberhalb des höchsten Punkts des Solarzauns. Die Berechnungsergebnisse bestätigen, dass zu keinem Zeitpunkt Reflexionen auf die Augen der aus westlicher Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer gelangen können.

### Blickpunkt von West 3 (W3)

Für den dritten Blickpunkt aus westlicher Richtung auf Höhe des westlichen Rands des Solarzauns ergibt sich für den westlichen Bereich des Solarzauns das Reflexionsdiagramm in Abbildung 21. Mitte März und Ende September können bei Sonnenaufgang Lichtreflexionen vom oberen Teil auf die Augen von PKW-Fahrern gelangen. Die Berechnungen zeigen eine Beleuchtungsstärke  $< 50$  lx am Rand des Blickfelds.

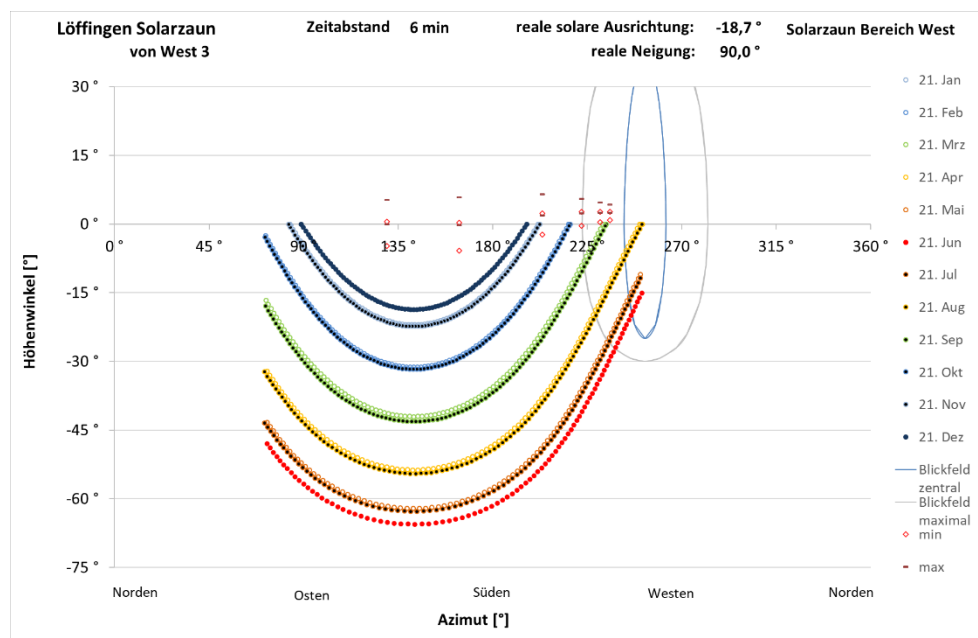


Abbildung 21: Reflexionsdiagramm des westlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W3



Am Blickpunkt W3 liegen der mittlere und östlichen Bereich des Solarzauns unterhalb der Position der Verkehrsteilnehmer. Die Reflexionsdiagramme in Abbildung 22 bestätigen, dass von diesen Anlagenteilen keine Sonnenlichtreflexionen auf die Augen der Verkehrsteilnehmer gelangen können.

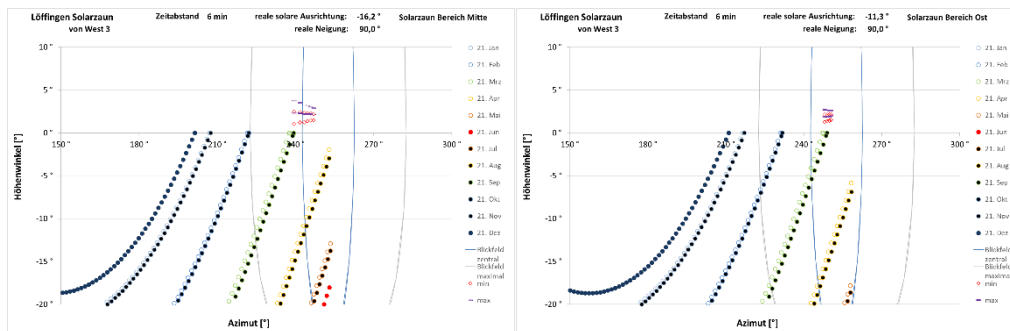


Abbildung 22: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und östlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns für den Blickpunkt W3

#### Blickpunkt von West 4 (W4)

Am vierten Blickpunkt aus westlicher Richtung befinden sich nur noch der mittlere und der östliche Bereich des Solarzauns im Blickfeld der Verkehrsteilnehmer. Das Reflexionsdiagramm für den mittleren Bereich in Abbildung 23 zeigt, dass im März und September/Oktober die aufgehende Sonne vom oberen Bereich des Solarzauns mit Beleuchtungsstärken < 100 lx in das Blickfeld reflektiert werden kann. Der östliche Teil des Solarzauns liegt unterhalb der Augenhöhe der Verkehrsteilnehmer und kann keine Reflexionen ins Blickfeld bewirken.

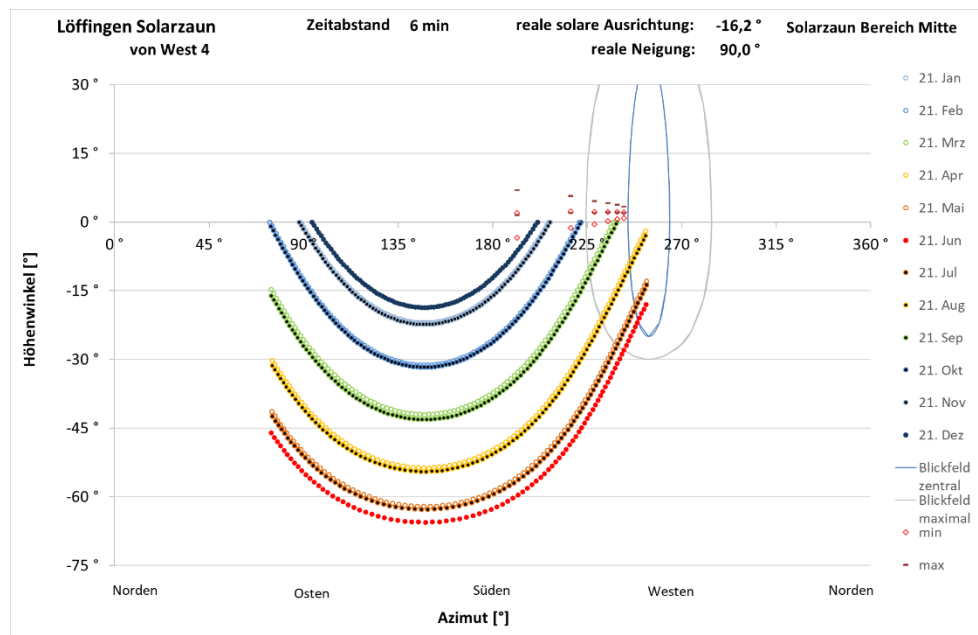


Abbildung 23: Reflexionsdiagramm des mittleren Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W4



### Blickpunkt von West 5 (W5)

Am fünften Blickpunkt aus westlicher Richtung befindet sich nur noch der östliche Teil des Solarzauns im Blickfeld der aus Westen kommenden Verkehrsteilnehmer. Das Reflexionsdiagramm in Abbildung 24 zeigt, dass auch hier im März und Ende September bis Anfang Oktober Reflexionen der aufgehenden Sonne vom oberen Teil des Solarzauns in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer gelangen können. Die Beleuchtungsstärke erreicht dabei weniger als 50 lx.

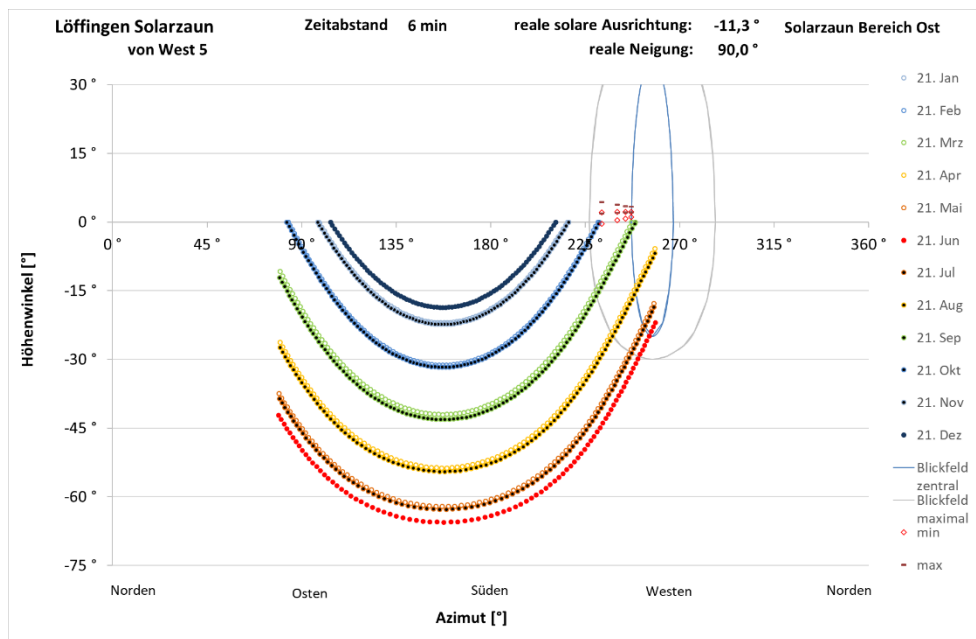


Abbildung 24: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W5

### Blickpunkt von West 6 (W6)

Am Blickpunkt W6 können keine Reflexionen der Anlage mehr ins Blickfeld der Verkehrsteilnehmer aus westlicher Richtung gelangen.





## 6 Bewertung der Blendrisiken

### 6.1 Tagesblendung

Die Berechnungen der Sonnenlichtreflexionen durch den geplanten Solarzaun ergeben für den aus westlicher Richtung kommenden Verkehr auf der Bundesstraße B 31 keine Blendrisiken. Auf Grund des Gefälles im Straßenverlauf können ausschließlich von einem kurzen Abschnitt des oberen Teils des Solarzauns Reflexionen in das Blickfeld der Verkehrsteilnehmer gelangen. Die Berechnungen zeigen, dass die Beleuchtungsstärke von den nur zu Sonnenaufgang im März und September möglichen Reflexionen bei weniger als 100 lx am Auge liegt, während das Licht der ebenfalls auf gleicher Höhe im Blickfeld stehenden aufgehenden Sonne eine um den Faktor 20 höhere Beleuchtungsstärke bewirkt. Eine eigenständige Blendwirkung durch Lichtreflexionen des Solarzauns sind für den aus Westen kommenden Verkehr zu keinem Zeitpunkt möglich.

Verkehrsteilnehmer, die aus östlicher Richtung auf der B 31 auf den Solarzaun zufahren bzw. ihn passieren, können im Spätherbst und Winter kurz vor Sonnenuntergang von Reflexionen im zentralen Blickfeld betroffen sein. Zu dieser Zeit steht die Sonne auf gleicher Höhe ebenfalls im Blickfeld der Verkehrsteilnehmer und erzeugt eine um den Faktor 20 höhere Beleuchtungsstärke an den Augen als die Reflexionen der geplanten Anlage. Dadurch können die Reflexionen der Anlage keine eigenständige Blendwirkung erzeugen. Aufgrund der identischen Höhenwinkel von Sonnenlicht und Reflexionen kann auch durch den Einsatz von Sonnenblenden keine Situation auftreten, in der ausschließlich das reflektierte Licht auf die Augen der Verkehrsteilnehmer trifft.

Die geplante Anlage verursacht zu keinem Zeitpunkt Blendrisiken durch reflektiertes Sonnenlicht.

### 6.2 Nachtblendung

Grundsätzlich können die Reflexionen von aufgeblendeten Fahrzeugscheinwerfern nachts Blendrisiken hervorrufen. Die für eine Blendwirkung erforderliche Beleuchtungsstärke am Auge ist dabei durch die Adaption an die Dunkelheit geringer als bei tagsüber auftretenden Sonnenlichtreflexionen. Ein Blendrisiko durch Reflexionen einer Photovoltaikanlage ist dann gegeben, wenn sich das direkte Scheinwerferlicht des entgegenkommenden Fahrzeugs nicht im Blickfeld der Verkehrsteilnehmer befindet.

Der Straßenverlauf der Bundesstraße B 31 gewährleistet, dass sich entgegenkommende Verkehrsteilnehmer frühzeitig sehen und damit rechtzeitig abblenden können, so dass keine blendenden Reflexionen am geplanten Solarzaun auftreten können (siehe Abbildung 7). Unterbleibt eine Abblendung, dann befindet sich das entgegenkommende Fahrzeug im zentralen Blickfeld des Verkehrsteilnehmers und bewirkt hier eine direkte Blendung.

Die geplante Anlage verursacht zu keinem Zeitpunkt Blendrisiken durch reflektiertes Scheinwerferlicht.



## 7 Verwendete Materialien

### 7.1 Dokumente vom Auftraggeber

- ▶ Datei „Solarpark Agri-PV Löffingen Rechtsplan Entwurf 2022-01-10.dwg“
- ▶ Datei „Solarpark Agri-PV Löffingen 2022-09-15.dwg“
- ▶ Datei „Solarpark Agri-PV Löffingen Plan 2022-09-15.pdf“
- ▶ Datei „Solarpark Agri-PV Löffingen 2022-06-02.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/js/20170/Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf?command=downloadContent&filename=Hinweise%20zur%20Messung%20Beurteilung%20und%20Minderung%20von%20Lichtimmissionen.pdf>
- ▶ Fischbach, M.; Mack, M.; Haselhuhn, R.: Blendgutachten Photovoltaik – ein Statusbericht aus der Gutachterpraxis; Tagungsband 29. Symposium Photovoltaische Solarenergie 12.-14.3.2014 Bad Staffelstein; Hsg.: OTTI e.V.
- ▶ Eicker, U.: Solare Technologien für Gebäude; 1. Aufl. B. G. Teubner GmbH Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden, 2001
- ▶ Reidenbach H.-D., Dollinger K., Ott G., Janßen M., Brose M. (2008): Blendung durch optische Strahlungsquellen. Bericht der BAUA, Forschung Projekt 2185
- ▶ Kaufmann, H.: Strabismus. Stuttgart, Enke, 1986
- ▶ Empfehlungen der Strahlenschutzkommission: Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren; verabschiedet in der 205. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 16./17. Februar 2006
- ▶ DIN 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen



## 8 *Abbildungsverzeichnis*

Abbildung 1: Lage des geplanten Solarzauns (violette Linie) am südlichen Rand des Baufelds nördlich der Bundesstraße B 31. Quelle: Kundenmaterial, bearbeitet.....	3
Abbildung 2: Blendsituationen. 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: Lageplan Agriphotovoltaik Löffingen mit stilisierter Modulreihe „Solarzaun“ (violette Linie) und Höhenlinien; Quelle: Kundenmaterial, bearbeitet.....	11
Abbildung 6: Beispiel für einen Solarzaun (Quelle: Kundenmaterial).....	11
Abbildung 7: Verlauf der B 31 im Bereich des Baufelds der geplanten Anlage (Quelle: Google Earth Pro).....	12
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.....	13
Abbildung 9: Reflexionsdiagramm des östlichsten Moduls des geplanten Solarzauns mit waagrecht aufgetragenen Azimut- und senkrecht aufgetragenen Höhenwinkeln.....	14
Abbildung 10: Beispiel für Bandbreite möglicher Höhenwinkel .....	15
Abbildung 11: Übersicht der Einteilung der untersuchten Reflexionspunkte des Solarzauns (blaue Punkte) in die Bereiche West, Mitte und Ost sowie der Blickpunkte für Verkehr aus östlicher (O1 bis O6) und aus westlicher (W1 bis W6) Richtung .....	16
Abbildung 12: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O1 (Reflexionen am Blickpunkt mit rotem Pfeil markiert).....	17
Abbildung 13: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O1.....	18
Abbildung 14: Ausschnittsvergrößerung des Reflexionsdiagramms des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O2.....	18
Abbildung 15: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O2 .....	19
Abbildung 16: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O3 .....	19



Abbildung 17: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O3 .....	20
Abbildung 18: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O4 .....	20
Abbildung 19: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und westlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O5 .....	21
Abbildung 20: Reflexionsdiagramm des westlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt O6 .....	21
Abbildung 21: Reflexionsdiagramm des westlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W3 .....	22
Abbildung 22: Ausschnittsvergrößerung der Reflexionsdiagramme des mittleren (links) und östlichen (rechts) Bereichs des Solarzauns für den Blickpunkt W3 .....	23
Abbildung 23: Reflexionsdiagramm des mittleren Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W4 .....	23
Abbildung 24: Reflexionsdiagramm des östlichen Bereichs des Solarzauns am Blickpunkt W5.....	24

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Menschliches Gebrauchsblickfeld (vertikal positiv ist oben, negativ unten) .....7

